



Växjö  
kommun

# Komplettering till Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö



Jeanette Lindberg    Oktober 2020

## FÖRORD

---

I november 2018 beviljades Växjö kommun 2 559 600 kr i bidrag från Naturvårdsverket för en förstudie med huvudsakligt syfte att utreda förutsättningar för en fullskaleinstallation av teknik för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester. Projektet omfattade en nulägesanalys med provtagning både uppströms, nedströms och över reningsverket. Projektet omfattade även pilotstudier för ozonbehandling och behandling med ultraviolett ljus och väteperoxid. Projekttiden var 15 november 2018 - 31 december 2019 och rapporten Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö (Lindberg, 2019) sammanfattar projektet.

27 juni 2019 beviljades Växjö kommun ytterligare 1 215 000 kr i bidrag från Naturvårdsverket för att komplettera den första förstudien med pilotstudier för behandling av avloppsvatten med aktivt kol med avseende på läkemedelsrening. Projekttiden är 27 juni 2019 - 31 december 2020. Den här rapporten sammanfattar kompletteringen till förstudien.

## SAMMANFATTNING

---

I denna rapport redovisar Växjö kommun resultaten av sin kompletterande förstudie som Naturvårdverket beviljade bidrag till i juni 2019. I den tidigare förstudien (2018–2019) redovisades en nulägesanalys med riskanalys för primärrecipienten Norra Bergundasjön samt utvärdering av två tekniker, ozon och ultraviolett ljus/väteperoxid, för reduktion av läkemedelsrester. Syftet med den kompletterande förstudien var att utvärdera ytterligare en teknik, kolfiltrering (granulerat aktivt kol, GAK), i pilotskala för att få ett så bra beslutsunderlag som möjligt.

Dagens reningsverk har begränsad förmåga att ta hand om läkemedelsrester. Vissa substanser reduceras effektivt, främst i de biologiska reningsstegen, men många substanser släpps i opåverkad halt ut i recipienterna. 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.

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

Under perioden maj–augusti 2020 har filtrering med granulerat aktivt kol i DynaSand-filter (DynaSand Carbon) utvärderats i en pilotanläggning på reningsverket. Ett av syftena med pilotanläggningen var att se om det gick att ersätta sanden med aktivt kol i verkets befintliga DynaSand-filter och erhålla en kombinerad fosfor- och läkemedelsavskiljning som slutpolering. Kolfiltret klarade inte den hårda belastningen då den kontinuerliga tvättningen inte hann med att rengöra filtermassan och filtret satte igen. Resultatet visar tydligt att förfiltrering krävs före kolfiltrering.

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

Grova beräkningar visar att kostnaden för behandling med DynaSand Carbon storleksmässigt hamnar mellan ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling. Investeringskostnaden för behandling med DynaSand Carbon hamnar på 13,1 MSEK och driftskostnaden beräknas till 0,74 SEK/m<sup>3</sup>.

# INNEHÅLL

---

FÖRORD .....	2
SAMMANFATTNING.....	3
1 Syfte och mål.....	5
2 Bakgrund.....	6
2.1 Läkemedel.....	6
2.2 Sundets reningsverk.....	7
2.3 Recipient .....	8
3 Genomförande .....	9
3.1 Nulägesanalys.....	9
3.2 Pilotförsök aktivt kol (GAK).....	9
3.2.1 Allmänt.....	9
3.2.2 Pilotanläggning .....	10
3.2.3 Pilotförsök.....	14
3.3 Provtagning och provberedning .....	18
3.4 Analyser .....	19
3.4.1 Läkemedel.....	19
3.4.2 Kemiska analyser, standardparametrar .....	20
3.4.3 Mikrobiologiska parametrar, bakterier .....	21
4 Resultat och diskussion .....	22
4.1 Nulägesanalys.....	22
4.2 Riskanalys.....	26
4.3 Pilotförsök.....	27
4.3.1 Försöksperiod 1: GAK.....	27
4.3.2 Försöksperiod 2: Kombinerad GAK & fosforavskiljning.....	30
4.3.3 Försöksperiod 3: Upprepningstest/Kapacitetstest.....	34
4.4 Drift, underhåll och arbetsmiljö.....	36
4.5 Kostnadsberäkning för potentiell anläggning i fullskala .....	37
4.5.1 Aktivt kol .....	37
4.5.2 Jämförelse med tidigare testade tekniker .....	38
5 Slutsats .....	40
6 Referenser.....	43
7 Bilaga Standardparametrar .....	44

# 1 SYFTE OCH MÅL

---

För att begränsa spridningen av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar 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 detta projekt var att komplettera tidigare projekt för läkemedelsavskiljning vid Sundets reningsverk. Tidigare har nulägesanalys och pilotstudier med ozonering och behandling med UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ultraviolett ljus/väteperoxid) utförts. Med detta projekt kompletteras pilotstudierna med filtrering med aktivt kol.

Målet med detta och tidigare projekt var att få fram ett beslutsunderlag för eventuell investering i fullskala. Genomförs en fullskalig installation av läkemedelsrening är målet att uppnå cirka 90% reduktion av huvudsakliga och prioriterade läkemedel, enligt riskbedömningen, över reningsverket.

## 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 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 för 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 halter 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 (Läkemedelsverket, 2015). 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 i recipient. 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.

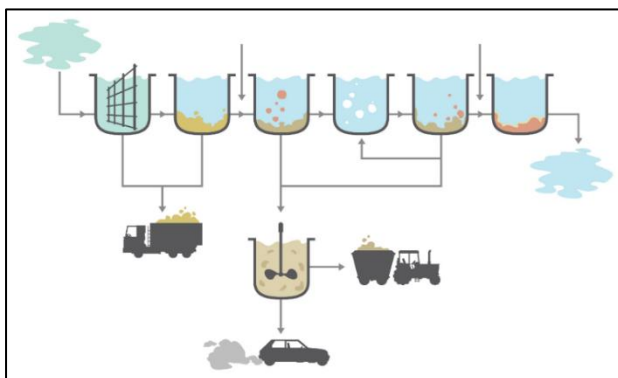
Det finns idag teknik för att rena läkemedelssubstanser och förhindra spridning i miljön, men det finns än så länge inga krav på reningsverken i Sverige att införa detta. I Schweiz finns det en lag om läkemedelsrening och utbyggnad pågår. Tyskland är också i framkant med läkemedelsrening (Cimbritz, 2016). I Sverige finns det nu två reningsverk, Linköping och Simrishamn, som har rening för läkemedelsrester och fler är under uppbyggnad.

## 2.2 SUNDETS RENINGSVERK

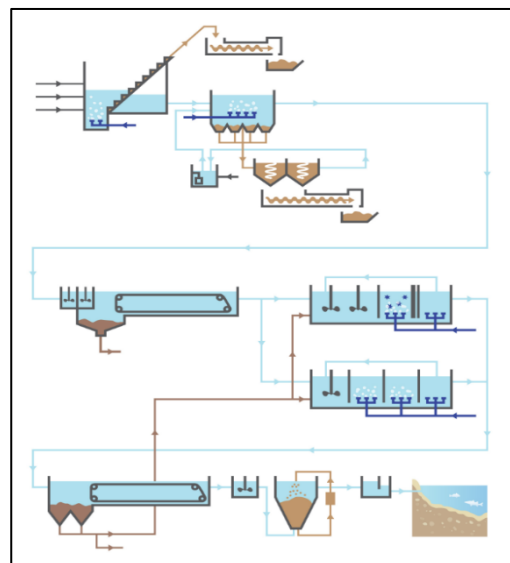
Reningsverket Sundet togs i drift 1994 och är dimensionerat för 95 000 pe. För 2018 var den faktiska belastningen beräknad utifrån BOD<sub>7</sub> knappt 50 000 pe och antalet fysiskt anslutna var ca 70 000 personer. Verket tar emot och renar avlopp från Växjö tätort inklusive befintlig industri och har en höggradig rening avseende fosfor och organiska ämnen samt ett väl utbyggt reningssteg för nitrifikation. Dimensionerat flöde är 1500 m<sup>3</sup>/h och maxflödet är 3000 m<sup>3</sup>/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).

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 Dynasandfilter. Det renade vattnet avleds till recipienten Norra Bergundasjön. Illustrationer över vattenrensningens processen på Sundet visas i figur 1.



Figur 1 Enkel och detaljerad illustration av reningsprocessen på Sundets. Reningsstegen är silgaller, sandfång, förfällning med sedimentering, luftat aktivt slam/bärare, eftersedimentering och sandfilter.





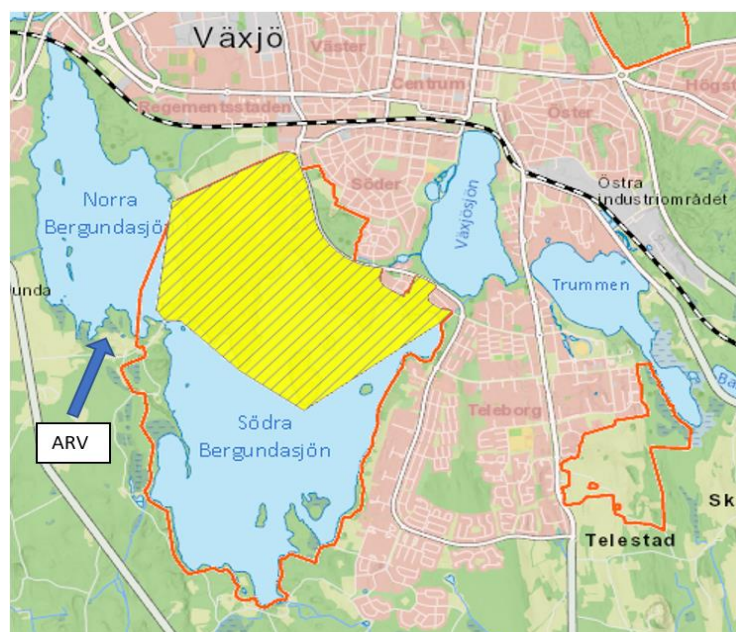
## 2.3 RECIPIENT

Reningsverket Sundet är beläget vid Norra Bergundasjön. Det renade avloppsvattnet rinner 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. 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 näringsämnen 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 2. Norra Bergundasjöns biologiska värden är sämre undersökta men fågellivet är rikt av både häckande och flyttande fåglar. Sjön är också viktig födosökslokal för både fåglar och fladdermöss.

Sannolikheten för höga halter 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 cirka två (Håkan Madestam Olofsson, SYNLAB), vilket innebär att en tredjedel av vattnet i sjön är från reningsverket. Sannolikheten är stor att läkemedelssubstanser och andra farliga ämnen förekommer i höga halter, vilket medför risk för oönskade effekter i recipienten. Därför var det viktigt att genom en riskanalys se vilka läkemedel som kan utgöra en risk.



Figur 2 Reningsverkets placering i förhållande till angränsande naturreservat (röd linje) och Natura 2000-område (gult område)



## 3 GENOMFÖRANDE

---

Den kompletterande förstudien genomfördes liksom tidigare studie i egen regi vid Sundets reningsverk i nära samarbete med leverantör och med IVL Svenska Miljöinstitutet som expertstöd.

I den tidigare förstudien utvärderades oxidation med ozon i samarbete med Wedeco/Christian Berner och med UV-ljus/väteperoxid i samarbete med Van Remmen/Nouryon). I den kompletterande delen utvärderades filtrering/adsorption med granulerat aktivt kol (GAK) i Dynasand-filter (Dynasand Carbon) i samarbete med Nordic Water.

### 3.1 NULÄGESANALYS

I pilotstudien utfördes provtagningar på inkommande och utgående avloppsvatten för att jämföra med tidigare resultat från år 2019 och för att uppdatera nulägesanalysen med reningsverkets reningsprestanda. Under studien (maj-augusti) togs totalt fyra prover på inkommande och fyra prover på utgående avloppsvatten.

Provpunkterna för vatten på reningsverket (inkommande och utgående) är ordinarie provtagningspunkter för processuppföljning och togs med verkets egna fasta flödesstyrda provtagare. Prov på inkommande avloppsvatten är tagna efter silgallren och prov på utgående är tagna efter sandfiltrering (DynaSand-filter).

### 3.2 PILOTFÖRSÖK AKTIVT KOL (GAK)

I förstudien genomfördes en pilotstudie med filtrering/adsorption med granulerat aktivt kol i DynaSand Carbon. Syftet med pilotstudien var att utvärdera reduktionen av läkemedelsrester i avloppsvattnet på Sundets reningsverk vid olika ytbelastningar och uppehållstider men även att se hur stabilt filtret uppförde sig och erhålla praktisk driftserfarenhet. Valet att testa DynaSand Carbon gjordes för att utvärdera om de redan befintliga DynaSand-filtren på Sundet kunde nyttjas med kol istället för sand.

#### 3.2.1 Allmänt

Behandling med aktivt kol tillhör de adsorptiva metoderna för avskiljning av läkemedelsrester. Avskiljningen sker genom att läkemedelssubstanserna binder (adsorberas) till kolstrukturen och bygger på separation snarare än nedbrytning. Aktivt kol är finfördelat kol med små porer och stor porvolym. Den specifika ytan för aktivt kol är normalt mellan 500 och 1 500 m<sup>2</sup>/g. Det aktiverade kolets höga specifika yta är viktigt för effektiv avskiljning.

Aktivt kol framställs av fossilt eller förnybart material med hög kolhalt som till exempel stenkol, träkol eller torv eller kokosnötsskal. Framställningen sker i två steg där det första steget är en kontrollerad förkolning, pyrolys, där kolet upphettas utan närvaro av syre. I det andra steget aktiveras kolet termiskt eller kemiskt. Denna process ökar kolets porositet och det är under aktiveringsprocessen som kolet får sin adsorptionsförmåga.

Kol klassificeras oftast efter kornstorlek. Pulveriserat aktivt kol (PAK) har en medelkornstorlek på 20–50 µm och används både inom drick- och avloppsvattenrening. PAK är svårt att återaktivera. Granulerat aktivt kol (GAK) har en medelkornstorlek på

0,5– 3 mm och används mycket inom reningsprocesser för olika vattentyper. GAK är lätt att återaktivera.

Avskiljningsgraden avtar med tiden och efter en viss tid nås slutligen ett så kallat genombrott vilket betyder att avskiljningen försämras för ett eller flera ämnen. Gränsen för vad som är ett genombrott varierar och beror ytterst av målet med reningen. Vid genombrott måste kolet ersättas med nytt eller regenereras. Vid regenerering upphettas kolet liksom vid aktivering och de ämnen som adsorberats mineraliseras. Vid regenerering förloras ungefär 10 procent av kolet som måste ersättas med nytt aktivt kol. I dagsläget finns det ingen regenerering av aktivt kol tillgänglig i Sverige.

Avloppsvatten kan behandlas genom dosering av pulveriserat aktivt kol (PAK) eller filtreras genom granulerat aktivt kol (GAK). I de flesta PAK-anläggningar, som är i fullskala, lämnar oftast kolet anläggningen från den biologiska reningen tillsammans med överskottsslammet som förbränns. Andra processlösningar med separat avskiljning för PAK finns men erfarenheterna av hantering av slam bestående i huvudsak av aktivt kol är begränsade. Om slammet ska återföras i ett kretslopp genom att till exempel spridas på jordbruksmark bör inte det aktiva kolet blandas med slammet.

Andra rapporter (Baresel m fl., 2019, HaV, 2018) visar på att kolfiltrering ger en relativt liten ökning av energiförbrukning på ett verk. Viktigt att ha med i resonemanget är att framställning och regenerering av aktivt kol är en mycket energikrävande process.

### **3.2.2 Pilotanläggning**

I april levererade Nordic Water en pilotanläggning till Sundet, se figur 3. Anläggningen bestod av ett DynaSand-filter (DST07, filterarea 0,7 m<sup>2</sup>, bäddhöjd 2m) med tillhörande kontrollskåp och en membranpump (ARO PD15A) med tillhörande pulsationsdämpare. Anläggningen installerades enligt ritning, figur 6, av personal på Sundet. För tryckluft och spolvatten (dricksvatten) nyttjades redan befintligt på reningsverket.

Ett DynaSand-filter fyllt med aktivt kol går under namnet DynaSand Carbon. Filtret är ett kontinuerligt arbetande filter, det vill säga filtret behöver inte tas ur drift för backspolning och rengöring. Inkommande vatten distribueras in genom filtret via inloppsröret och vattenfördelaren, se figur 4. Vattnet stiger genom filterbädden som rör sig nedåt och det filtrerade vattnet tas ut från filtret via en överfallskant genom utloppsröret vid filtrets överkant. Det smutsiga kolet pumpas upp av en mammutpump (luftpump) från botten av filtret till den övre delen av koltvätten. Kolet faller sedan ner genom koltvätten där den rensas i motströmsflöde med en liten volym rent filtrat, se figur 5. Det reade kolet faller tillbaka till filterbäddens yta och blir en del av filtreringsprocessen igen. De avskilda föroreningarna lämnar filtret med tvättvattnet genom tvättvattenutloppet.

Filtret fylldes med aktivt kol från kokosnötsskal som filtermedia, AquaSorb CS 12\*40 mesh (partikelstorlek på 1,70–0,425 mm). Kolsorten valdes av Nordic Water utifrån deras erfarenhet vid medverkan under uppbyggnad och igångkörning av läkemedelsrening på Simrishamns reningsverk. Kolet i Simrishamn var grövre, 8\*16 mesh, och för att uppnå en eventuellt högre reduktionsgrad valdes ett finare kol för försöket på Sundet.

Innan försöket kunde påbörjas var kolet tvunget att blötläggas i minst 24 timmar enligt leverantörens instruktion. I verkligheten tog det flera dygn innan kolet blivit riktigt blött och bädden kändes fast.

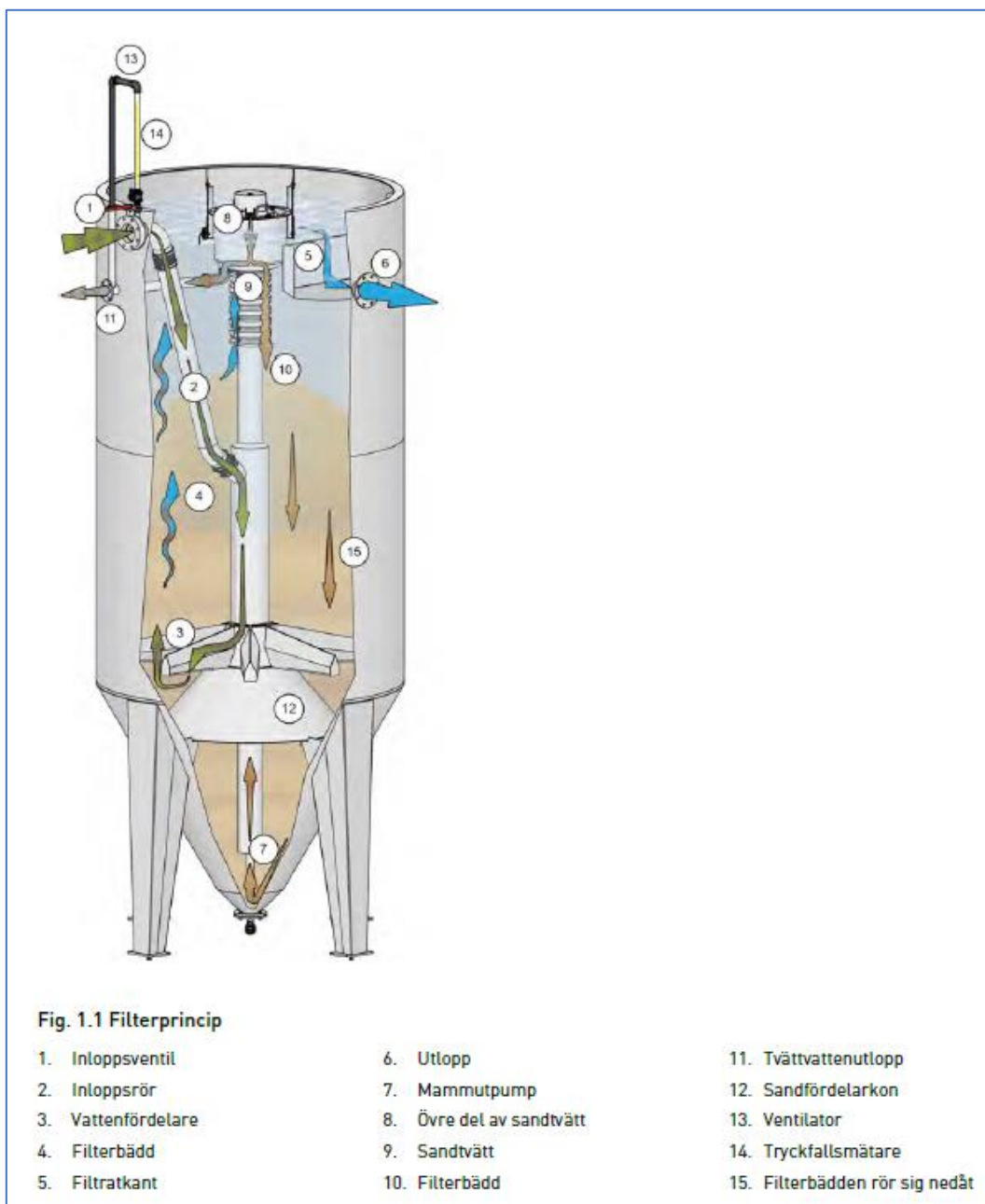
Adsorptionsmässigt fungerar ett DynaSand Carbon-filter som ett konventionellt kolfilter. Fördelarna med DynaSands kontinuerliga tvätt, förutom att det inte behöver stängas av för rengöring, är att det kräver mindre yta och klarar högre belastning i suspenderat material. I jämförelse med ett konventionellt filter skapar ofta DynaSand en större mängd tvättvatten som ska föras tillbaka till verkets huvudrening. Detta gäller främst vid låga belastningar av suspenderade ämnen, men när belastningen ökar jämnas skillnaden ut.

Driften av ett DynaSand Carbon-filter påminner om driften av ett DynaSand-filter för polering av avloppsvatten. Kolets densitet är emellertid lägre än sandens vilket ger en ökad risk för fluidisering av filterbädden vid högre flöden. När bädden blir svävande eller lyfter ökar risken för försämrat reningsresultat och förlust av kol.

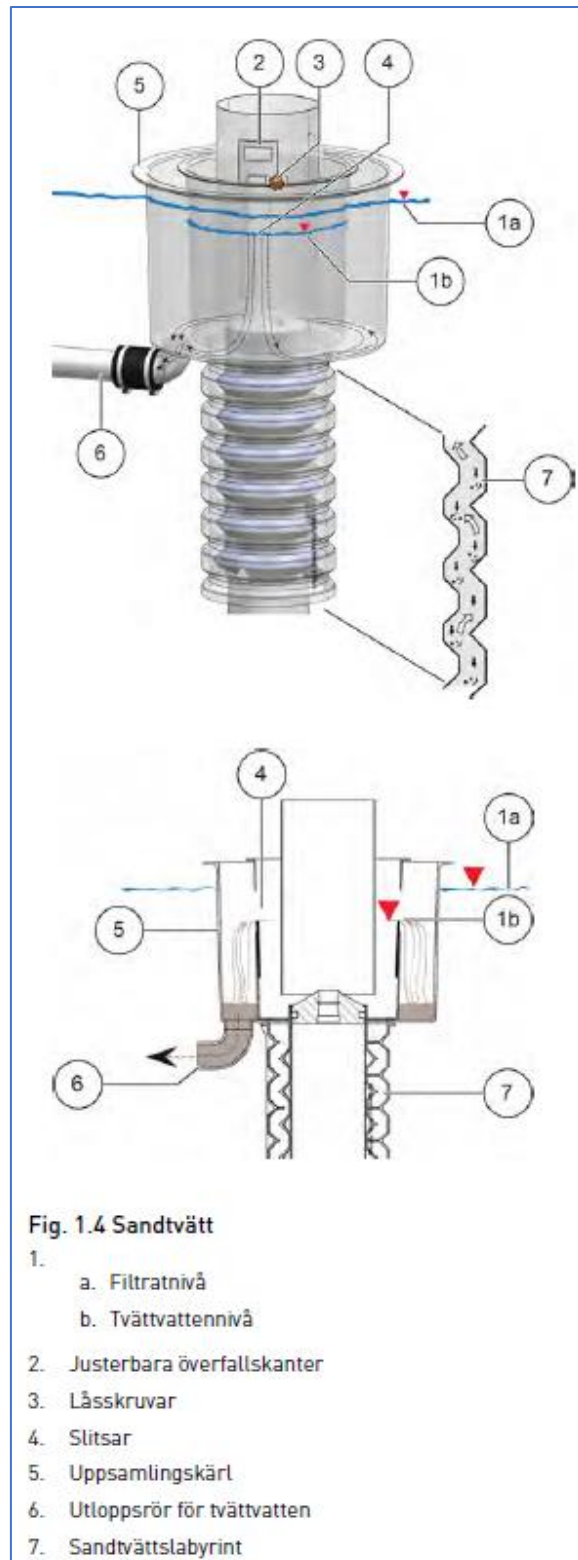


*Figur 3 Pilotanläggning DynaSand Carbon*

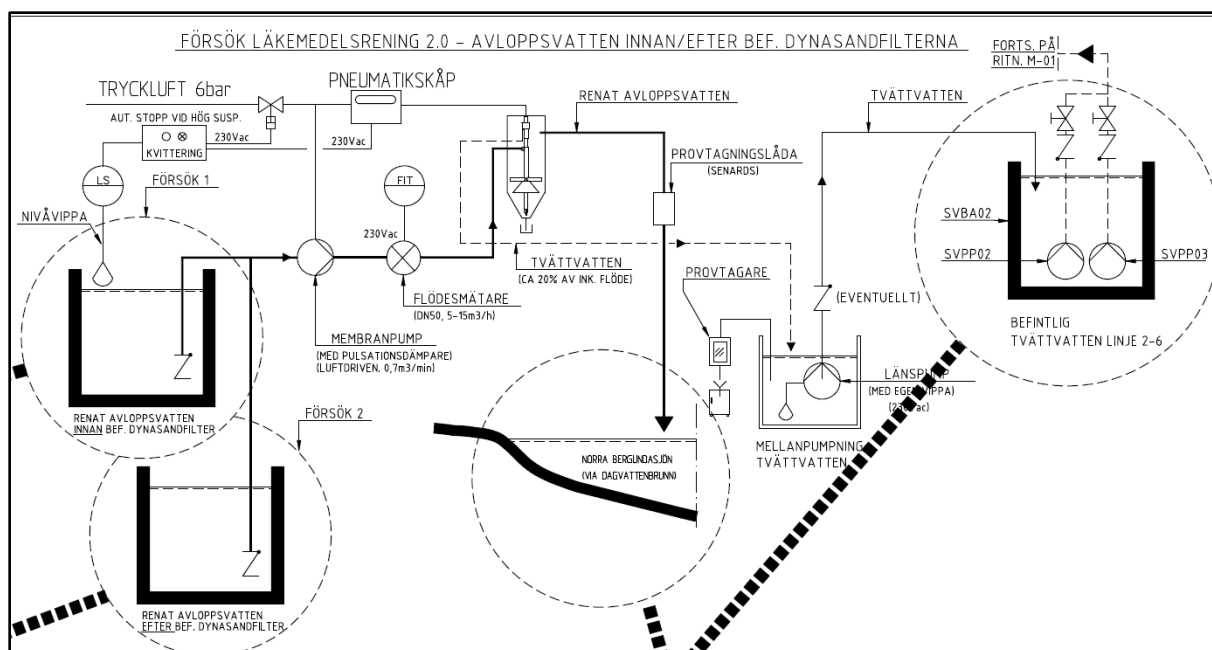
Pilotanläggningen förankrades med linor i toppen som vältskydd och för att få ett stabilt underlag placerades piloten på en vägplåt.



Figur 4 Filterprincip (bild tagen från Nordic Waters bruksanvisning)



Figur 5 Sandvätt (bild från Nordic Waters bruksanvisning)



Figur 6 Ritning över försöksupställningen. Ritad av Ulf Andersson, Växjö kommun.

### 3.2.3 Pilotförsök

Pilotstudien var uppdelad i tre försöksperioder på vardera 4 veckor, se tabell 1.

- Första perioden - filtrering av utgående avloppsvatten (efter befintligt sandfilter)
- Andra perioden - filtrering av eftersedimenterat vatten (ES-vatten, före befintligt sandfilter)
- Tredje perioden - kapacitetstest

På Sundet finns idag ett slutpoleringssteg bestående av 60 DynaSand-filter. Strax innan ES-vattnet leds in i filtren tillsätts fällningskemikalie (Ekomix 1091) för fosforavskiljning. Andra perioden var därför mycket intressant dels eftersom det kombinerar både GAK-filtrering och fosforavskiljning men även för att om det visar sig fungera bra skulle kol kunna bytas mot sand i befintliga filter på verket.

Utifrån försök som genomförts i olika svenska projekt har nyckeltal för dimensionering tagits fram för kolfiltrering (Svenskt Vatten, 2019):

Uppehållstid i filtret: > 10 minuter

Filtreringshastighet: 5–10 m/h

Regenerering: > 20 000 bäddvolymeter

Försöksplanen för period ett och två utformades delvis utifrån nyckeltalen och delvis utifrån Sundets egna förutsättningar och den pressade tidsplanen. Befintliga filter på reningsverket är dimensionerade för 1 500 m<sup>3</sup>/h och ett maxflöde på 3 000 m<sup>3</sup>/h vilket ger en ytbelastning på 5,0 respektive 10 m/h, se tabell 1. Vid normalt driftsätt på reningsverket hålls ytbelastningen på maximalt 6,6 m/h. Utifrån detta valdes vattenflöden 5–8 m<sup>3</sup>/h vilket gav en ytbelastning på 7–11 m/h och uppehållstid på 11–17 minuter.



Följande driftinställningar användes under försöksperioden:

Bäddomsättning: 3,5 mm/min (bäddyta 0,7 m<sup>2</sup> → 2,5 liter/min)

Tvättvatten: 2,5–3,7 liter/min

För vanliga DynaSand-filter rekommenderar Nordic Water en tvättvattenmängd på 1,5–2 gånger bäddomsättningen medan för DynaSand Carbon rekommenderas 1–1,5.

Ett kapacitetstest planerades in som period tre för att utvärdera hur kolet agerade vid mycket hög ytbelastning och vilken reduktionsgrad som erhöles.

Att utvärdera när genombrottstiden för läkemedelsrester inträffar och kolet är i behov av utbyte/regenerering hade varit väldigt intressant, eftersom det påverkar den ekonomiska kalkylen väldigt mycket då regenerering är en dyr post för kolfiltrering. På grund av snäv tidsplan gick detta inte att genomföra. Enligt rapporter (Edefell mfl., 2019, HaV, 2018) uppskattas kolets "livstid" till 18 000–25 000 filtrerade bäddvolymmer. Med 5 m<sup>3</sup>/h "förbrukas" i pilotanläggningen cirka 86 filtrerade bäddvolymmer/dygn. Det skulle ta 210–292 dygn att utvärdera 18 000–25 000 filtrerade bäddvolymmer. Att bestämma kolets livslängd förutsätter även att man har satt egna krav på när målet för reningsgrad inte längre uppnås.

Tabell 1 Försöksplan

Period 1: GAK		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
5	7,1	17
6	8,6	14
7	10	12
8	11	11
Period 2: Kombinerad GAK & fosforavskiljning		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
5	7,1	17
6	8,6	14
7	10	12
8	11	11
Period 3: Kapacitetstest		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
10	14	8,4
12	17	7,0
15	21	5,6
DynaSand Sundet		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
33,2	6,6	18
25	5,0	24
50	10	12

### 3.2.3.1 Försöksperiod 1: GAK

Försöksperiod 1 pågick under vecka 19–22 2020. Pilotanläggningen startades upp med flödet 5 m<sup>3</sup>/h. Vecka 19 skulle varit första provtagningsveckan men på grund av instabil,

svävande kolbädd startades inte första periodens provtagning förrän vecka 20. Även i början av provtagningsveckan var bäddrörelsen instabil. Troligtvis orsakades detta av att rotametern för luftflödet till mammutpumpen var lite för stor och justerades ner till minimum, vilket tyvärr resulterade i att periodvis gick inget luftflöde alls till pumpen. Efter att rätt nivå på rotametern justerats in agerade kolbädden och tvättvattenflödet stabilt. På grund av en förlorad provtagningsvecka och svårigheter att ställa in stabil bäddrörelse och tvättvattenflöde under första provtagningsveckan ändrades försöksplanen, se tabell 2. Inför andra provtagningsveckan (vecka 21) sänktes flödet in till pilotanläggningen till 4,5 m<sup>3</sup>/h. Pilotanläggningen fungerade stabilt hela andra provtagningsveckan. Inför tredje provtagningsveckan (vecka 22) höjdes flödet till 7 m<sup>3</sup>/h. Med ökad ytbelastning märktes en tydlig instabilitet i kolbädden då den lyfte sig och var mer eller mindre svävande. Instabiliteten lugnade ner sig under veckan för att sen mot slutet av veckan återigen öka.

Tabell 2 Reviderad försöksplan för period 1.

Period 1: GAK		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
5	7,1	17
4,5	6,4	19
7	10	12

Prover togs ut före och efter kolfiltreringen samt på tvättvattnet. För första perioden var provet före kolfiltrering samma som Sundets ordinarie prov på utgående avloppsvatten. Första och sista veckan under försöksperioden togs prov på inkommande avloppsvatten till Sundet i syfte att säkerställa att belastningen på reningsverket inte skiljde sig åt mellan försöksveckorna.

Proverna analyserades med avseende på läkemedelsrester och standardparametrar, både kemiska och mikrobiologiska.

Efter försöksperiod 1 hade 2 600 bäddvolymter passerat genom kolfiltret.

### 3.2.3.2 Försöksperiod 2: Kombinerad GAK & fosforavskiljning

När försöksperiod 1 var avslutad kopplades inkommande vatten till pilotanläggningen om från Sundets utgående avloppsvatten till ES-vatten. För att efterlikna försöksperiod 1 reviderades försöksplanen även för period 2, se tabell 3.

Tabell 3 Reviderad försöksplan för period 2.

Period 2: Kombinerad GAK & fosforavskiljning		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
5	7,1	17
4,5	6,4	19
6	8,6	14
7	10	12

Försöksperiod 2 var planerad att pågå under vecka 24–27 2020. Första provtagningsveckan (vecka 24) startades upp med flödet 5 m<sup>3</sup>/h. Anläggningen gick stabilt under veckan men successivt syntes en försämring både av tvättvattnet och filtratet. Under helgen första veckan satte filtret igen. Mottrycket blev för högt och inkommande

vatten till anläggningen bräddade förbi filtret. Pilotanläggningen stängdes ner och inkommande vatten till anläggningen kopplades över till spolvatten (dricksvatten). Filtret spolades rent under hela vecka 25. I början av vecka 26 kopplades ES-vatten på igen som inkommande till anläggningen. Ett dygn senare, med 5 m<sup>3</sup>/h, hade filtret återigen satt igen. Filtret rengjordes åter och tillsammans med leverantör gjordes försök för att öka på både bäddrörelsen och mängden tvättvatten. Tyvärr resulterade dessa försök bara i att kolet följde med tvättvattnet ut. I samråd med leverantör beslutades det att avbryta försöksperiod 2.

Under vecka 24 togs prover ut före och efter kolfiltreringen samt för tvättvattnet. För försöksperiod 2 var provet före kolfiltrering ES-vatten efter tillsats av fällningskemikalie. Under vecka 24 togs även prov på inkommande avloppsvatten till Sundet i syfte att säkerställa att belastningen på reningsverket inte skiljde sig åt mellan försöksveckorna.

Proverna analyserades med avseende på läkemedelsrester och standardparametrar, både kemiska och mikrobiologiska.

Efter försöksperiod 2 hade 3 500 bäddvolymen passerat genom kolfiltret.

### 3.2.3.3 Försöksperiod 3: Upprepningstest och kapacitetstest

Efter avslutad försöksperiod 2 kopplades inkommande vatten till pilotanläggningen tillbaka till utgående avloppsvatten. Eftersom högsta flödet, 7 m<sup>3</sup>/h, under försöksperiod 1 redan visade tecken på svävande bädd reviderades även försöksplanen för kapacitetstestet, se tabell 4.

Tabell 4 Reviderad försöksplan för period 3.

Period 3: Kapacitetstest		
Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Ytbelastning [m/h]	Uppehållstid [min]
5	7,1	17
7/8/10	10/11/14	12/10,5/8,4

Provtagningen för kapacitetstesten ströks eftersom svävande bädd förväntas ge dålig reduktionsgrad. Istället upprepades försöksperiod 1 första provtagningsvecka (vecka 20) med 5 m<sup>3</sup>/h för att se om kolet påverkats av igensättning eller om resultaten gick att upprepa. Försöksperiod 3 var planerad att pågå under vecka 33–35 men blev av ovanstående skäl förkortad. Efter vecka 33 gjordes det under en dag ett kapacitetstest då flödet successivt ökades. Vid 8 m<sup>3</sup>/h satte membranpumpen stopp för testet då den inte klarade att öka mer. Kolbädden var stabil men hade lyft något.

Under vecka 33 togs prover ut före och efter kolfiltreringen samt för tvättvattnet. För tredje perioden var provet före kolfiltrering samma som Sundets ordinarie prov på utgående avloppsvatten. Under vecka 33 togs även prov på inkommande avloppsvatten till Sundet i syfte att säkerställa att belastningen på reningsverket inte skiljde sig åt mellan försöksveckorna.

Proverna analyseras med avseende på läkemedelsrester och standardparametrar, både kemiska och mikrobiologiska.

Efter försöksperiod 3 hade 5 200 bäddvolymen passerat genom kolfiltret.

### 3.3 PROVTAGNING OCH PROVBEREDNING

Provtagning har huvudsakligen skett med automatiska provtagare som tar prov tids- eller flödesproportionellt. Alla prov är blandade veckoprov med undantag för stickprov tagna för de mikrobiologiska analyserna.

Proverna på ordinarie inkommande och utgående avloppsvatten på verket, togs av verkets egna fasta provtagare (Sampler 780, MJK) som är inställda på att flödesproportionellt ta 50–100 ml prov per 100 m<sup>3</sup> vatten. Delproven förvarades i provtagarens kylskåp.

Provtagning på ES-vatten, efter tillsats av fällningskemikalie, togs tidsstyrt med en programmerbar portabel provtagare (VM 9951 MAXX, Ventim) som kopplades till nät drift. Varje timme togs 200 ml prov som samlades till ett dygnsprov i en 10 liters plastdunk.



*Figur 7 Portabel provtagare för provtagning av ES-vatten efter tillsatt fällningskemikalie*

Provtagning av tvättvatten togs varje dag som stickprov direkt från tvättvattnets utlopp.

Provtagning efter kolfiltreringen 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.



Figur 8 Portabel provtagare med uppsamlingsbehållare för provtagning efter kolfilter

Varje dygn tömdes både de portabla och fasta provtagarna. Två liter prov per provpunkt hälldes av i plastflaskor och sparades i kyl. Dagligen hälldes det även av 250 ml i en plastflaska per provpunkt för daglig kontroll av turbiditet och UV-absorbans.

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 5 Avhållning av veckoprov (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

## 3.4 ANALYSER

### 3.4.1 Läkemedel

Läkemedelsrester (läkemedel, antibiotika, hormoner) har analyserats av IVL Svenska Miljöinstitutet. Alla prov har analyserats med avseende på läkemedelsrester enligt tabell 6 nedan. Av de 40 utvalda substanserna är 23 läkemedel, 14 antibiotika och 3 hormoner. För att få överensstämmelse med tidigare utförd förstudie användes detta urval av substanser istället för Naturvårdsverkets nu rekommenderade urval.

Tabell 6 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. Atenolol-d<sub>7</sub>, <sup>13</sup>C<sup>15</sup>N-carbamazepine, metoprolol-(isopropyl-d<sub>7</sub>), <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-diclofenac, <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-hydrochlorothiazide, d<sub>3</sub>-ibuprofen och d<sub>8</sub>-ciprofloxacin har använts som internstandarder för kvantifiering.

För hormoner har vattenprov extraherats med hjälp av fastfaskolonner (ENV+ samt PSA). Analys har skett med HPLC-MS/Orbitrap. <sup>13</sup>C<sub>2</sub>-östradiol och <sup>13</sup>C<sub>2</sub>-etinylöstradiol har använts som internstandarder för kvantifiering

Alla läkemedelsanalyser för vattenprover rapporteras i ng/l. 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 40 %, baserat på dubbelprov analyserade under längre tid.

### 3.4.2 Kemiska analyser, standardparametrar

Kemiska standardparametrar, se tabell 7, har analyserats av Växjö kommuns ackrediterade VA-laboratorium.



Tabell 7 Kemiska standardparametrar vid Växjö kommuns VA-laboratorium.

Analysnamn	Enhet	Metod	Ackrediterad
Aluminium	Al mg/l	SS 02 82 10	x
Ammoniumkväve	NH <sub>4</sub> N mg/l	ISO 15923–1:2013	x
Biokemisk syreförbrukning	BOD <sub>7</sub> mg/l	SS-EN 1899–1, SS-EN ISO 5814:2012	x
Fosfor, totalt	tot-P mg/l	SS-EN ISO 6878:2005	x
Järn	Fe mg/l	SIS 02 81 29	x
Nitritkväve	NO <sub>2</sub> N mg/l	ISO 15923–1:2013	
Nitratkväve	NO <sub>3</sub> N mg/l	ISO 15923–1:2013	
Organiskt kol, totalt	TOC mg/l	Hach-Lange LCK 385/386	x
Löst organiskt kol, totalt	DOC mg/l	Hach-Lange LCK 385/386	
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	
Konduktivitet	Kond mS/m	SS-EN 27 888	
Turbiditet	Turb FNU	SS-EN ISO 70271:2016	

### 3.4.3 Mikrobiologiska parametrar, bakterier

Mikrobiologiska standardparametrar enligt tabell 8 har analyserats av Växjö kommuns ackrediterade VA-laboratorium. Alla prov har analyserats på provtagningsdagen.

Tabell 8 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

## 4 RESULTAT OCH DISKUSSION

---

### 4.1 NULÄGESANALYS

Totalt togs tre prov på inkommande avloppsvatten under 2019 och fyra prov under 2020. Sammanställningen redovisas i tabell 9. Överlag stämmer de nya resultaten överens med de för 2019, förutom för fyra substanser som skiljer markant. Resultatet för naproxen är 4 gånger högre (28 200 ng/l mot tidigare 7 133 ng/l) och paracetamol har ökat från under detektionsgräns till 47 250 ng/l. Tvärt emot har oxazepam minskat 8 gånger (418 ng/l mot tidigare 3 333 ng/l). Naproxen visar stor variation inom sin provserie för 2020. För paracetamol och oxazepam är resultaten väldigt jämna inom sin serie, men skiljer sig markant mellan åren. Vid kontakt med Gunnar Thorsén på IVL Svenska miljöinstitutet erhöles följande svar:

*"Vi har tittat igenom data från de aktuella analyserna samt tittat historiskt på rapporterade värden som finns i lite olika rapporter. I viss mån kan vi ge förklaringar till vad som har skett och varför värdena är höga, dock inte för oxazepam.*

*De höga värdena för naproxen visade sig bero på att internstandarderna för naproxen i dessa analyser är starkt påverkade av skjonsuppression, dvs att signalen undertrycks av andra ämnen som förekommer i provet och som kommer vid samma tidpunkt till masspektrometern. Vid den aktuella analysomgången inträffade detta på tre inkommande avloppsprover. Andra prover i den aktuella provomgången saknade påverkan och då proverna analyserades om erhöles liknande resultat som i första omgången resultat, vilket visar att denna påverkan verkligen kommer ifrån provet. När vi tittade igenom data hittade vi en liknande effekt från ett tidigare prov, där vi hade analyserat om och då tagit en lägre provvolym samt analyserat om ett upparbetat prov som vi spätt ut. I bägge fallen hade detta eliminerat effekten. Vad man också skulle kunna göra är att beräkna om värdena, men utgå ifrån en annan internstandard.*

*När det gäller paracetamol har vi reviderat analysmetoden och ändrat de joner som vi mäter så att vi använder samma som flertalet publicerade artiklar använder. När läkemedelsmetoden först utvecklades för ett antal år sedan valdes andra kombinationer av joner ut, av den anledningen att de gav lägre instrumentellt brus i analysen och på så sätt skulle nå lägre detektionsgränser. För kontinuitetens skull var det tänkt att köra hela projektet med samma metod, men de prover som har kommit under sommaren har analyserats med de nya jonerna."*

Omräknade resultat har erhöles från IVL. Med beräkning mot ny internstandard blir medelvärdet för naproxen 5 450 ng/l, vilket stämmer bättre överens med tidigare resultat. Rapporten är inte uppdaterad med dessa resultat. Naproxen reduceras nästan till 100 % i det biologiska steget på Sundet och påverkar därför inte pilotstudierna (författarens kommentar, 2020-10-14).

I och med de ökade halterna för till exempel paracetamol och naproxen har totalhalten av läkemedel i inkommande avloppsvatten ökat och blivit 3 gånger högre för 2020 jämfört med 2019.

År 2019 detekterades 30 av de 40 analyserade substanserna. För 2020 detekterades 25 av substanserna. Det är samma tio substanser som inte detekteras, med undantag för paracetamol som ökat markant i halt. Ytterligare sex substanser med låga halter 2019 hamnade under detektionsgränsen för 2020.

Även för utgående avloppsvatten togs det prover som kan jämföras med tidigare resultat. Under 2019 togs elva prover på utgående avloppsvatten och för 2020 fyra prover, se tabell 10. De nya resultaten stämmer mycket väl överens med de tidigare, med undantag för oxazepam. Även för utgående avloppsvatten har halten oxazepam sjunkit markant (463 ng/l mot tidigare 5 166 ng/l). Totalhalten av läkemedel i utgående avloppsvatten är därmed något lägre för 2020. Substanserna som detekterades under 2020 var samma substanser, av de 40, som tidigare.

Tabell 9 Resultat (i ng/l) från provtagning på inkommande vatten till Sundet 2020 i jämförelse med tidigare provtagning 2019. Substanser vars resultat är under rapportgränsen är markerade med \*. Substanser utan resultat på grund av dåligt utbyte i analysen är markerad med -.

Substans	Verkan	INKOMMANDE					Medel 2020
		Medel 2019	v20	v22	v24	v33	
Amlodipine	Blodtryckssänkande	135	-	-	*	*	*
Atenolol	Blodtryckssänkande	1 193	1 200	1 100	1 000	970	1 068
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	-	-	*	*	*
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	87	37	*	*	*	37
Carbamazepine	Lugnande	302	340	1 300	1 500	440	895
Ciprofloxacin	Antibiotika	50	*	18	*	*	18
Citalopram	Antidepressiv	319	520	410	*	*	465
Clarithromycin	Antibiotika	66	100	88	57	45	73
Clindamycin	Antibiotika	1,5	14	*	*	*	14
Diclofenac	Inflammationshämmande	860	1 400	1 600	1 200	970	1 293
Doxycycline	Antibiotika	*	*	*	*	*	*
Erythromycin	Antibiotika	56	*	*	*	*	*
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	*	*	*	*	*
Fluoxetine	Antidepressiv	5,1	*	*	*	*	*
Furosemide	Urindrivande	2 400	4 400	4 600	2 600	2 300	3 475
Fusidic acid	Antibiotika	24	61	*	*	*	61
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 250	2 000	2 000	1 800	1 600	1 850
Ibuprofen	Inflammationshämmande	9 100	12 000	12 000	12 000	11 000	11 750
Ketoprofen	Inflammationshämmande	453	480	560	440	620	525
Linezolid	Antibiotika	*	*	*	*	*	*
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 960	2 400	2 500	2 700	2 300	2 475
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	*	*
Naproxen	Inflammationshämmande	7 133	50 000	50 000	6 700	6 100	28 200
Norfloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	*	*
Oxazepam	Lugnande	3 333	390	420	370	490	418
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	52 000	56 000	36 000	45 000	47 250
Propranolol	Blodtryckssänkande	68	81	63	*	*	72
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	322	*	*	*	*	*
Rifampicin	Antibiotika	*	*	*	-	-	*
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	*	*
Sertraline	Antidepressiv	52	26	21	38	36	30
Simvastatin	Blodfettssänkande	250	2 600	2 600	990	800	1 748
Sulfamethoxazole	Antibiotika	253	350	530	390	410	420
Terbutaline	Astmamedicin	11	*	*	*	*	*
Tetracycline	Antibiotika	927	330	*	1 500	950	927
Trimetoprim	Antibiotika	16	94	83	51	*	76
Warfarin	Blodförtunnande	14	60	100	*	*	80
Östradiol (E2)	Könshormon	5,7	*	*	*	*	*
Östron (E1)	Könshormon	31	*	13	29	24	22
<b>Totalhalt</b>		<b>30 677</b>	<b>130 883</b>	<b>136 006</b>	<b>69 365</b>	<b>74 055</b>	<b>102 577</b>

Tabell 10 Resultat (i ng/l) från provtagning på utgående avloppsvatten från Sundet 2020 i jämförelse med tidigare provtagning 2019. Substanser vars resultat är under rapportgränsen är markerade med \*. Substanser utan resultat på grund av dåligt utbyte i analysen är markerade med -. För total avskiljningsgrad är gröna värden >80%, gula värden 40–80% och rosa värden <40%.

Substans	Verkan	UTG					Medel 2020	INK Medel 2020	Total reduktion INK-UTG 2020
		Medel 2019	v20	v21	v22	v33			
Amlodipine	Blodtryckssänkande	133	100	*	75	50	75	*	
Atenolol	Blodtryckssänkande	457	550	540	550	560	550	1 068	48%
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	-	-	-	*	*	*	
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	85	41	42	46	*	43	37	-16%
Carbamazepine	Lugnande	463	450	450	520	490	478	895	47%
Ciprofloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	18	100%
Citalopram	Antidepressiv	435	600	530	610	590	583	465	-25%
Claritromycin	Antibiotika	92	110	120	120	52	101	73	-39%
Clindamycin	Antibiotika	16	92	93	82	220	122	14	-770%
Diclofenac	Inflammationshämmande	876	1 300	1 300	1 400	990	1 248	1 293	3%
Doxycycline	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	*	
Erythromycin	Antibiotika	301	*	*	*	49	49	*	
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	*	*	*	*	*	*	
Fluoxetine	Antidepressiv	18	29	30	31	17	27	*	
Furosemide	Urindrivande	1 400	1 400	1 300	1 300	1 500	1 375	3 475	60%
Fusidic acid	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	61	100%
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 376	1 900	2 000	2 100	1 700	1 925	1 850	-4%
Ibuprofen	Inflammationshämmande	99	100	72	130	330	158	11 750	99%
Ketoprofen	Inflammationshämmande	124	99	79	91	140	102	525	81%
Linezolid	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	*	
Metoprolol	Blodtryckssänkande	1 976	2 300	2 300	2 400	2 200	2 300	2 475	7%
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	*	
Naproxen	Inflammationshämmande	121	73	39	39	170	80	28 200	100%
Norfloxacilin	Antibiotika	*	*	*	*	*	*	*	
Oxazepam	Lugnande	5 166	480	450	480	440	463	418	-11%
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*	*	*	*	47 250	100%
Propranolol	Blodtryckssänkande	145	190	160	210	160	180	72	-150%
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*	*	*	*	*	
Ranitidine	Medel mot magsår	309	*	46	*	*	46	*	
Rifampicin	Antibiotika	*	*	*	*	-	*	*	
Risperidone	Lugnande	*	*	*	*	*	*	*	
Sertraline	Antidepressiv	95	340	320	380	180	305	30	-908%
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*	*	*	*	*	1 748	100%
Sulfamethoxazole	Antibiotika	81	54	64	77	96	73	420	83%
Terbutaline	Astmamedicin	22	*	*	*	*	*	*	
Tetracycline	Antibiotika	149	*	310	*	*	310	927	67%
Trimetoprim	Antibiotika	10	99	100	100	55	89	76	-16%
Warfarin	Blodförtunnande	11	14	12	13	*	13	80	84%
Östradiol (E2)	Könshormon	*	*	*	*	*	*	*	
Östron (E1)	Könshormon	14	6	7	9	15	9	22	58%
Totalhalt och totalreduktion		13 974	10 327	10 364	10 763	10 004	10 701	103 239	90%

Tabell 11 Resultat (i ng/l) från provtagning på Sundet. Jämförelse av totalreduktion för sammanslagna data för 2019–2020 och tidigare provtagning 2019. Substanser vars resultat är under rapportgränsen är markerade med \*. För total avskiljningsgrad är gröna värden >80%, gula värden 40–80% och rosa värden <40%.

Substans	Verkan	INK	UTG		
		Medel 2019- 2020	Medel 2019- 2020	Total reduktion 2019-2020	Total reduktion 2019
Amlodipine	Blodtryckssänkande	135	104	23%	1%
Atenolol	Blodtryckssänkande	1 130	504	55%	62%
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	*		
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	62	64	-3%	2%
Carbamazepine	Lugnande	599	470	21%	-53%
Ciprofloxacin	Antibiotika	34	*	100%	100%
Citalopram	Antidepressiv	392	509	-30%	-36%
Claritromycin	Antibiotika	69	96	-39%	-39%
Clindamycin	Antibiotika	8	69	-789%	-944%
Diclofenac	Inflammationshämmande	1 076	1 062	1%	-2%
Doxycycline	Antibiotika	*	*		
Erythromycin	Antibiotika	56	175	-213%	-437%
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	*		
Fluoxetine	Antidepressiv	5	22	-339%	-246%
Furosemide	Urindrivande	2 938	1 388	53%	42%
Fusidic acid	Antibiotika	43	*	100%	100%
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	1 550	1 651	-6%	-10%
Ibuprofen	Inflammationshämmande	10 425	129	99%	99%
Ketoprofen	Inflammationshämmande	489	113	77%	73%
Linezolid	Antibiotika	*	*		
Metoprolol	Blodtryckssänkande	2 218	2 138	4%	-1%
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*		
Naproxen	Inflammationshämmande	17 667	101	99%	98%
Norfloxacin	Antibiotika	*	*		
Oxazepam	Lugnande	1 875	2 814	-50%	-55%
Paracetamol	Inflammationshämmande	47 250	*	100%	
Propranolol	Blodtryckssänkande	70	163	-132%	-114%
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*		
Ranitidine	Medel mot magsår	322	178	45%	4%
Rifampicin	Antibiotika	*	*		
Risperidone	Lugnande	*	*		
Sertraline	Antidepressiv	41	200	-386%	-83%
Simvastatin	Blodfettsänkande	999	*	100%	100%
Sulfamethoxazole	Antibiotika	337	77	77%	68%
Terbutaline	Astmamedicin	11	22	-100%	-101%
Tetracycline	Antibiotika	927	230	75%	84%
Trimetoprim	Antibiotika	46	49	-7%	40%
Warfarin	Blodförtunnande	47	12	74%	22%
Östradiol (E2)	Könshormon	5,7	*	100%	100%
Östron (E1)	Könshormon	27	12	56%	54%
Totalhalt och totalreduktion		90 851	12 349	86%	54%

Reduktionsgraden över verket (inkommande-utgående) var tidigare 54 % men har för 2020 ökat till 90 %. En stor del av ökningen står paracetamol för som inte detekterades i inkommande 2019 men återfanns i hög halt 2020. Exkluderas ibuprofen, naproxen och paracetamol sjunker reduktionsgraden till 33 % för 2019-2020. Detta är högre än motsvarande reduktionsgrad på 5 % för 2019.

2019 var det 16 substanser som uppvisade noll eller negativ reduktion över verket och resultaten 2020 stämmer väl överens med detta. Den största avvikelserna står carbamazepine för som tidigare hade en negativ avskiljningsgrad och nu visar på 47 % avskiljning.

Standardparametrarna visar inte på några större skillnader mellan provtagningsveckorna, se bilaga 7. För totalfosfor var reduktionen ständigt över 99,5 % och för TOC var reduktionen 91–94 %. Ammoniumkväve hade en reduktionsgrad på 96 % under provtagningsveckorna i försöksperiod 1 och 2, medan försöksperiod 3 var lite lägre på 86 %. De mikrobiologiska parametrarna gav jämna resultat under alla tre försöksperioderna. Reduktionen av standardparametrarna visar på att verket har fungerat normalt under provtagningsveckorna. Flödet in till Sundet var stabilt under respektive provtagningsvecka. Medelflödet för inkommande vatten var 611–699 m<sup>3</sup>/h för alla försöksperioderna.

## 4.2 RISKANALYS

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. I tidigare förstudie gjordes en riskanalys med EC/PNEC-kvoter för Sundets recipient, Norra Bergundasjön. I den här kompletterande förstudien har riskanalysen uppdaterats med nya resultat för utgående avloppsvatten. I den uppdaterade riskanalysen används ett medelvärde av samtliga analyser 2019–2020 för utgående avloppsvatten.

EC = Effect Concentration (resultat utgående avloppsvatten)

NOEC = No Effect Concentration (hämtas ur litteratur)

PNEC = Predicted No Effect Concentration (NOEC-värden \* utspädning/säkerhetsfaktor)

Säkerhetsfaktor = bygger på bygger på hur många akuta och kroniska studier på olika trofnivåer som NOEC-värdet baseras på

I detta projekt har IVL Svenska miljöinstitutet stått för alla NOEC-värden och säkerhetsfaktorer.

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.

Tabell 12 visar de 13 substanser som hamnar på en riskkvot >0,1 då det bedöms som måttlig till hög risk för oönskade effekter. Riskanalysen för 2019 och 2020 är väldigt lika. I den uppdaterade prioritetslistan är det 7 av de 13 substanserna som utgör en hög risk. År 2019 var det 8 substanser då även erythromycin tillhörde substanserna med hög risk.

Tabell 13 visar vilken halt och reningsgrad som behöver uppnås av ett extra reningssteg för att nå acceptabla riskkvoter. För flertalet av högrisksubstanserna är det fortfarande problem med att analysernas rapportgränser är i samma nivå som halterna för att nå målkvoterna. Rapportgränserna (LOQ) i tabell 13 är spannet mellan de olika provserierna som har skickats in till IVL för analys under den här studien. I tidigare förstudie var spannen för rapportgränserna mycket större.



Tabell 12 Prioritetslista med de substanser som hamnar på en riskkvot >0,1 (gula, måttlig risk) respektive >1,0 (röda, hög risk) för Sundet. Jämförelse med tidigare riskanalys från 2019.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT	Riskkvot 2019
Hög	Oxazepam	Lugnande	2 814	10 000	1 000	2	20	141	258
	Östron (E1)	Könshormon	12	8,0	100	2	0,16	73	90
	Diclofenac	Inflammationshämmande	1 062	500	10	2	100	11	8,8
	Propranolol	Blodtryckssänkande	163	500	50	2	20	8,1	7,3
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	104	10 000	1 000	2	20	5,2	6,7
	Fluoxetine	Antidepressiv	22	29	10	2	5,8	3,9	3,1
	Carbamazepine	Lugnande	470	1 000	10	2	200	2,4	2,3
	Erythromycin	Antibiotika	175	10 300	100	2	206	0,85	1,5
	Sertraline	Antidepressiv	200	9 000	50	2	360	0,56	0,26
	Furosemide	Urindrivande	1 388	142 000	100	2	2 840	0,49	0,49
Måttlig	Metoprolol	Blodtryckssänkande	2 138	129 500	50	2	5 180	0,41	0,38
	Citalopram	Antidepressiv	509	105 000	100	2	2 100	0,24	0,21
	Claritromycin	Antibiotika	96	2 600	10	2	520	0,19	0,18

Tabell 13 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	2 814	20	99,3	1,9	99,93	15-20
Östron (E1)	Könshormon	12	0,16	99	0,015	99,9	1-7
Diclofenac	Inflammationshämmande	1 062	100	91	9,9	99	13-16
Propranolol	Blodtryckssänkande	163	20	88	1,9	99	7-10
Amlodipine	Blodtryckssänkande	104	20	81	1,9	98	25-70
Fluoxetine	Antidepressiv	22	5,8	74	0,57	97	4-12
Carbamazepine	Lugnande	470	200	57	19	96	76-79
Erythromycin	Antibiotika	175	175	0	20	89	24-30
Sertraline	Antidepressiv	200	200	0	35	83	5-9
Furosemide	Urindrivande	1 388	1 388	0	283	80	15-44
Metoprolol	Blodtryckssänkande	2 138	2 138	0	517	76	13-22
Citalopram	Antidepressiv	509	509	0	209	59	15-19
Claritromycin	Antibiotika	96	96	0	51	47	3

## 4.3 PILOTFÖRSÖK

### 4.3.1 Försöksperiod 1: GAK

Av 23 analyserade läkemedelssubstanser var det 6 substanser som inte detekterades i utgående avloppsvattnet före filtrering med aktivt kol. Alla 17 detekterade substanser svarade på behandlingen, se tabell 14. Vid uppehållstid 16,5–18,7 minuter (ytbelastning 6,4–7,3 m/h) var den totala reduktionsgraden för alla substanser 91–92 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll. Det var fyra substanser som hade en reduktionsgrad mindre än 90 %. Warfarin, som hade sämst reduktionsgrad (42–64 %), återfinns i låg halt i utgående avloppsvatten från verket och får därmed svårt att uppnå en hög reduktionsgrad. Diclofenac, furosemide och oxazepam återfinns i hög halt i utgående avloppsvatten från verket och hade en reduktionsgrad på 77–88 % över behandlingssteget. Diclofenac och oxazepam tillhör de substanser med hög risk (röda, kvot > 1) i riskanalysen. Furosemide tillhör de substanser med måttlig risk (gula, kvot 0,1–1). Eventuellt skulle längre uppehållstid kunna öka reduktionsgraden, men tidigare rapporter talar mot detta. Ingen ökad reduktionskapacitet erhöles för kontakttid mer än 10–14 minuter (Edefell, 2019).

Tabell 14 Reduktionsgrad för läkemedel vid filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 20	Vecka 21	Vecka 22
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1	4,5	7,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		7,3	6,4	10,1
<b>Uppehållstid (min)</b>		16,5	18,7	11,8
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		5,2	2,9	4,3
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>		
Amlodipine	Blodtryckssänkande	100	*	100
Atenolol	Blodtryckssänkande	94	100	67
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	100	100	100
Carbamazepine	Lugnande	100	100	67
Citalopram	Antidepressiv	92	88	59
Diclofenac	Inflammationshämmande	79	77	44
Fluoxetine	Antidepressiv	100	100	100
Furosemide	Urindrivande	85	87	55
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	95	98	74
Ibuprofen	Inflammationshämmande	100	100	47
Ketoprofen	Inflammationshämmande	100	100	55
Metoprolol	Blodtryckssänkande	94	97	70
Naproxen	Inflammationshämmande	100	100	100
Oxazepam	Lugnande	88	88	52
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	100	100	77
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	*	100	*
Risperidone	Lugnande	*	*	*
Sertralin	Antidepressiv	97	93	76
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	64	42	23
<b>Totalreduktion</b>		<b>91</b>	<b>92</b>	<b>64</b>
<b>Förklaring</b>		<b>&lt;70 %</b>	<b>70-80 %</b>	<b>80-90 %</b> <b>&gt;90 %</b>

För antibiotika var det 6 substanser av 14 som detekterades i utgående avloppsvattnet före filtrering med aktivt kol, se tabell 15. Vid uppehållstid 16,5–18,7 minuter var den totala reduktionsgraden för alla antibiotika 66–79 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll. Tre antibiotika (tetracycline, sulfamethoxazole och trimetoprim) hade en reduktionsgrad på 100 %, medan de tre resterande (claritromycin, clindamycin och erythromycin) hade en reduktionsgrad på 23–72 %. Alla antibiotika återfinns i relativt låg halt i utgående avloppsvatten från verket. Både claritromycin och erythromycin tillhör de substanser med måttlig risk (gula, kvot 0,1–1). Erythromycin tillhörde i tidigare förstudie de substanserna med hög risk (röda, kvot >1).

Tabell 15 Reduktionsgrad för antibiotika vid filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 20	Vecka 21	Vecka 22
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1	4,5	7,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		7,3	6,4	10,1
<b>Uppehållstid (min)</b>		16,5	18,7	11,8
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		5,2	2,9	4,3
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>		
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	*	*
Ciprofloxacin	Antibiotika	*	*	*
Claritromycin	Antibiotika	48	23	17
Clindamycin	Antibiotika	72	58	27
Doxycycline	Antibiotika	*	*	*
Erythromycin	Antibiotika	30	71	25
Fusic acid	Antibiotika	*	*	*
Linezolid	Antibiotika	*	*	*
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*	*
Norfloxacin	Antibiotika	*	*	*
Rifampicin	Antibiotika	*	*	*
Sulfamethoxazole	Antibiotika	100	100	22
Tetracycline	Antibiotika	*	100	*
Trimetoprim	Antibiotika	100	100	70
<b>Totalreduktion</b>		66	79	32
<b>Förklaring</b>		<70 %	70-80 %	80-90 % >90 %

För hormoner var det endast östron (E1) som detekterades i utgående avloppsvattnet före filtrering med aktivt kol, se tabell 16. Vid uppehållstid 16,5–18,7 minuter var reduktionsgraden för östron 100 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll.

Tabell 16 Reduktionsgrad för hormoner vid filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 20	Vecka 21	Vecka 22
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1	4,5	7,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		7,3	6,4	10,1
<b>Uppehållstid (min)</b>		16,5	18,7	11,8
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		5,2	2,9	4,3
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>		
Östron (E1)	Könshormon	100	100	100
Östradiol (E2)	Könshormon	*	*	*
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*	*	*
<b>Totalreduktion</b>		100	100	100
<b>Förklaring</b>		<70 %	70-80 %	80-90 % >90 %

Uppdateras riskanalysen med resultat efter behandling med aktivt kol ändras riskkvoterna i prioriteringslistan till att 9 substanser har en riskkvot >0,1 och fyra av dem har en riskkvot >1, se tabell 17. Av de fyra substanserna med hög risk för oönskade effekter i recipienten reduceras två av dem ner till under rapporteringsgräns. Oxazepam och diclofenac är de substanser som fortfarande skulle kunna reduceras mer.

Tabell 17 Riskkvoter vid filtrering med aktivt kol med uppehållstid 16,5–18,7 minuter. Högsta resultatet (sämsta reduktionsgraden) för första och andra provtagningsveckan har använts. Ingen markant skillnad mellan veckorna. För de substanser som reduceras 100 % (under rapporteringsgräns) används de lägsta rapporteringsvärdena ur tabell 13. Värdena markeras med \*.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	56	10 000	1 000	2	20	2,8
	Östron (E1)	Könshormon	1*	8,0	100	2	0,16	6,3
	Diclofenac	Inflammationshämmande	300	500	10	2	100	3,0
	Propranolol	Blodtryckssänkande	7*	500	50	2	20	0,35
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	25*	10 000	1 000	2	20	1,3
	Fluoxetine	Antidepressiv	4*	29	10	2	5,8	0,69
	Carbamazepine	Lugnande	76*	1 000	10	2	200	0,38
	Erythromycin	Antibiotika	69	10 300	100	2	206	0,33
Måttlig	Sertraline	Antidepressiv	22	9 000	50	2	360	0,06
	Furosemide	Urindrivande	210	142 000	100	2	2 840	0,07
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	140	129 500	50	2	5 180	0,03
	Citalopram	Antidepressiv	66	105 000	100	2	2 100	0,03
	Clarithromycin	Antibiotika	93	2 600	10	2	520	0,18

Under tredje provtagningsveckan (vecka 22) ökades flödet och ytbelastningen och därmed sjönk uppehållstiden till 11,8 minuter. Reduktionsgraden försämrades betydligt både för läkemedel (från 91–92 % till 64 %) och antibiotika (från 66–79 % till 32 %). De försämrade resultaten beror antingen på att ytbelastningen var 10,1 m/h och kolbädden lyftes i filtret eller på den förkortade uppehållstiden.

Ingående avloppsvatten till kolfiltret (utgående avloppsvatten från Sundet) förändrade sig väldigt lite under försöksperioden, se resultat för standardparametrar i bilaga 7.

Under försöksperioden analyserades även reduktion av de mikrobiologiska parametrarna (koliforma bakterier, E.coli och intestinala enterokocker), se bilaga 7. Koliforma bakterier uppvisade en svag reduktion (12–19 %) under första och andra provtagningsveckan och betydligt högre reduktion (46 %) under tredje veckan. För E.coli är resultaten svårtolkade då reduktionsgraden varierade från -74 till 38 %. Intestinala enterokocker påvisades bara med en koloni i ett prov på utgående avloppsvatten (filtrat).

#### 4.3.2 Försöksperiod 2: Kombinerad GAK & fosforavskiljning

Av 23 analyserade läkemedelssubstanser var det 8 substanser som inte detekterades i ES-vattnet, före filtrering med aktivt kol. I en jämförelse mellan ES-vatten och utgående avloppsvatten på verket är resultaten för ES-vattnet generellt något högre för flertalet substanser. Troligtvis är detta en analysproblematik snarare än en sanning då smutsiga vatten har en högre grad av underskattning av det verkliga resultatet (Magnér, 2017). Alla 15 detekterade substanser svarade på behandlingen, se tabell 18. Vid en uppehållstid på 20 minuter var den totala reduktionsgraden för alla substanser 82 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll. Tio substanser hade en reduktionsgrad

på mindre än 90 %. Tre substanser (citalopram, diclofenac och oxazepam) hade en reduktionsgrad på mindre än 70 %. Diclofenac och oxazepam tillhör de substanser med hög risk (röda, kvot > 1) i riskanalysen. Citalopram tillhör de substanser med måttlig risk (gula, kvot 0,1-1).

Tabell 18 Reduktionsgrad för läkemedel vid filtrering av ES-vatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 24
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		4,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		5,9
<b>Uppehållstid (min)</b>		20
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		3,1
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>
Amlodipine	Blodtryckssänkande	100
Atenolol	Blodtryckssänkande	88
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	*
Carbamazepine	Lugnande	83
Citalopram	Antidepressiv	63
Diclofenac	Inflammationshämmande	56
Fluoxetine	Antidepressiv	100
Furosemide	Urindrivande	74
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	94
Ibuprofen	Inflammationshämmande	71
Ketoprofen	Inflammationshämmande	100
Metoprolol	Blodtryckssänkande	90
Naproxen	Inflammationshämmande	88
Oxazepam	Lugnande	63
Paracetamol	Inflammationshämmande	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	93
Ramipril	Blodtryckssänkande	*
Ranitidine	Medel mot magsår	*
Risperidone	Lugnande	*
Sertralin	Antidepressiv	86
Simvastatin	Blodfettsänkande	*
Terbutaline	Astmamedicin	*
Warfarin	Blodförtunnande	*
<b>Totalreduktion</b>		<b>82</b>
<b>Förklaring</b>		<70 %   70-80 %   80-90 %   >90 %

För antibiotika var det 4 substanser av 14 som detekterades i ES-vattnet före filtrering med aktivt kol, se tabell 19. Vid uppehållstid 20 minuter var den totala reduktionsgraden för alla antibiotika 43 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll. Ett antibiotikum (trimetoprim) hade en reduktionsgrad på 100 %, medan de tre resterande (claritromycin, clindamycin och sulfamethoxazole) hade en reduktionsgrad på 18-57 %. Claritromycin tillhör de substanser med måttlig risk (gula, kvot 0,1-1).

Tabell 19 Reduktionsgrad för antibiotika vid filtrering av ES-vatten genom aktivt kol. 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.

Vecka 24		
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		5,9
<b>Uppehållstid (min)</b>		20
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		3,1
Substans	Verkan	Reduktionsgrad %
Benzylpenicillin	Antibiotika	*
Ciprofloxacin	Antibiotika	*
Claritromycin	Antibiotika	18
Clindamycin	Antibiotika	38
Doxycycline	Antibiotika	*
Erythromycin	Antibiotika	*
Fusic acid	Antibiotika	*
Linezolid	Antibiotika	*
Moxifloxacin	Antibiotika	*
Norfloxacin	Antibiotika	*
Rifampicin	Antibiotika	*
Sulfamethoxazole	Antibiotika	57
Tetracycline	Antibiotika	*
Trimetoprim	Antibiotika	100
<b>Totalreduktion</b>		<b>43</b>
<b>Förklaring</b>		<70 % 70-80 % 80-90 % >90 %

För hormoner var det endast östron (E1) som detekterades i ES-vattnet före filtrering med aktivt kol, se tabell 20. Vid uppehållstid 20 minuter var reduktionsgraden för östron 100 %. Vid beräkning har alla resultat under rapportgräns räknats som noll.

Tabell 20 Reduktionsgrad för hormoner vid filtrering av ES-vatten genom aktivt kol. 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.

Vecka 24		
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		4,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		5,9
<b>Uppehållstid (min)</b>		20
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		3,1
Substans	Verkan	Reduktionsgrad %
Östron (E1)	Könshormon	100
Östradiol (E2)	Könshormon	*
Etinylöstradiol (EE2)	Könshormon	*
<b>Totalreduktion</b>		<b>100</b>
<b>Förklaring</b>		<70 % 70-80 % 80-90 % >90 %

Uppdateras riskanalysen med resultat efter behandling av ES-vatten med aktivt kol ändras riskkvoterna i prioritetslistan till att 11 substanser har en riskkvot >0,1 och fyra av dem har en riskkvot >1, se tabell 21. Liksom för utgående avloppsvatten reduceras två av de fyra substanserna med hög risk för oönskade effekter i recipienten ner till under rapporteringsgräns. Även för ES-vatten är oxazepam och diclofenac de substanser som fortfarande skulle kunna reduceras mer.

Tabell 21 Riskkvoter vid filtrering av ES-vatten med aktivt kol med uppehållstid 20 minuter. För de substanser som reduceras 100 % (under rapporteringsgräns) används de lägsta rapporteringsvärdena ur tabell 13. Värdena markeras med \*.

Risk	Substans	Verkan	Utgående (EC) (ng/l)	NOEC (ng/l)	Säkerhetsfaktor	Utspädning	PNEC (ng/l)	Riskkvot (EC/PNEC-kvot) RECIPIENT
Hög	Oxazepam	Lugnande	170	10 000	1 000	2	20	9,0
	Östron (E1)	Könshormon	1*	8,0	100	2	0,16	6,3
	Diclofenac	Inflammationshämmande	480	500	10	2	100	4,8
	Propranolol	Blodtryckssänkande	12	500	50	2	20	0,60
	Amlodipine	Blodtryckssänkande	25*	10 000	1 000	2	20	1,3
	Fluoxetine	Antidepressiv	4*	29	10	2	5,8	0,69
	Carbamazepine	Lugnande	77	1 000	10	2	200	0,39
Måttlig	Erythromycin	Antibiotika	24*	10 300	100	2	206	0,12
	Sertraline	Antidepressiv	29	9 000	50	2	360	0,08
	Furosemide	Urindrivande	340	142 000	100	2	2 840	0,12
	Metoprolol	Blodtryckssänkande	260	129 500	50	2	5 180	0,05
	Citalopram	Antidepressiv	220	105 000	100	2	2 100	0,10
	Clarithromycin	Antibiotika	65	2 600	10	2	520	0,13

Flockarna som bildas vid tillsats av fällningskemikalie avskiljs effektivt i Sundets ordinarie sandfilter. Avskiljningen är inte lika effektiv i kolfiltret, se tabell 22. För sandfiltrering nås väldigt låga halter för både totalfosfor, järn och aluminium. Så länge kolfiltret fungerade gav även det bra reduktion av parametrarna, dock inte lika bra som för sand. Tyvärr klarade kolfiltret inte av belastningen och satte igen efter bara en veckas gångtid. Filtret kunde inte hållas rent på grund av att varken mängden tvättvatten eller bäddomsättningen gick att öka mer då kol följde med tvättvattnet ut.



Tabell 22 Fosforreduktion och reduktion av andra standardparametrar för kolfiltrering av ES-vatten. Avskiljningsgraden är över filtersteget, kolfilter för pilotanläggning och sandfilter i ordinarie vattenrening på verket.

		Vecka 24		
Flöde	m <sup>3</sup> /h	4,1		
Ytbelastning	m/h	5,9		
Uppehållstid	min	20		
Tvättvattenflöde	l/min	3,1		
		Före kolfilter	Filtrat	Ordinarie utg
tot-P	mg/l	0,12	0,046	0,023
avskiljn tot-P	%		62	81
TOC	mg/l	13	9,5	9,4
avskiljn TOC	%		27	28
susp	mg/l	15	3,8	<2,0
avskiljn susp	%		75	>87
Al	mg/l	2,6	0,66	<0,20
avskiljn Al	%		76	>92
Fe	mg/l	0,4	0,12	0,075
avskiljn Fe	%		70	81

Standardparametrar på ingående avloppsvatten till pilotanläggningen (ES-vatten) visar på att reningen på verket fungerade normalt under försöksperioden, se tabell i bilaga 7.

Under försöksveckan analyserades även reduktion av de mikrobiologiska parametrarna (koliforma bakterier, E.coli och intestinala enterokocker), se bilaga 7. Alla bakterier uppvisade en kraftig reduktion på 51-92 % (koliforma 51 %, E.coli 77 % och intestinala enterokocker 92 %).

#### 4.3.3 Försöksperiod 3: Upprepningstest/Kapacitetstest

Försöksperiod 3 inleddes med en återupprepning av vecka 20 (försöksperiod 1) med filtrering av utgående avloppsvatten och en ytbelastning på 7,3 m/h (flöde 5,1 m<sup>3</sup>/h).

Upprepning av vecka 20 gav mycket likvärdiga resultat för läkemedel och de flesta substanser fick överensstämmande reduktionsgrader, se tabell 23. Totalreduktionen var tidigare 90 % och vid upprepning blev den 91 %. Reduktionsgraden sjönk mest för naproxen och ibuprofen och förklaringen är mest troligt låga uppmätta halter vilket ger en osäker reduktionsgrad.

Även för antibiotika gav det överensstämmande resultat vid upprepning, se tabell 24. Totalreduktionen var tidigare 66 % och vid upprepning blev den 65 %. Man ser större variationer för substansernas reduktionsgrader och även här är den mest troliga förklaringen låga halter.

Även för hormoner var resultaten överensstämmande. Återigen var endast östron (E1) som detekterades i utgående avloppsvattnet före kolfiltrering och reduktionsgraden för östron var även nu 100 %.

Ingående avloppsvatten till kolfiltret (utgående avloppsvatten från Sundet) var likvärdigt under de två jämförande veckorna, se resultat för standardparametrar i bilaga 7.

Tabell 23 Jämförelse försöksperiod 1 mot 3. Reduktionsgrad för läkemedel vid filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 33	Vecka 20
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1	5,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		7,3	7,3
<b>Uppehållstid (min)</b>		16,5	16,5
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		4,5	5,2
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>	
Amlodipine	Blodtryckssänkande	100	100
Atenolol	Blodtryckssänkande	97	94
Bisoprolol	Blodtryckssänkande	*	100
Carbamazepine	Lugnande	100	100
Citalopram	Antidepressiv	89	92
Diclofenac	Inflammationshämmande	70	79
Fluoxetine	Antidepressiv	100	100
Furosemide	Urindrivande	83	85
Hydrochlorothiazide	Blodtryckssänkande	97	95
Ibuprofen	Inflammationshämmande	70	100
Ketoprofen	Inflammationshämmande	100	100
Metoprolol	Blodtryckssänkande	97	94
Naproxen	Inflammationshämmande	89	100
Oxazepam	Lugnande	82	88
Paracetamol	Inflammationshämmande	*	*
Propranolol	Blodtryckssänkande	100	100
Ramipril	Blodtryckssänkande	*	*
Ranitidine	Medel mot magsår	*	*
Risperidone	Lugnande	*	*
Sertralin	Antidepressiv	100	97
Simvastatin	Blodfettsänkande	*	*
Terbutaline	Astmamedicin	*	*
Warfarin	Blodförtunnande	*	64
<b>Totalreduktion</b>		<b>90</b>	<b>91</b>
<b>Förklaring</b>		<70 %	70-80 % 80-90 % >90 %

Tabell 24 Jämförelse försöksperiod 1 mot 3. Reduktionsgrad för antibiotika vid filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol. 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.

		Vecka 33	Vecka 20
<b>Flöde (m<sup>3</sup>/h)</b>		5,1	5,1
<b>Ytbelastning (m/h)</b>		7,3	7,3
<b>Uppehållstid (min)</b>		16,5	16,5
<b>Tvättvattenflöde (l/min)</b>		4,5	5,2
<b>Substans</b>	<b>Verkan</b>	<b>Reduktionsgrad %</b>	
Benzylpenicillin	Antibiotika	*	*
Ciprofloxacin	Antibiotika	*	*
Claritromycin	Antibiotika	33	48
Clindamycin	Antibiotika	55	72
Doxycycline	Antibiotika	*	*
Erythromycin	Antibiotika	*	30
Fusic acid	Antibiotika	*	*
Linezolid	Antibiotika	*	*
Moxifloxacin	Antibiotika	*	*
Norfloxacin	Antibiotika	*	*
Rifampicin	Antibiotika	*	*
Sulfamethoxazole	Antibiotika	71	100
Tetracycline	Antibiotika	*	*
Trimetoprim	Antibiotika	100	100
<b>Totalreduktion</b>		65	66
<b>Förklaring</b>		<70 %	70-80 % 80-90 % >90 %

Efter vecka 33 gjordes det under en dag ett kapacitetstest då flödet successivt ökades. Vid 8 m<sup>3</sup>/h satte membranpumpen, som pumpade ES-vattnet till filtret, stopp för testet då den inte klarade att öka mer. Kolbädden var stabil men hade lyft något.

#### 4.4 DRIFT, UNDERHÅLL OCH ARBETSMILJÖ

Under pilotanläggningens drifttid har det inte varit några större problem förutom igensättning vid byte av inkommande vatten till anläggningen från utgående till ES-vatten. Först misstänktes att det skett slamflykt från eftersedimenteringen under ett nattligt regn och att slammet satt igen filtret. Efter tvättning med kranvatten kopplades ES-vattnet på igen. Försök med att öka mängden tvättvatten gjordes, men vid ökning uppstod tyvärr kolflykt ut i tvättvattnet. Filtret slutade återigen fungera på grund av igensättning och försöket fick avbrytas.

Inställning av tvättvatten var något svårjusterat på pilotanläggningen. Justeringen gjordes med ett inre rör i utloppsröret. Höjdes röret så minskade mängden tvättvatten och tvärtom. Tyvärr satt detta rör väldigt hårt fast. Sundets egen verkstad konstruerade ett yttre rör som var lite lättare att justera. På större filterenheter är det en annan konstruktion och mycket lättare att justera.

Filterenheten är ursprungligen designad för sand. För kol används lägre bäddomsättning och därför behövde rotametern för tryckluft till pumpen bytas till en mindre modell. Efter

försökets slut kan man konstatera att rotametern var på gränsen till för stor ändå. Med mindre rotameter hade justeringsmöjligheten varit bättre.

Vid uppstart fylldes pilotanläggningen med kol med hjälp av kranbil och storsäck. Vid påfyllning dammade det rejält och skyddsglasögon och munskydd var nödvändigt. Vid planer på en anläggning i fullskala måste arbetsmiljöproblem med damm beaktas.

Leverantören Nordic Water har varit mycket behjälplig under hela försökstiden med allt från testplan till faktiskt skruvande på plats. Uppstart och driftsutbildning ordnades på Sundet av Nordic Water och de har sedan engagerat följt försöket på distans.

#### **4.5 KOSTNADSBERÄKNING FÖR POTENTIELL ANLÄGGNING I FULLSKALA**

Kostnadsberäkning för en potentiell anläggning i fullskala är gjord för normalflöde 800 m<sup>3</sup>/h, dimensionerande flöde 1500 m<sup>3</sup>/h och maxflöde 3000 m<sup>3</sup>/h, och baseras på ytbelastningen cirka 7 m/h (uppehållstid 16–17 minuter). Vid den ytbelastningen var totalreduktionen över pilotanläggningen drygt 90 % och för oxazepam och diclofenac, vilka är de högst prioriterade substanserna för Sundet, tabell 12, var reduktionen 88 % respektive 78 %.

Försöksperioden med pilotanläggningen har inte varit tillräckligt lång för att kunna utvärdera hur länge kolet behåller tillräcklig adsorptionskapacitet. Därför är kostnadsberäkningen gjord på 20 000, 30 000 och 50 000 bäddvolymmer innan kolet behöver regenereras.

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

##### **4.5.1 Aktivt kol**

Investeringskostnader för en filtreringsanläggning med DynaSand Carbon består av kostnaden för filterenheter DS5000, pneumatiskåp, elskåp och första bäddmaterialet. För högsta flödet finns en jämförelse mellan fristående filter och betongkonstruktion, se tabell 25.

Byggnad till filterenheterna är inte med i beräkningen, endast krav på yta är med i jämförelsen.

Driftskostnader eller löpande kostnader omfattar byte av kol och förbrukning av elenergi för tryckluft, som i stort sett är försumbar i sammanhanget.

För filtrering med aktivt kol för ett normalflöde, 800 m<sup>3</sup>/h, av utgående avloppsvatten från Sundet och med en reduktionsgrad på minst 80 % av de högst prioriterade substanserna, oxazepam och diclofenac, blir investeringskostnaden (exkl. byggnad) 13,1 MSEK och driftskostnaden 3,9 MSEK/år, se tabell 25.

Tabell 25 Drift- och investeringskostnader för en potentiell anläggning med DynaSand Carbon i fullskala. Inringad rad är normalflöde 800 m<sup>3</sup>/h och kolbyte efter 20 000 bäddvolymeter.

Flöde	Bädd- volymeter	Antal filter	Yta (m <sup>2</sup> )	Drift (MSEK/år)	Invest <sup>1</sup> (MSEK)	Invest <sup>2</sup> (MSEK)
800 m <sup>3</sup> /h	20 000	22	110	3,9	13,1	
	30 000	22	110	2,6	13,1	
	50 000	22	110	1,6	13,1	
1500 m <sup>3</sup> /h	20 000	42	210	7,3	25,0	
	30 000	42	210	4,9	25,0	
	50 000	42	210	2,9	25,0	
3000 m <sup>3</sup> /h	20 000	84	420	14,5	50,0	41,0
	30 000	84	420	9,7	50,0	41,0
	50 000	84	420	5,8	50,0	41,0

<sup>1</sup> Fristående filter  
<sup>2</sup> Betongkonstruktion

#### 4.5.2 Jämförelse med tidigare testade tekniker

Energiförbrukning, driftskostnad, investeringskostnad och utrymmeskrav är viktiga utvärderingsparametrar vid val av teknik. I tabell 26 jämförs parametrarnas resultat för filtrering med aktivt kol mot tidigare pilotförsök med ozon- och H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling. Alla beräkningar är gjorda utifrån pilotförsöken. Förbrukningar och kostnader för tidigare pilotförsök är hämtade ur rapporten *Förstudie läkemedelsrening vid Sundets reningsverk, Växjö* (Lindberg, 2020).

För filtrering med aktivt kol är byte av kol den största kostnaden. De båda andra teknikerna är energikrävande behandlingsmetoder och en stor del av respektive tekniks driftskostnad är förbrukning av elenergi. Priset för el som använts vid beräkning är 0,813 SEK/kWh.

I tidigare förstudie beräknades investeringskostnaden för ozonanläggningen till 10,5 MSEK. I denna rapport är siffran korrigerad till 23,5 MSEK, då den nu inkluderar en kostnadsuppskattning för en kontaktbassäng på 13 MSEK.

I kostnadsberäkningen för UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> är katalytiska bäddar medräknade. De är till för att reducera halten av kvarvarande H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i avloppsvattnet. 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 transformationsprodukter. Inga nuvarande ekotoxikologiska tester tyder på att det bildas några toxiska produkter, varken efter behandling med ozon eller UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, i de doser som används för läkemedelsrening. Med försiktighetsprincipen i åtanke rekommenderar de flesta en efterbehandling.

I tabell 26 baseras förbrukningar och kostnader för ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> på 80 % reduktion av oxazepam (ozon 4 g/m<sup>3</sup>, väteperoxid 40 ppm, UV 6 300 J/m<sup>2</sup>) vid ett normalflöde på 800 m<sup>3</sup>/h. Jämfört med en pilotanläggning kan det på en anläggning i fullskala vara svårare

att få bra inblandning av ozonet. Skulle ozondosen behöva höjas till 12 g/m<sup>3</sup> höjs driftskostnaden 0,53–0,85 SEK/m<sup>3</sup>.

För kol baseras kostnaden på uppehållstiden 16–17 minuter (ytbelastning 7m/h) och kolbyte efter 20 000 bäddvolym. Om det aktiva kolet kan användas för 30 000 bäddvolym sänks driftskostnaden till 0,56 kr/m<sup>3</sup>. Priset för kol som använts vid beräkning är 22 100 SEK/ton.

Kostnaderna stämmer överens med vad som presenterats i tidigare rapporter (Baresel m fl, 2019).

Tabell 26 Jämförelse av beräkningar för en potentiell anläggning i fullskala. Jämförelse mellan aktivt kol och tidigare testade tekniker. Driftskostnaden för ozon är ett spann, beräkning baserat på högsta och lägsta priset på LOX (flytande syre). Kolumn längst till höger är förbrukning för Sundet med befintlig process.

		UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ozon	Aktivt kol	Sundet 2018
Energiförbrukning	kWh/m <sup>3</sup>	0,36	0,033	-	0,8
	MWh/år	2 511	230	-	5 000
Driftskostnad	SEK/m <sup>3</sup>	1,10	0,42-0,52	0,74	
Investeringskostnad	MSEK	15,4	23,5	13,1	
Byggnad yta	m <sup>2</sup>	150	20	110	
Bassäng volym	m <sup>3</sup>	-	>200	-	

## 5 SLUTSATS

---

Syftet med detta projekt var att komplettera tidigare förstudie för läkemedelsavskiljning vid Sundets reningsverk. Tidigare har nulägesanalys och pilotstudier med ozonering och behandling med UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ultraviolett ljus/väteperoxid) utförts. Med detta projekt kompletterades pilotstudierna med filtrering med aktivt kol. Målet med detta och tidigare projekt var att få fram ett beslutsunderlag för eventuell investering i fullskala.

Nulägesanalysen från tidigare förstudie har uppdaterats med resultat från 2020 både för inkommande och utgående avloppsvatten. De nya resultaten stämmer väl överens med tidigare medelvärden från 2019 med undantag för några substanser för inkommande avloppsvatten.

- *Paracetamol* har analyserats med en reviderad analysmetod och medelhalten har därför ökat från under rapportgräns till 47 250 ng/l. Rapportgränsen har varierat mellan 3–150 ng/l.
- Medelhalten *naproxen* har ökat fyra gånger till 28 200 ng/l. Halterna från två veckoprov var >>50 000 ng/l. Förklaringen från IVL är att internstandarden var påverkad av andra ämnen i provet och därmed låg. Omräknat resultat med en annan internstandard blev 4 400 och 4 600 ng/l.
- Medelhalten *oxazepam* har minskat från 3 333 ng/l till 418 ng/l. Ingen känd förklaring finns.

Även för utgående avloppsvatten har halten *oxazepam* sjunkit från 5 166 ng/l till 463 ng/l. I den tidigare rapporten var halten *oxazepam* 10 gånger högre än referensvärdet från andra verk. Nu är resultatet på samma nivå som andra verk. Har något förändrats i halten in till Sundet eller är det analysmetoden?

Det finns helt klart analytiska utmaningar med stor osäkerhet eftersom läkemedelsrester uppträder i mycket låga koncentrationer i en svåranalyserad matris som avloppsvatten.

Utifrån det här projektets urval av substanser är det fortfarande de inflammationshämmande substanserna (ibuprofen, naproxen och nu även paracetamol) som står för de högsta halterna in till Sundet. Totalreduktionen över verket, med befintlig process, beräknades i medel för 2020 till 90 %. En markant ökning från föregående års totalreduktion på 54 %. Förklaringen till ökningen är de höga halterna ibuprofen, naproxen och paracetamol som är substanser som reduceras nästan 100 %. En sammanslagning av alla resultat ger ett medelvärde för totalreduktionen över verket på 83 %. Exkluderas de inflammationshämmande substanserna som kommer in i hög halt, sjunker totalreduktionen till 33 %. Ovanstående visar på att totalreduktion är en osäker och diffus jämförelseparameter som är helt beroende av vilka substanser som inkluderas i beräkningen.

Även riskanalysen för recipienten Norra Bergundasjön har uppdaterats med 2020 års resultat. 13 substanser fick en kvot >0,1 som innebär måttlig till hög risk för oönskade effekter i recipienten. Riskanalysen för 2019 och 2020 är väldigt lika. Förra året fick åtta substanser (*oxazepam*, *östron*, *diclofenac*, *propranolol*, *amlodipine*, *fluoxetine*, *carbamazepine* och *erythromycin*) en riskkvot över 1,0 (hög risk). I år fick *erythromycin* en kvot under 1,0 i övrigt är listan densamma.



Pilotförsöket med filtrering av utgående avloppsvatten genom aktivt kol i DynaSand-filter (DynaSand Carbon) visar att tekniken har en god reduktionsförmåga med avseende på läkemedelsrester. Vid en ytbelastning på 7 m/h och uppehållstid på 16–17 minuter blir totalreduktionen för läkemedel drygt 90 % över kolfiltret. Av hormoner är det bara östron som detekteras och hormonet reduceras till under rapportgräns över kolfiltret. Även antibiotika reduceras men uppvisar sämre reduktionsgrader. Totalreduktionen för antibiotika är cirka 70 %, men variationen mellan substanser är 23–100 %. En substans som reduceras till under rapportgräns beräknas som 100 % reduktion.

Detta kan jämföras med de tidigare testade teknikernas totalreduktion på drygt 90 % för ozon (dos 4 g/m<sup>3</sup>) och 85 % för UV/väteperoxid (UV-dos 6 300 J/m<sup>2</sup>, 40 ppm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Målbilden för de oxidativa pilotstudierna var 80 % reduktion av den lugnande och ångestdämpande substansen oxazepam som ligger högst upp på prioriteringslistan för Sundet. Oxazepam var den substans som krävde högst dos för att uppnå önskad reduktion. Kravet på reningsgrad för att sänka risken för oxazepam från hög till måttlig risk var >99 %. Detta var inte en rimlig ambitionsnivå att försöka nå då det enbart är oxazepam som kräver så hög dos. Det uppstår även problem med analysresultat då de analysmetoder som finns tillgängliga har svårt att mäta så låga halter som krävs.

För filtrering med aktivt kol är det inte oxazepam som hamnar i fokus utan den inflammationshämmande substansen diclofenac. Oxazepam reduceras med 88 % medan diclofenac bara reduceras med 78 %. Detta är bättre reduktion för DynaSand Carbon än för liknande försök som i Simrishamn (Baresel m fl., 2020), men sämre reduktion än mer traditionell filtrering genom aktivt kol som i Kalmar (Edefell, 2019). För att sänka risken till måttlig för diclofenac var reningskravet 91 % och detta nås inte med DynaSand Carbon. Även här kanske en rimlig ambitionsnivå är 80 % reduktion?

Viss reduktion (12–19 %) av koliforma bakterier kunde ses för filtrering med aktivt kol men för E.coli och intestinala enterokocker uppvisades ingen reduktion. Detta kan jämföras med de oxidativa teknikerna som reducerade alla bakterier >95 %.

På Sundet finns det idag 60 DynaSand-filter som slutpoleringssteg med fosforfällning. Syftet med pilotanläggningen DynaSand Carbon var att se om det gick att ersätta sanden med aktivt kol och erhålla en kombinerad fosfor- och läkemedelsavskiljning. Tyvärr klarade kolfiltret inte av den hårda belastningen då den kontinuerliga tvättningen inte hann med att hålla rent och filtret satte igen. Försöket visade tydligt att filtrering med aktivt kol bör föregås av någon typ av förfiltrering som skydd mot igensättning.

I jämförelse med de tidigare testade oxidativa teknikerna är driften av DynaSand-filter enkel och behöver endast begränsad tillsyn. Det behövs inte heller specialkunskap för driftspersonal.

Beräkningar visar att kostnaden för behandling med DynaSand Carbon storleksmässigt hamnar mellan ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-behandling. Investeringskostnaden för behandling med DynaSand Carbon hamnar på 13,1 MSEK och driftskostnaden beräknas till 0,74 SEK/m<sup>3</sup>. För filtrering med aktivt kol är byte av kol den stora kostnaden. Investerings- och driftskostnad för ozon och UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> beräknades i tidigare förstudie till 10,5 MSEK och 0,23–0,34 SEK/m<sup>3</sup> respektive 15,4 MSEK och 1,10 SEK/m<sup>3</sup>. Investeringskostnaden för ozon är i denna rapport justerad från 10,5 till 23,5 MSEK då

kostnad för kontaktbassäng nu är inräknad. Omräknad driftskostnad blir 0,42–0,52 SEK/m<sup>3</sup>.

Erfarenheter från pilotstudierna har skapat värdefull information och kunskap inför en framtida eventuell utbyggnad med läkemedelsrening på Sundet. I dagsläget finns inga utsläppskrav men det kan komma i framtiden.

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 avvakta eller integreras i beslut om våtmarken.

## 6 REFERENSER

---

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

Baresel, C; Ekengren, Ö; Filipsson, S; Karlsson, J; Winberg von Friesen, L; Blomqvist, S; Hasselgren, M; Lazic, A; Stapel, H; Feldthusen, M; Hellman, J; Nordin, A (2020) *The municipal wastewater treatment plant of the future - A water reuse facility* IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C538

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

Edefell, E; Ullman, R; Bengtsson, E (2019) *Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroförroeningar* SVU Rapport Nr 2019-1

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

Lindberg, J (2020) *Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk*, Växjö Rapport Växjö kommun

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

Madestam Olofsson, Håkan (muntlig referens), 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

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

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

Thorsén, Gunnar (mail referens), IVL Svenska miljöinstitutet

Växjö kommun (2014) *Åtgärdsstrategi för Växjösjöarna*

Växjö kommun (2018) *Miljörapport Sundets reningsverk*

## 7 BILAGA STANDARDPARAMETRAR

Tabell 27 Standardparametrar för försöksperiod 1, utgående avloppsvatten.

		Vecka 20				Vecka 21			Vecka 22			
Flöde	m <sup>3</sup> /h	5,1				4,5			7,1			
Ytbelastning	m/h	7,3				6,4			10,1			
Uppehållstid	min	16,5				18,7			11,8			
Tvättvattenflöde	l/min	5,2				2,9			4,3			
		Ink	Före kolf.	Filtrat	Tvättv.	Före kolf.	Filtrat	Tvättv.	Ink	Före kolf.	Filtrat	Tvättv.
pH	pH-enh		7,1	7,4	7,1	6,9	7,0	6,8		7,0	7,1	6,9
turbiditet	FNU		0,68	0,58	5,9	0,49	0,43	7,9		0,45	0,53	3,0
UV-absorbans	abs-enh		0,183	0,122	0,183	0,180	0,126	0,197		0,199	0,171	0,207
BOD <sub>7</sub>	mg/l		<3	<3	4	<3	<3	<3		<3	<3	<3
TOC	mg/l	110	9,8	6,1	9,2	8,1	6,8	8,3	140	8,7	8,0	8,8
DOC	mg/l		7,5	5,5	5,7	7,5	5,9	5,1		8,7	7,6	7,9
NH <sub>4</sub> N	mg/l	34	1,3	1,6	1,3	1,0	0,91	0,54	37	1,4	1,4	1,4
NO <sub>2</sub> N	mg/l		0,020	0,021	0,008	0,016	0,008	<0,005		0,012	0,006	<0,005
NO <sub>3</sub> N	mg/l		12	12	11	14	14	12		13	13	12
susp	mg/l		<2,0	<2,0	11	<2,0	<2,0	13		<2,0	<2,0	5,7
tot-P	mg/l	4,94	0,026	0,021	0,15	0,021	0,016	0,14	5,72	0,022	0,020	0,059
Al	mg/l		0,20	<0,20	1,4	<0,20	<0,20	1,7		<0,20	<0,20	0,98
Fe	mg/l		0,071	0,037	0,27	0,064	0,034	0,36		0,071	0,053	0,22
Koliforma	MPN/100ml		2 600	2 100		1 600	1 400			3 700	2 000	
E.coli	MPN/100ml		200	290		130	81			190	330	
IE	cfu/100ml		<1	<1		<1	<1			<1	1	

Tabell 28 Standardparametrar för försöksperiod 3, utgående avloppsvatten

		Vecka 33			
Flöde	m <sup>3</sup> /h	5,1			
Ytbelastning	m/h	7,3			
Uppehållstid	min	16,5			
Tvättvattenflöde	l/min	4,5			
		Ink	Före kolf.	Filtrat	Tvättv.
pH	pH-enh		7,2	7,2	7,3
turbiditet	FNU		0,47	0,37	4,1
UV-absorbans	abs-enh		0,216	0,173	0,217
BOD <sub>7</sub>	mg/l		<3	<3	<3
TOC	mg/l	130	8,8	7,8	9,3
DOC	mg/l		8,2	7,5	7,2
NH <sub>4</sub> N	mg/l	32	4,6	4,7	5,1
NO <sub>2</sub> N	mg/l		<0,005	0,008	0,011
NO <sub>3</sub> N	mg/l		14	13	12
susp	mg/l		<2,0	<2,0	8
tot-P	mg/l	5,13	0,025	0,022	0,10
Al	mg/l		<0,20	<0,20	1,2
Fe	mg/l		0,060	0,044	0,23
Koliforma	MPN/100ml		2 200	1 200	
E.coli	MPN/100ml		280	200	
IE	cfu/100ml		1	<1	

Tabell 29 Standardparametrar för försöksperiod 2, ES-vatten.

		Vecka 24				
Flöde	m <sup>3</sup> /h	4,1				
Ytbelastning	m/h	5,9				
Uppehållstid	min	20,5				
Tvättvattenflöde	l/min	3,1				
		Ink	Före kolf.	Filtrat	Tvättv.	Ordinarie utg
pH	pH-enh		6,9	7,3	6,8	7,1
turbiditet	FNU		3,6	1,2	>50	0,55
UV-absorbans	abs-enh		0,302	0,180	1,165	0,204
BOD <sub>7</sub>	mg/l		<3	<3	12	
TOC	mg/l	130	13	9,5	57	9,4
DOC	mg/l		9,7	7,8	9,4	
NH <sub>4</sub> N	mg/l	36	1,4	1,3	0,72	1,6
NO <sub>2</sub> N	mg/l		0,057	0,025	0,033	
NO <sub>3</sub> N	mg/l		14	13	13	
susp	mg/l		15	3,8	310	<2,0
tot-P	mg/l	5,80	0,12	0,046	2,04	0,023
Al	mg/l		2,6	0,66	1,4	<0,20
Fe	mg/l		0,38	0,12	0,64	0,075
Koliforma	MPN/100ml		20 000	9 800		
E.coli	MPN/100ml		6 500	1 500		
IE	cfu/100ml		250	21		