

Läkemedelsrening – Hjo kommun

SLUTRAPPORT

Johan Joos Lindberg
| MELLIFIQ AB

Innehållsförteckning

1	Introduktion	3
1.1	Läkemedel och hormoner i avloppsvattnet.....	3
1.2	Vättern och dess naturliv.....	3
1.3	Hjo avloppsreningsverk	4
1.4	Ansökan om bidrag.....	5
1.5	Syfte	5
2	Förstudie.....	6
2.1	Provtagningspunkter	6
2.2	Uppehållstider och provtagningsschema.....	6
2.3	Metod för provtagning	7
2.3.1	Analys av vattenprover.....	7
2.4	Resultat och diskussion - Förstudie.....	8
2.4.1	Totala läkemedelshalter.....	8
2.4.2	Specifika läkemedel	9
2.4.3	Övriga mätparametrar.....	11
2.5	Rekommendation för pilotstudie.....	12
3	Pilotstudie.....	13
3.1	Pilotanläggning.....	13
3.1.1	Sandfilter - Watermaid FlexKarb™-S.....	15
3.1.2	Ozonering - Ozonetech RENA Tellus.....	15
3.1.3	GAK-filter - Watermaid FlexKarb™-C.....	16
3.2	Metod	16
3.2.1	Systemprov	17
3.2.2	Utvärdering av sandfilter.....	18
3.2.3	Utvärdering av GAK-filter samt ozonreningsgrad över tid.....	19
3.2.4	Analys av vattenprover.....	19
3.3	Resultat och diskussion - Pilotstudie.....	20
3.3.1	Systemprov	20
3.3.2	Utvärdering av sandfilter.....	24
3.3.3	Driftsutvärdering	25
3.3.4	Energiförbrukning	28

3.3.5	Nyckeltal.....	28
4	Slutsats och rekommendationer	30
4.1	Reningsgrad.....	30
4.2	Rekommenderade reningstekniker	30
4.3	Fullskalig anläggning	30
5	Referenser	32
Bilaga 1 - Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser		33

1 Introduktion

Under våren 2021 ansökte Hjo kommun om bidrag från Naturvårdsverket för att utreda möjligheten till rening av läkemedel och hormoner från vattnet som släpps ut i Vättern från Hjos avloppsreningsverk. Denna ansökan beviljades, och pilotprojektet för att utreda detta startades tillsammans med företaget Mellifiq i ett partnerskap som har löpt under hela projektet. Projektet har nu lett fram till denna slutrapport, vari utfallet från försöken presenteras såväl som rekommendationer för framtida läkemedelsrening i full skala.

1.1 Läkemedel och hormoner i avloppsvattnet

En betydande mängd av de läkemedel som vi människor och djur använder hamnar till slut i avloppsvattnet. Det handlar inte bara om att vi utsöndrar en del av läkemedlen som inte tas upp av kroppen, utan också att läkemedel spolats ned i avlopp i stället för att destrueras (Läkemedelsverket, 2012).

Flertalet akademiska studier visar på att läkemedelssubstanser i naturen har en skadlig effekt på vattendrag och ekosystem. I Sverige används mer än 1000 olika substanser i mer än 7 600 olika läkemedel. Dagens reningsverk är inte utformade för att rena läkemedel vilket resulterar i att en stor del läkemedelsrester släpps ut i naturen (Baresel, o.a., 2015).

Läkemedelsanvändning i samhället har ökat över tid och kommer troligtvis att fortsätta att öka i framtiden. Därmed kommer även utsläpp att öka vilket påverkar närliggande naturområden och vattendrag (Hamrén, 2017).

1.2 Vättern och dess naturliv

Reningsverkets utsläppspunkt är belägen i Vättern. Merparten av Vätterns yta utgör ett Natura 2000-område, vilket är en bevarandeplan i syfte att hejda utrotning av arter och livsmiljöer. I bevarandeplanen presenteras prioriterade fiskarter i hela Vättern som nissöga och stensimpa. Vidare finns 31 av Sveriges 50 sötvattenarter i Vättern. Områdena runt vättern är välbesökta turistmål och enligt miljöbalken presenteras vattnet som riksintresse. Vättern har en unik klarhet, det och storleken gör Vättern till en känslig sjö. Den stora ytan kombinerat med låg tillrinning och omfattande sjövolym gör att omsättningstiden för sjön är mycket lång, ca 60 år. Detta gör att tillförda ämnen till sjön kan ackumuleras (Vätternvårdsförbundet, 2018).

Dessutom är fosforhalterna mycket låga, vilket innebär en låg produktion av planktonbiomassa då fosfor är det näringsämne som reglerar växtproduktionen i sjön. Detta leder till en liten biologisk utspädning av tillförda ämnen, eftersom bioproduktivitetsnivån är så pass låg. Det kan därför konstateras att det är viktigt att värna om Vätterns unika biologiska mångfald och livsmiljöer genom att minimera tillförda ämnen till Vättern.



Figur 1 Panoramabild över recipient Vättern.

1.3 Hjo avloppsreningsverk

Hjo kommun ligger i Västra Götalands län och har ca 9 000 invånare. Det är en relativt liten kommun sett till arealen med sina ca 580 kvadratkilometer. Centralorten Hjo ligger vid Vätterns västra strand, vilken är recipienten till Hjo avloppsreningsverk det största av kommunens två avloppsreningsverk.

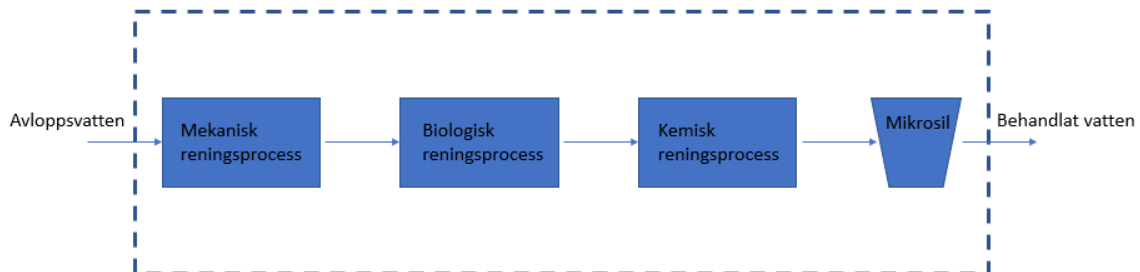
Hjos avloppsreningsverk har tillstånd för 8 000 pe (personequivallenter). Den faktiska belastningen på Hjos avloppsreningsverk är i dagsläget lägre, ungefär 6 000–7 000 pe. Det mindre avloppsreningsverket, Gate avloppsreningsverk, har en belastning om 116 pe där det renade avloppsvattnet infiltreras i marken.

Pilotförsöket i denna rapport har utförts på Hjos avloppsreningsverk, som är det mest centrala avloppsreningsverket i kommunen.

Reningsstegen i Hjos avloppsreningsverk är i dagsläget mekanisk, biologisk och kemisk rening med aktivt slam samt efterpolering genom flöde över en sil. Inkommande vatten pumpas in i reningsverket, först renas externslam mekaniskt i en skruvsil och via slamförtjockare. Rejektvattnet från slamförtjockaren leds till sandfång med sandtvätt, medan avloppsvattnet fortsätter till biosteget där en av bassängerna även har bärarmaterial. Därefter följer den kemiska reningen och efterpolering genom en

mikrosil. Avloppsvattnet silas genom mikrosilen så länge belastningen är inom gränserna för vad avloppsreningsverket kan hantera.

Se Figur 2 för en schematisk bild.



Figur 2 Övergripande schematisk bild på nuvarande anläggning vid Hjo avloppsreningsverk.

Det finns även en bräddledning i Hjos avloppsreningsverk för delvis behandlat vatten som mynnar ut i utloppsledningen till Vättern. Avloppsledningsnätet är ett helt separerat system. Brädd och nödutlopp finns vid lågpunkter där pumpstationerna är belägna.

1.4 Ansökan om bidrag

Mot denna bakgrund ansökte Hjo kommun om bidrag från Naturvårdsverket under våren 2021 för att undersöka och utvärdera möjligheten att rena vattnet som släpps ut i Vättern från läkemedelsrester och hormonstörande ämnen. Reningstekniken är ozonbaserad, med sand- och kolfilter. Tekniken är beprövad i tidigare anslag från Naturvårdsverket, men kommer utredas i förhållande till förutsättningarna som finns i Hjo kommun.

1.5 Syfte

1. Göra en nulägesanalys av Vättern och läkemedelshalter i avloppsvattnet som passerar Hjos reningsverk.
2. Nå minst 85 % reduktion av de läkemedelsrester som reningsverket idag släpper ut, vid ett flöde omkring 10 m³/h.
3. Utvärdera kolets förbrukning och projicera vad det skulle innebära i en fullskalig anläggning.
4. Undersöka om sandfiltret behövs i en fullskalig anläggning.

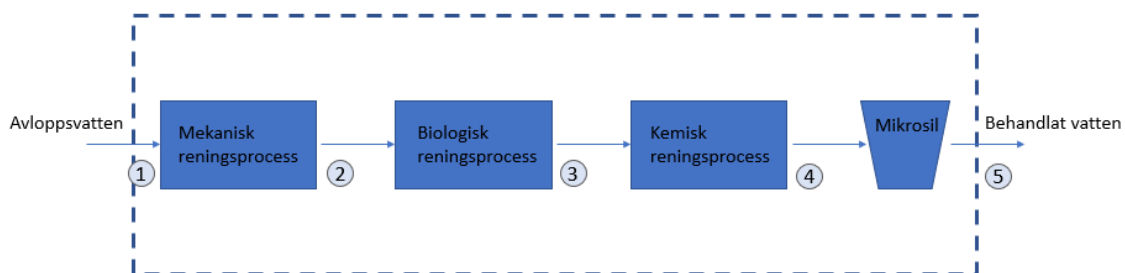
2 Förstudie

En förstudie utfördes i början av projektet för att kartlägga aktuella läkemedelshalter samt TOC, COD och DOC. Detta gjordes genom provtagning i olika punkter i det aktuella reningsverket, som genomfördes i september 2021. Syftet var att skapa en grund att utgå ifrån vid planering av pilotstudien och att få en inblick i om den föreslagna reningsutrustningen från Mellifiq är ett bra val för pilotstudien.

2.1 Provtagningspunkter

Nedan presenteras en schematisk bild (Figur 3) över nuvarande anläggning vid Hjo avloppsreningsverk. Vattenprover togs på följande platser:

1. Inflöde till avloppsreningsverket
2. Efter sandfång
3. Efter biosteg
4. Innan mikrosil
5. Utflöde från avloppsreningsverket
6. Recipient



Figur 3 Övergripande schematisk bild Hjo avloppsreningsverk med förstudiens provtagningspunkter.

2.2 Uppehållstider och provtagningschema

För att undersöka reningsverkets naturliga avskiljningsförmåga av läkemedelsrester har flertalet provtagningar genomförts, där tider för provtagning anpassats till faktiska uppehållstider för reningsverkets reningsprocesser.

Tabell 1 Förstudiens provtagningschema vid Hjo reningsverk.

# Prov	Provtagningsplats	Tidpunkt	Datum
1	Inflöde	07:00	19-Aug
2	Efter sandfång	07:30	19-Aug
3	Efter biosteg	18:03	19-Aug
4	Innan sil	00:00	19-Aug
5	Utflöde	00:05	20-Aug
6	Recipient	18:30	19-Aug

2.3 Metod för provtagning

Vattenprover om 200 ml togs för analys av DOC, COD och TOC. Vidare togs 40 ml i provrör för analys av specifika läkemedel. Vattnet togs vid provtagningsplatser som presenteras i avsnitt 2.1 med hjälp av provtagare samt handpump vid biosteg/sil. Se Figur 4 samt Figur 5 nedan.



Figur 4 Provtagare



Figur 5 Handpump vid provtagning.

2.3.1 Analys av vattenprover

Läkemedelsproverna skickades till extern part för analys. Analysen gjordes med avseende på 99 aktiva läkemedelssubstanser. Se *Bilaga 1 - Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser* för samtliga läkemedel som mäts och dess detektionsgränser. Övriga prover (COD, TOC, DOC) skickades för analys av Eurofins AB. Se Figur 6 för bild på provtagningskärl som användes vid analyserna.



Figur 6 Provtagningskärl vid recipient Vättern.

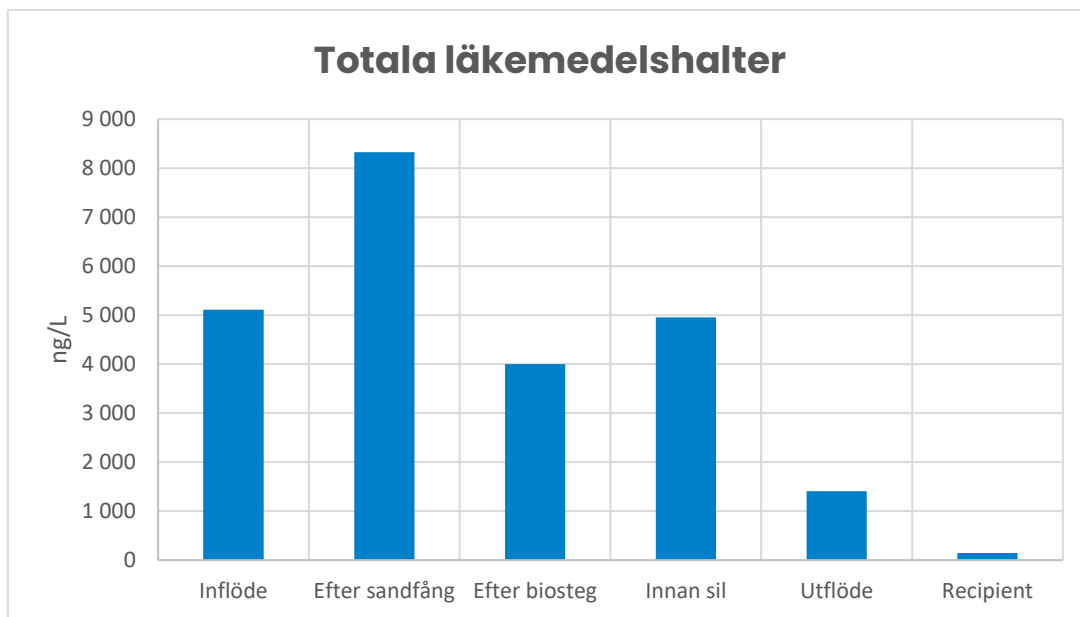
2.4 Resultat och diskussion - Förstudie

I detta avsnitt presenteras resultat från kartläggningen och resonemang kring resultaten. Observera att resultaten visar en ögonblicksbild på analyserbara läkemedel och att mängden och typerna av läkemedel kan variera.

2.4.1 Totala läkemedelshalter

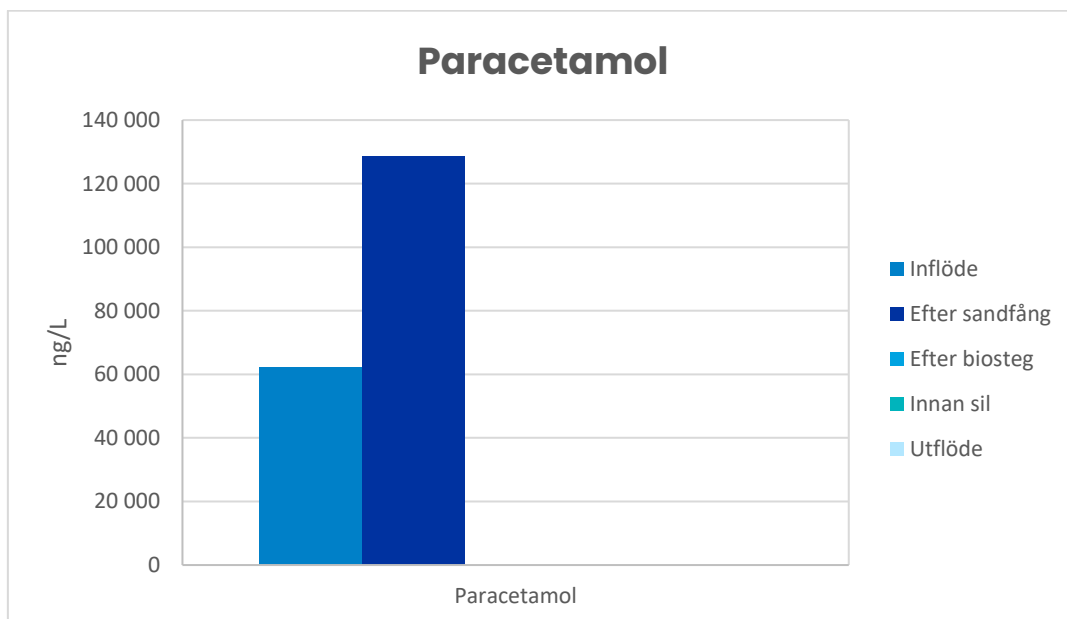
Vid kartläggningstillfället identifierades 35 av de 99 analyserbara läkemedelstyperna i reningsverket. Vidare kvarstår 18 av dessa vid reningsverkets utlopp. Den totala halten vid inflödet var 67 189 ng/L och ca 1 405 ng/L vid utflöde. Paracetamol stod för 62 078 ng/L av den totala läkemedelshalten vid inflöde, och därav presenteras i ett separat diagram nedan. Halten vid utlopp innebär att ungefär 1,6 kg detekterbara läkemedel årligen lämnar Hjo reningsverk obehandlat vid ett flöde på ca 130 m³/h.

Läkemedelshalten i recipient var 148 ng/L och där identifierades 3 läkemedelstyper. 12 av de 35 identifierade läkemedelstyperna påvisades först efter sandfång, anledningen till detta kan vara att de vid inflödet var bundna till större partiklar innan sandfånget.



Figur 7 Total mängd läkemedel vid de olika reningsstegen.

Figur 7 ovan visar totala mängden läkemedel vid de olika reningsstegen. Mängden Paracetamol vid inlopp presenteras i ett eget diagram nedan (Figur 8).

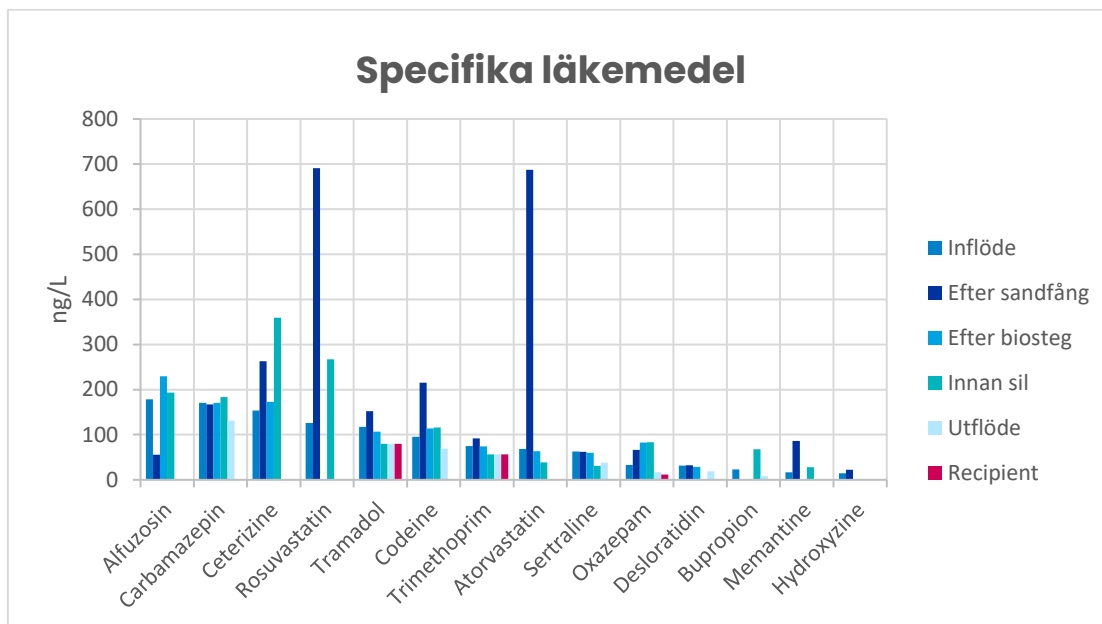


Figur 8 Paracetamol vid de olika reningsstegen. 0-värden innebär mindre än 20 mg/L, vilket är detektionsgränsen för analysen. I detta fall mätvärden efter biosteg, innan sil samt vid utflöde.

2.4.2 Specifika läkemedel

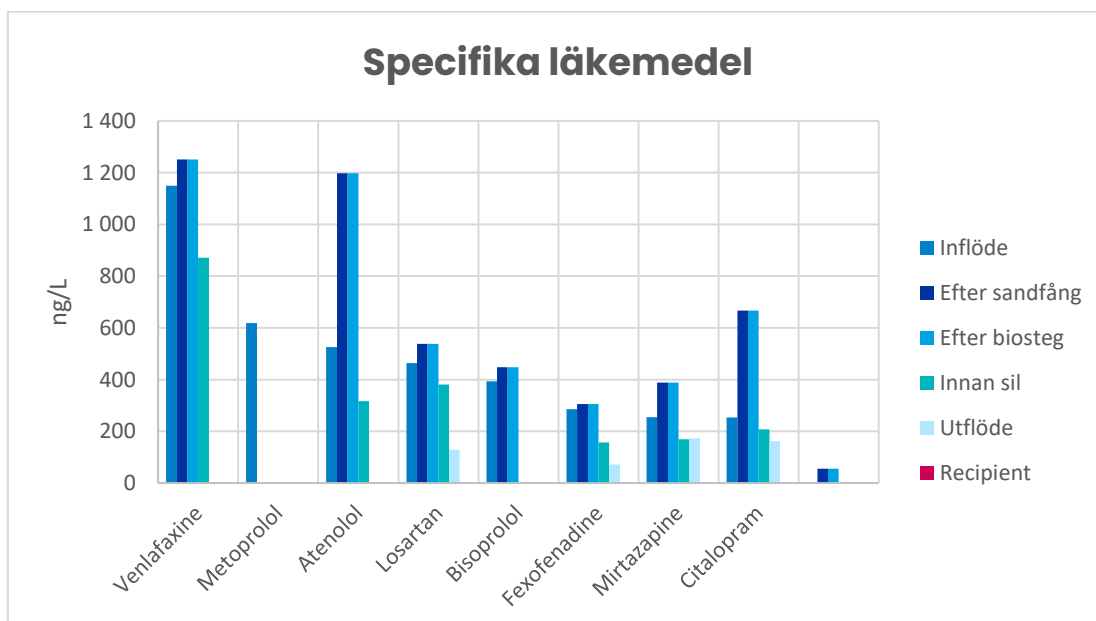
I Figur 9 - Figur 11 presenteras resultat från mätningar av specifika läkemedelssubstanser genom reningsverkets olika reningssteg. Vid inloppet var totala mängden läkemedel 67 189 ng/L, och efter sandfång 136 863 ng/L. Av denna halt stod läkemedelssubstansen Paracetamol för 62 077 ng/L respektive 128 541 ng/L.

Läkemedelssubstanser med högst halt efter Paracetamol var antidepressiva läkemedlet Venlafaxine 1 149 ng/L, blodtryckssänkande substanserna Metoprolol 618 ng/L och Atenolol 525 ng/L. Samtliga av dessa uppmättes under detektionsgränsen efter reningsstegen.



Figur 9 Läkemedelstyper vid reningsverkets olika reningssteg med halt vid inflöde på 10 - 180 ng/L.

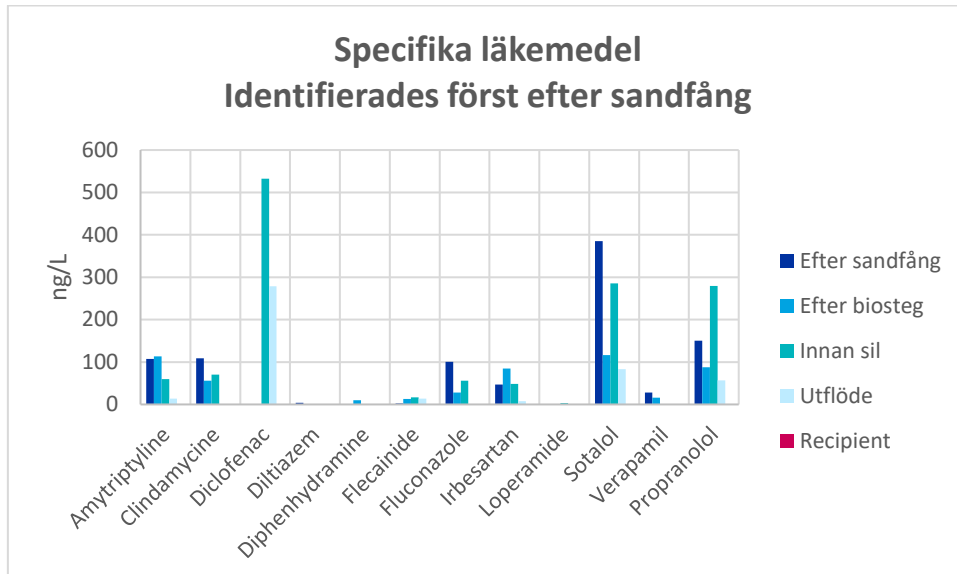
I recipienten uppmättes totalt 3 av de analyserade läkemedelstyperna: Tramadol, 80 ng/L, Trimetoprim 56 ng/L samt Oxazepam 11 ng/L (Figur 9).



Figur 10 Läkemedelstyper vid reningsverkets olika reningssteg med halt vid inflöde på 250 - 1 200 ng/L.

18 av de 35 identifierade läkemedelssubstanserna kvarstod vid utflödet med en total halt på 1 405 ng/L. Av denna mängd stod den smärtstillande läkemedelssubstansen

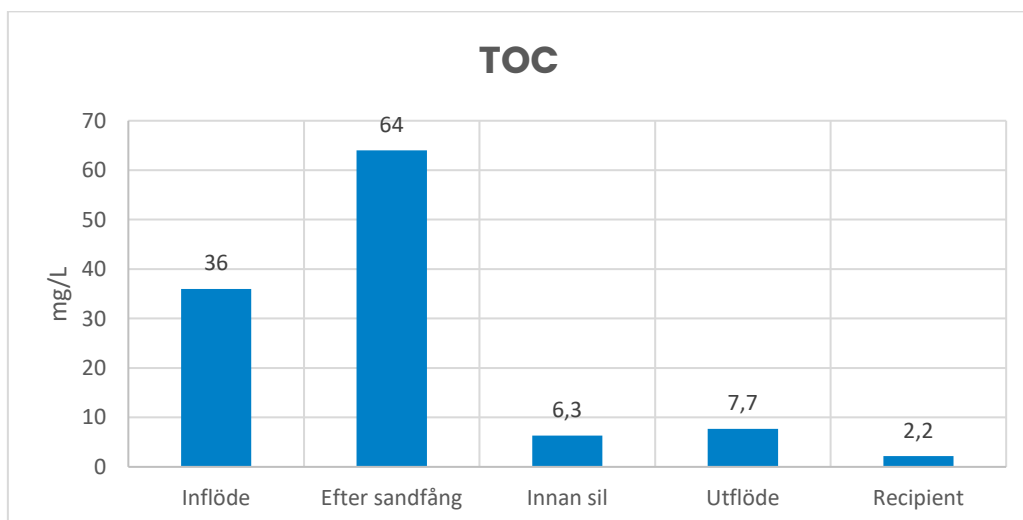
Dicofenac för högst halt, 279 ng/L. Två andra läkemedelstyper med hög halt vid utflödet var antidepressiva substanserna Mirtazapin, 173 ng/L och Citalopram, 162 ng/L.



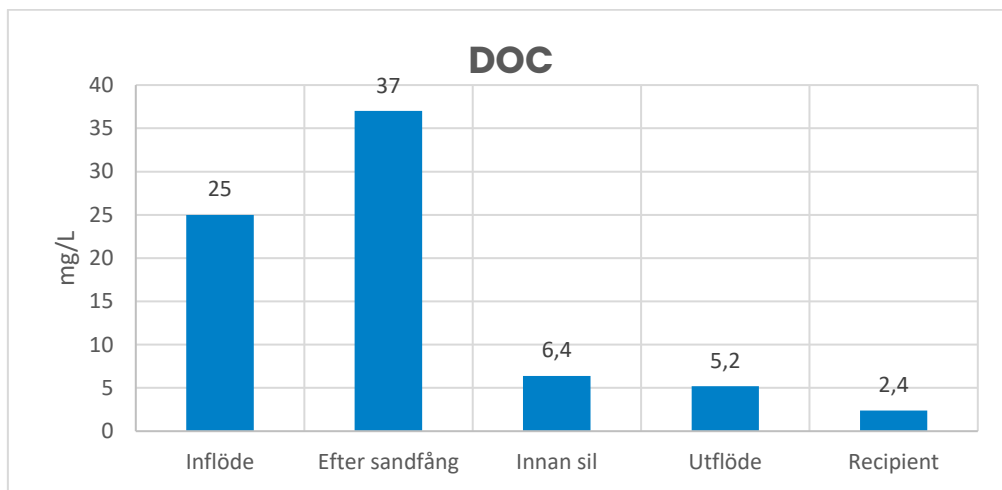
Figur 11 Specifika läkemedelstyper som identifierades efter sandfång.

2.4.3 Övriga mätparametrar

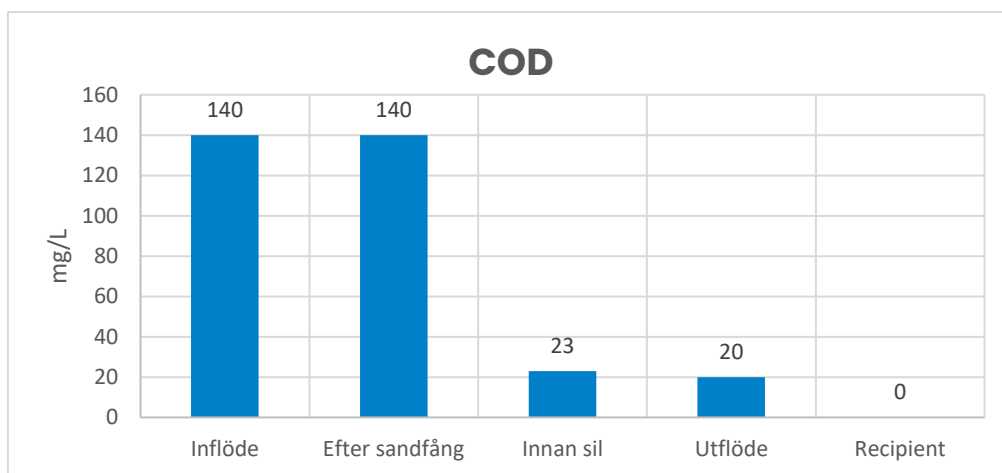
I Figur 12 - Figur 14 presenteras halter av TOC, DOC och COD vid de olika reningsstegen i Hjo avloppsreningsverk. Provtagningsplatsen "Efter biosteg" presenteras inte på grund av att laboratoriet informerat om mätfel.



Figur 12 TOC-halter vid de olika reningsstegen.



Figur 13 DOC-halter vid de olika reningsstegen.



Figur 14 COD-halter vid de olika reningsstegen.

2.5 Rekommendation för pilotstudie

Baserat på resultaten beräknas Hjo reningsverk släppa ut minst 1,6 kg läkemedelsrester årligen baserat på analysomfattningen motsvarande 99 läkemedel. Kompletterande data erhöles under rening av avloppsvattnet, se kapitel Pilotstudie.

Eftersom kartläggningen visade att stor mängd läkemedel inkommer till reningsverket och att läkemedel också kvarstår efter samtliga reningssteg kan det konstateras att Mellifiqs lösning är erforderlig för att reducera dessa ytterligare, med målet om 85% reduktion. Som tidigare nämnt ger resultaten i denna förstudie en bild av läkemedelsnivåer i reningsverket vid ett specifikt tillfälle, och nivåerna kan fluktuera gravt beroende på de förhållanden vid tidpunkten som proverna tas. Efterföljande pilotprojekt kommer ge information om till vilken grad Mellifiqs system med sandfilter, ozonering och GAK-filter kan reducera mängden läkemedel som idag når recipienten. Pilotstudie

För att utreda möjligheten till reduktion av läkemedel i avloppsvattnet som släppts ut från Hjos avloppsreningsverk gjordes en pilotstudie med en reningsanläggning som installerades vid Hjos reningsverk i mars 2022. Efter installationen sattes anläggningen i drift för att utvärderas med provtagningar fram till sommaren. Proven analyserades sedan för att få datapunkter och värden, vilka användes till utvärderingen av projektet för att nå en slutsats och rekommendation för en framtida fullskalig reningsanläggning.

3 Pilotstudie

3.1 Pilotanläggning



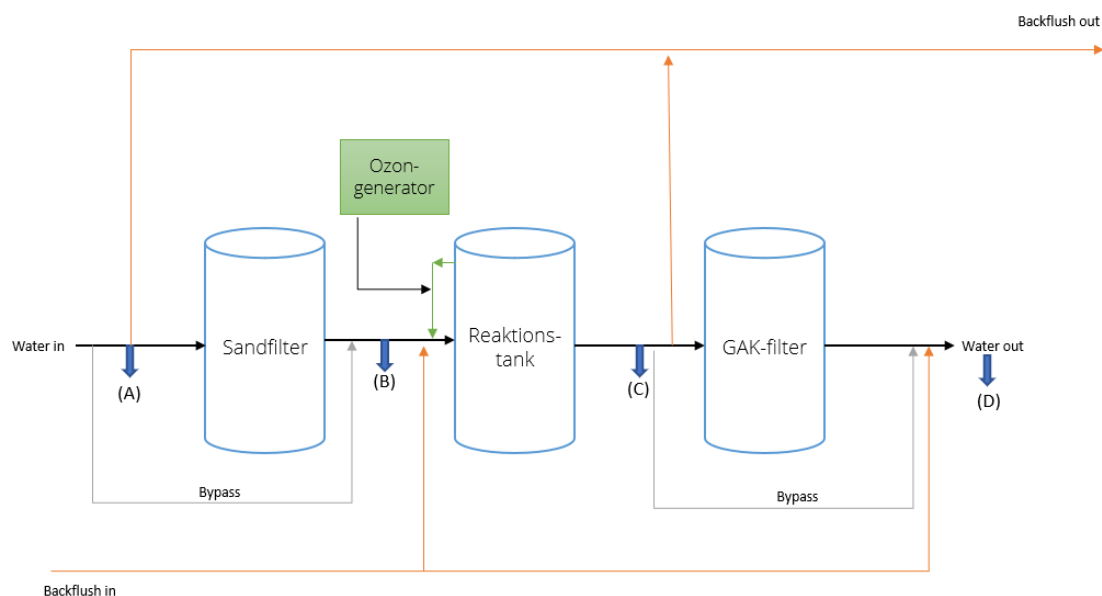
Figur 15 Containerbaserat reningssystem framtaget av Mellifiq.

Hjo kommun har genomfört projektet tillsammans med en dedikerad partner, Mellifiq. Systemet för läkemedelsrening bestod av ozonrening och aktivt kol som huvudsakliga reningmetoder, samt ett sandfilter för att filtrera partiklar innan ozonreningen. Systemet är containerbaserat för att möjliggöra tillfällig positionering utan att behöva göra tillbyggnad av reningsverket. I korthet består reningsanläggningen av följande huvudsteg:

- 1) Pumpning av renat vatten efter slutsedimentering till Mellifiq's sandfilter av typen Watermaid FlexKarb™-S
- 2) Pumpning vidare till ozoneringsystem bestående av ett skräddarsytt ozonsystem av typen Ozonotech RENA Tellus
- 3) Slutsteg bestående av Mellifiqs slutpolering med Watermaid FlexKarb™-C
- 4) Automation med avseende på ozonsystem och filtersystem



Figur 16 Bild på insidan av det containerbaserade reningssystemet.



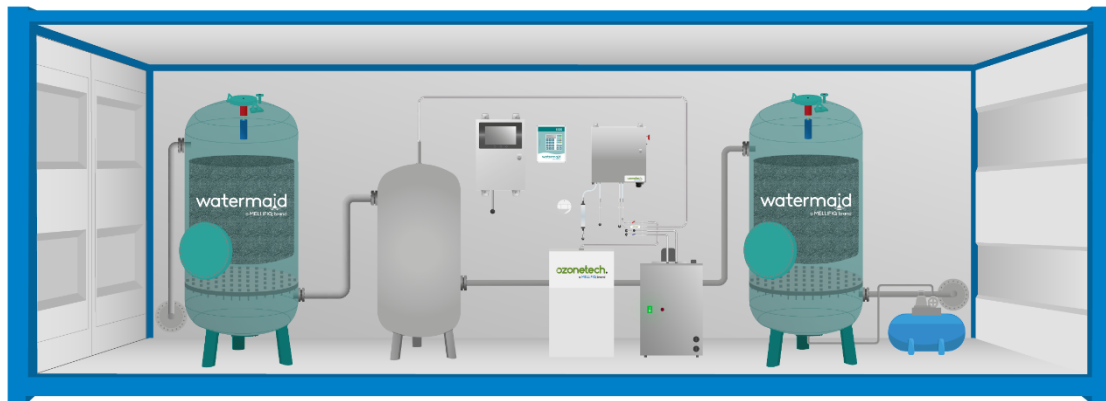
Figur 17 Schematisk bild över reningsanläggning för läkemedelsrester vid Hjo avloppsreningsverk med provtagningspunkter (A)-(D). Orange linje visar ledning för backspolning, grå för bypass, och svart för normal drift.

Systemet är designat med backspolningsfunktion (se orangea pilar i Figur 17) för regenerering av sandfilter och GAK. Notera att backspolning ej avlägsnar adsorberade partiklar i GAK. Bypass-ledningar (gråa pilar i Figur 17) möjliggör kontinuerligt flöde genom systemet även under backspolningstillfället. Provtagningspunkter finns vid inlopp (A), efter sandfiltrering (B), efter ozonering (C) samt efter GAK-filtrering, vilket också är utlopp från systemet (D).

I de följande tre avsnitten presenteras reningsslagmetoderna kortfattat och hur de i synergi kan bidra till eliminering av läkemedelsrester vid reningsverk.

3.1.1 Sandfilter – Watermaid FlexKarb™-S

Ett sandfilter skyddar efterföljande reningssteg från oönskade partiklar som dels påverkar oxidationsprocessen, dels ökar sannolikheten för igensättning av kolfilter. Vid eventuella driftproblem och underhåll i reningsverkets mekaniska rening och utfällningssteg kan driftstopp i läkemedelssystemet undvikas.



Figur 18 Illustration över container med filtertankar och ozonsystem.

3.1.2 Ozonering – Ozonetech RENA Tellus

Ozon har länge använts för att rena vatten genom oxidation. Tidigare studier och projekt utförda av Mellifiq har visat att ozon effektivt oxiderar organiska substanser med reningsgrad på minst 80 %. Systemet består av ett helautomatiskt högprestanda ozonsystem med syrgasmatade ozongeneratorer, säkerhetsfunktioner, inlösningsmekanism, och integrerat kylsystem.



Figur 19 Utrustning för ozonbehandling i pilotanläggningen.

3.1.3 GAK-filter - Watermaid FlexKarb™-C

Filter med granulerat aktivt kol används frekvent vid vattenbehandling främst för adsorption av icke polära föroreningar. Filterbädden behöver bytas med jämna mellanrum och för att utöka dess livstid bör vattnet innan filtren vara så rent som möjligt. Detta kan uppnås med förfiltreringssteg samt med ozonering som föregående steg (Naturvårdsverket, 2017).

Studier har visat att läkemedel som kvarstår även efter ozonering kan adsorberas i ett GAK-filter (Cornel, Knopp, Prasse, & Ternes, 2016). Detta styrker kombinationen med ozonering och GAK-filter för att säkerställa en hög reningsgrad och effektivitet, samt för att adsorbera eventuella transformationsprodukter. Som ett poleringssteg används därför Mellifiqs Watermaid FlexKarb™ efter ozoneringssteget.

3.2 Metod



Figur 20. Pilotanläggningen installerad på plats vid Hjos avloppsreningsverk.

Pilotsystemet utvärderades under våren 2022 genom provtagning och vattenanalyser. I detta avsnitt är tillvägagångssättet beskrivet, dvs de planerade och genomförda provtagningarna samt under vilka förutsättningar det har gjorts.

Först och främst genomfördes systemprov för att utvärdera den totala reningsgraden. Systemprov utgörs av prover vid olika processinställningar för att få en översikt av reningseffekten i det utvalda spannet. Med dessa försök kan driften optimeras genom att jämföra olika inställningar. För att utvärdera dessa resultat gjordes en statistisk analys av parametrarnas signifikans för att utvärdera erhållna resultat. En optimerad

lösning möjliggör i sin tur en mer kostnadseffektiv lösning både med avseende på investeringskostnader såväl som driftskostnader.

Prover togs även innan och efter sandfiltret (punkt A och B, Figur 17).

För att utvärdera GAK-filtret (punkt C och D, Figur 17) gjordes en utvärdering under en längre period på 11 veckor för att undersöka förbrukning av kolet och kunna estimeras hur ofta filtermaterialet i en fullskalig läkemedelsanläggning behöver bytas.

3.2.1 Systemprov

Den första provtagningen som genomfördes omfattade 3 systemprov med olika driftinställningar enligt Tabell 2 nedan.

Tabell 2 Driftinställningar vid systemprov

# Systemprov	Tryck ozontank [bar]	Flöde [m ³ /h]	Uppehållstid sand [min]	Uppehållstid ozon [min]	Uppehållstid GAK [min]
Systemprov 1	0,5 samt 1,5	2	21	9	21
Systemprov 2	1	3	14	6	14
Systemprov 3	0,5 samt 1,5	4	10,5	4,5	10,5

Utöver inställningarna ovan varierades trycket ytterligare i provtagningsspunkt C, för att kunna utvärdera trycket i ozontanken som en parameter för ozonbehandlings reningsgrad. För att säkerställa tillförlitligheten i dessa provtagningar gjordes tre prov med identiska driftinställningar, se prov 6-8 i tabell 3.

Tabell 3 Sammanställning över provtagningar för systemproven.

# Prov	Plats	Tryck i reaktionstank	Flöde	Uppehållstid*
1 (Blandprov)	A	0,5-1,5 bar	2-10 m ³ /h	**
2 (Blandprov)	B	0,5-1,5 bar	2-10 m ³ /h	21-4 min
3	C	0,5 bar	2 m ³ /h	9 min
4	C	1,5 bar	2 m ³ /h	9 min
5	D	1,5 bar	2 m ³ /h	21 min
6	C	1 bar	3 m ³ /h	6 min
7	C	1 bar	3 m ³ /h	6 min
8	C	1 bar	3 m ³ /h	6 min
9	D	1 bar	3 m ³ /h	14 min
10	C	0,5 bar	4 m ³ /h	10 min 30 s
11	C	1,5 bar	4 m ³ /h	10 min 30 s
12	D	1,5 bar	4 m ³ /h	4 min 30 s
13	C	0,5 bar	10 m ³ /h	1 min 48 s
14	D	0,5 bar	10 m ³ /h	4 min 12 s

* Uppehållstid är specificerad för processkomponent, dvs. för provtagning i punkt C (efter ozoneringssteg) är uppehållstiden specificerad för reaktionstank. För provpunkt D är det uppehållstid i GAK-filtret.

**Prov vid inflöde till pilotanläggningen.

Precis som i förstudien togs vattenprover om 200ml för analys av DOC, TOC och COD, och 40ml provrör fylldes för läkemedelsanalyserna vid provpunkterna C och D.

Samtliga prov skickades på analys för läkemedel, TOC samt DOC. Dessutom skickades prov från ozoneringssteget (provpunkt C) på COD analys.

3.2.2 Utvärdering av sandfilter

Provtagningen för att utvärdera sandfiltret genomfördes i samband med systemproven. För de olika driftinställningarna gjordes två blandprov, för att få ett genomsnittligt resultat.

Blandprov 1 gjordes i provtagningspunkt A, och blandprov 2 gjordes i provtagningspunkt B. Proven skickades till analys för läkemedel, TOC och DOC. Skillnaden i dessa två punkterna visar sandfiltrets reningsgrad.

Tabell 4 Sammanställning av driftinställningarna för blandprov 1 och 2.

Flöde	Uppehållstid (A-B)
2m ³ /h	21 min
3m ³ /h	14 min
4m ³ /h	10 min 30 s
10m ³ /h	4 min 12 s

Tillvägagångssättet för att ta dessa blandprover var följande:

För första driftinställningen fylldes 1/4 av provbägare 1 med vatten från provtagningspunkt A. Efter uppehållstiden på 21 minuter fylldes provbägare 2 till 1/4 med vatten från provtagningspunkt B. På samma sätt fylldes provbägarna till 2/4 för driftinställning 2 och uppehållstiden som är specificerad i Tabell 4, sedan för driftinställning 3 och så vidare.

3.2.3 Utvärdering av GAK-filter samt ozonreningsgrad över tid

För att utvärdera GAK-filtret och ozonsystemet över en längre tidsperiod genomfördes 6 provtagningar med två veckors mellanrum. 4 av dessa som ordinarie och 2 extra provtagningar för att säkerställa ett pålitligt resultat genom att frysa in dessa och vid behov skicka på analys vid senare tillfälle. Provtagningarna gjordes efter sandfilter, samt före och efter kolfiltret dvs. i punkt B, C och D (Figur 17).

Denna utvärdering genomfördes vid ett förhöjt flöde för att möjliggöra en snabbare utvärdering av kolfiltrets mättnadsgrad. Utvärderingen påbörjades i samband med systemprovtagningen. Provplanen för denna utvärdering beskrivs i Tabell 5.

Tabell 5 Provtagningschema GAK.

Provtagning	Årsvecka	Antal bäddvolym* (ca)
#1	12	500
#2	15	8 000
#2X	16	11 000
#3	18	17 000
#4	20	23 000
#4X	22	29 000

*Estimerat antal passerade bäddvolym provplanen. Specifikt antal anges tillsammans med resultat. Viss mätosäkerhet kvarstår ev. beroende på eventuella fluktuationer i flödet under utvärderingsperioden.

3.2.4 Analys av vattenprover

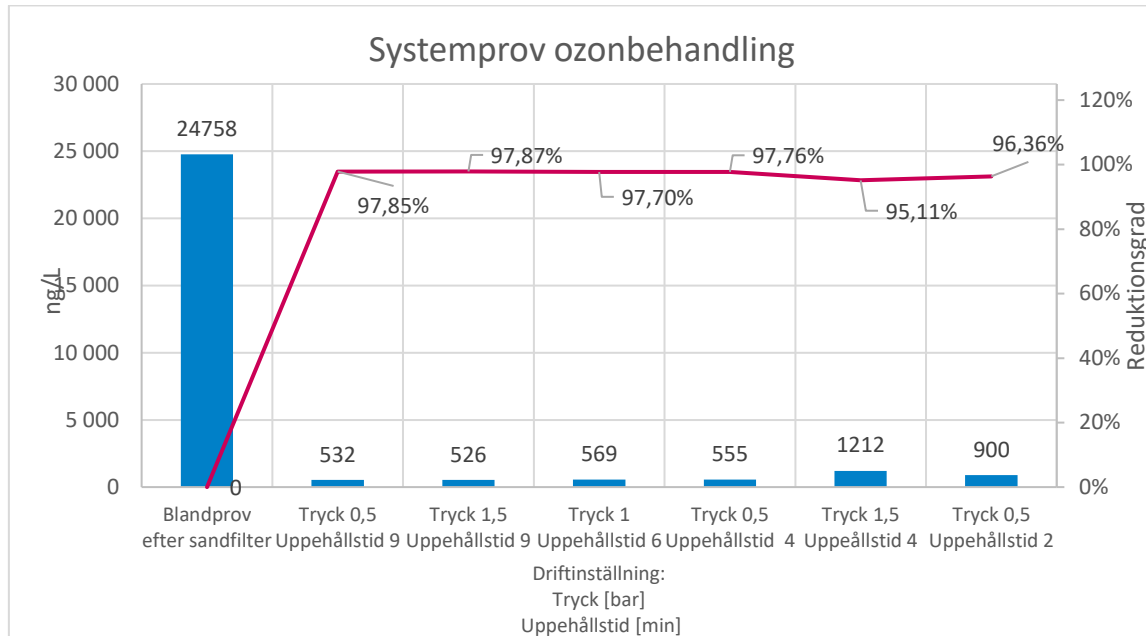
Läkemedelsanalysen på proverna har utförts av tredjepart med avseende på 99 stycken aktiva läkemedelssubstanser. Alla läkemedel som denna analys omfattar presenteras i bilaga 1. TOC, DOC och COD har analyserats av ett annat tredjepartslaboratorium, med minsta detektionsgräns enl. Tabell 6.

Tabell 6 Minsta detektionsgräns för TOC, DOC och COD.

Analys	LOQ (mg/l)
TOC	2
DOC	2
COD	20

3.3 Resultat och diskussion - Pilotstudie

3.3.1 Systemprov



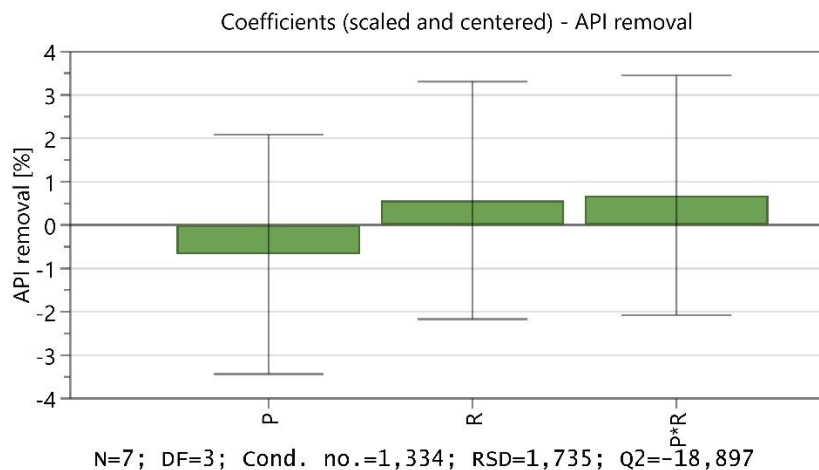
Figur 21 Resultat systemprov, ozonbehandlingens reduktion av totala läkemedel.

I Figur 21 ovan presenteras resultat från systemproven. Det första värdet är resultatet av blandprov 2 vilket omfattar mängden totala läkemedel (ng/L) efter pilotsystemets sandfiltersteg. Resterande staplar är summan av läkemedel som kvarstår efter ozonbehandlingens med de olika driftinställningarna.

De olika driftinställningarna resulterade i en reduktion av läkemedelssubstanserna på mellan 95 % - 98 %. Den marginellt högsta reduktionen är vid ett tryck på 1,5 bar och uppehållstiden 9 minuter. Däremot är det inte möjligt att fastställa ett samband mellan hur mycket de olika inställningarna av tryck och uppehållstid påverkar reningsgraden, eftersom det inte finns en statistiskt påvisbar signifikant skillnad mellan resultaten (se Figur 22 nedan). Detta resultat visar att utvärderingen av GAK-filtret kunde genomföras vid ett högre flöde utan att påverka reningsgraden i ozoneringssteget i större utsträckning.

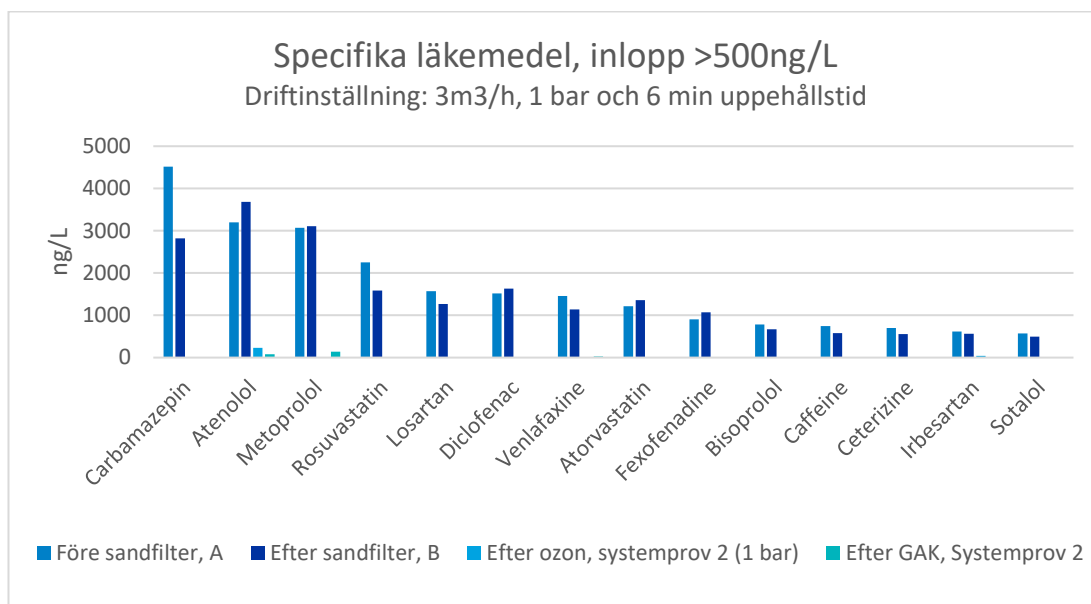
I jämförelse med läkemedelshalten ut från Hjo reningsverk under förstudien var den totala läkemedelshalten avsevärt högre (ca 1600 %) under pilotstudien genomförande. Att reningsanläggningen trots det reducerade läkemedelshalterna med upp mot 98% visar på en robust process med hög reningseffekt med ozonering även vid ökad belastning. Detta resultat indikerar även goda möjligheter att ta fram en mer optimerad anläggning vid dimensionering i full skala.

Att varken uppehållstid eller tryck var signifikant för reningsgraden fastställdes via en statistisk analys av parametrarnas enligt Figur 22.



Figur 22 Signifikans av parametrar, tryck och uppehållstid.

Figur 22 visar resultaten av koefficienterna av uppehållstid och hydrauliskt tryck samt samverkans effekt. Ingen av dessa variabler kunde förklara på ett statistiskt signifikant vis variansen i resultaten. Detta innebär att inom försöksintervallet spelar inte tryck och uppehållstid en signifikant roll. Det innebär även att det med fördel kan väljas ett lågt tryck och kort uppehållstid för den kontinuerliga driften för att minska investerings- och driftkostnaderna.

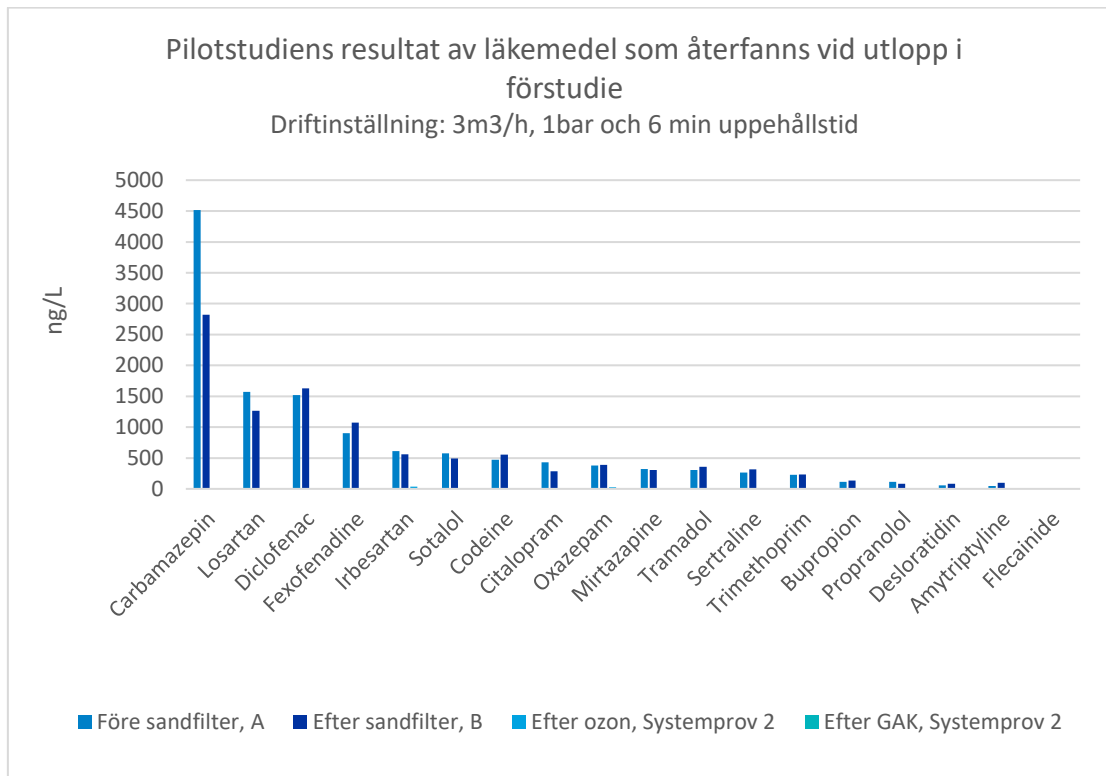


Figur 23 Resultat för specifika läkemedel vid en driftinställning.

I Figur 23 illustreras reningsgraden av de läkemedel som vid inlopp till sandfilter (prov 1) överstiger 500ng/L.

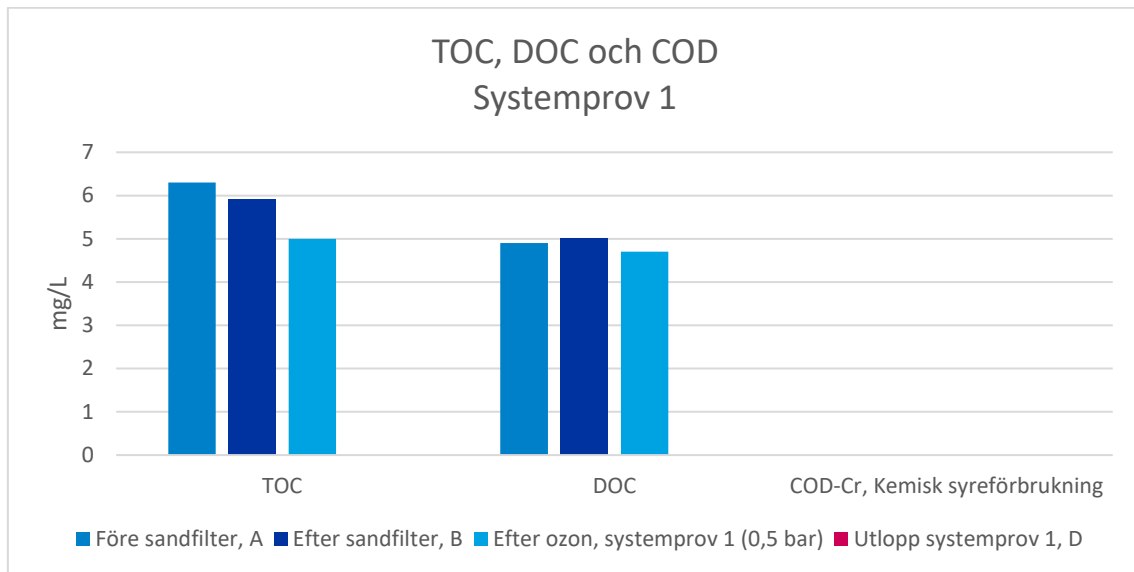
De tre läkemedel med högst halt vid inloppet av pilotanläggningen var Carbamazepin, Atenolol och Metoprolol. De stod för totalt 10 784 ng/L, ca 40 % av totala mängden läkemedel i proven. Om detta jämförs med förstudien så kan det noteras att Atenolol

och Metoprolol inte fanns i detekterbara mängder vid utloppet i förstudien. Relativt stora halter av de tre substanserna återfanns dock på andra platser i reningsverket. En anledning till detta kan vara att provtagningarna gjordes vid olika tidpunkter och årstider och pga. koncentrationsvariation med avseende på enstaka substanser.

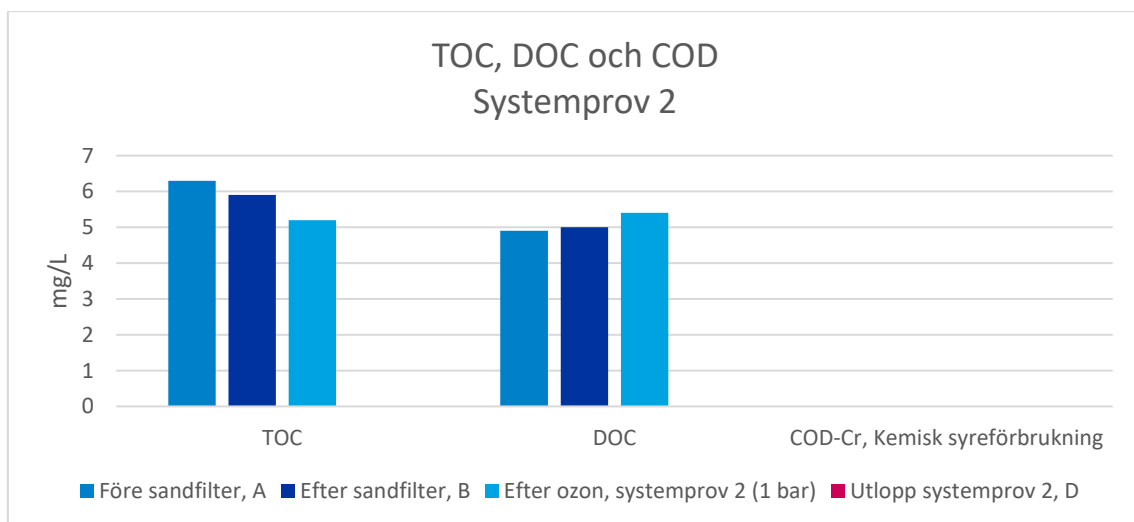


Figur 24 Analysresultat av specifika läkemedel, de som återfanns vid reningsverkets utlopp i förstudien.

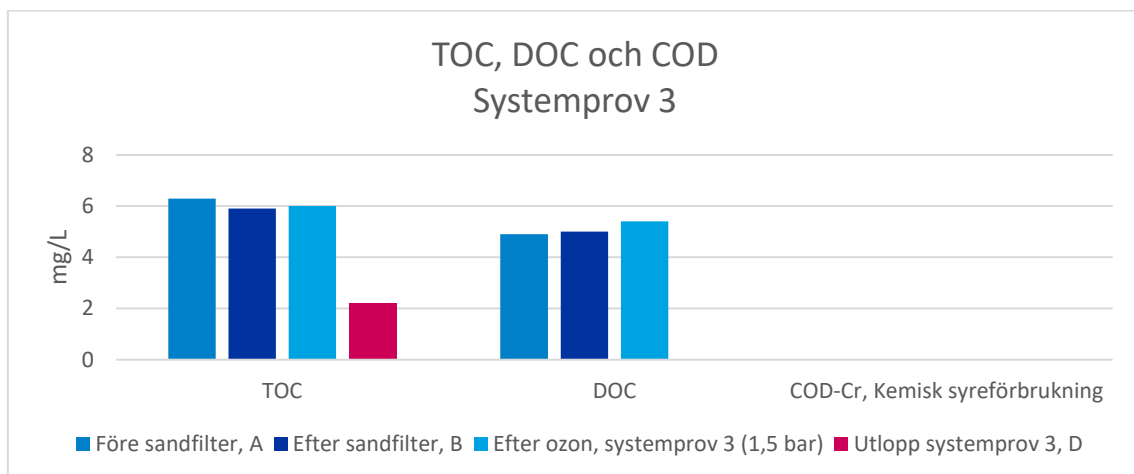
Granskar vi de pilotstudiens resultat av läkemedel som återfanns vid utlopp i förstudie (Figur 24) har alla reducerats till under detektionsgräns vid systemprov 2 utom enstaka substanser som reducerats till nära detektionsgränsen. Detta överträffar det uppsatta målet att uppnå 85 % reduktion.



Figur 25 Sammanställning av resultaten av TOC, DOC och COD analyserna av systemprov 1.



Figur 26 Sammanställning av resultaten av TOC, DOC och COD analyserna av systemprov 2.

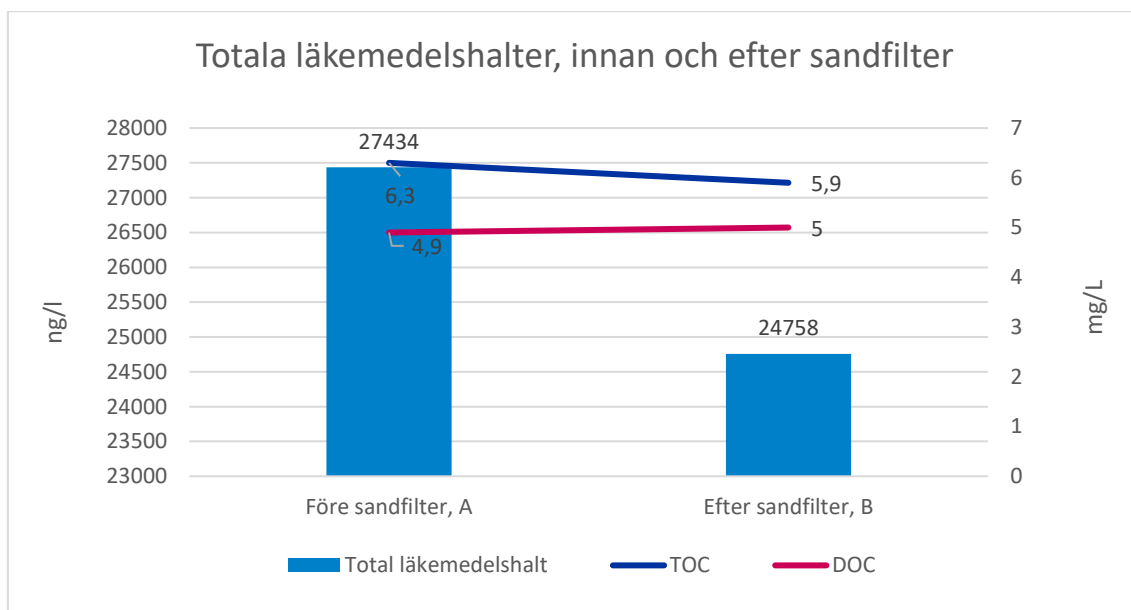


Figur 27 Sammanställning av resultaten av TOC, DOC och COD analyserna av systemprov 3.

I Figur 25 - 27 presenteras resultaten från TOC-, DOC- och COD-analyserna vid systemproven. Diagrammen visar på en hög reduktion av TOC och DOC över GAK-filtret. COD låg under detektionsgränserna för samtliga prov (<20mg/L).

TOC har en genomsnittlig reduktion över ozonering på cirka 5 %, vilket indikerar en måttlig belastningsreduktion avseende organiskt material på efterföljande GAK-rening. Ingen detekterbar reduktion sker med avseende på DOC (inlöst organiskt material) över sandfilter eller ozonering.

3.3.2 Utvärdering av sandfilter



Figur 28 Total läkemedelshalt, TOC och DOC före och efter sandfilter.

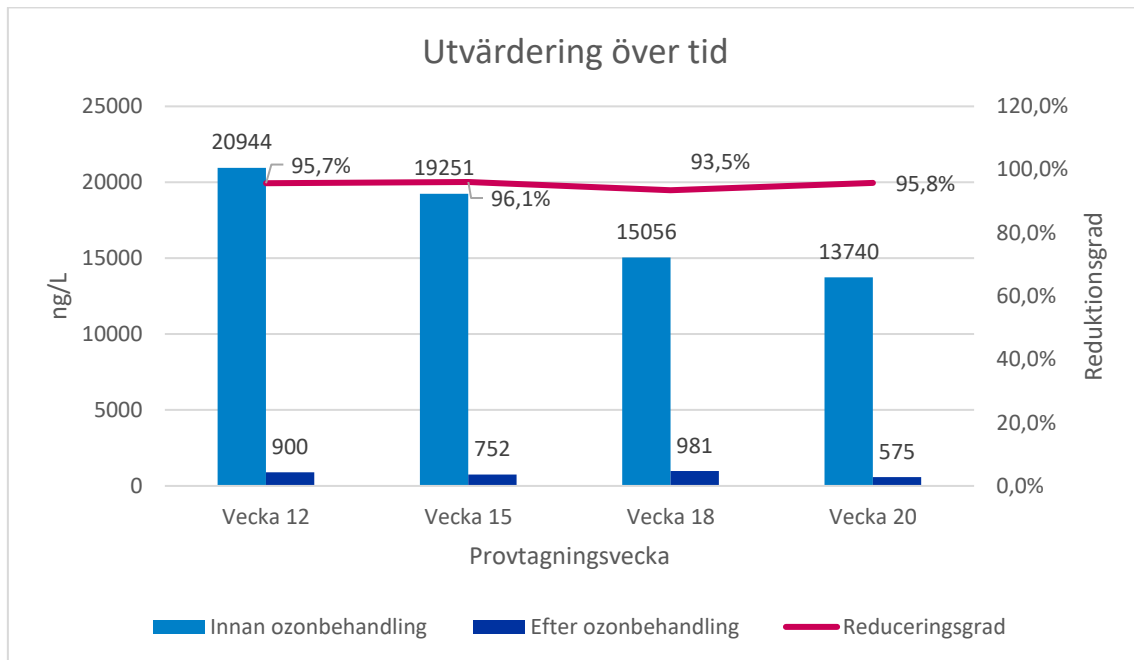
I Figur 28 visas resultatet från sandfilterutvärderingen. Sandfiltrets primära funktion i reningsprocessen är att avskilja partiklar. Att läkemedelshalter reduceras över sandfilter skulle kunna bero på att en mindre fraktion läkemedel är bundna till partiklar och övriga humusämnen.

Att använda sandfilter som ett partikelfilter är en beprövad applikation och i pilotreningsprocessen ett nödvändigt processteg då utloppsvatten från avloppsreningsverket innehåller partikelbundet material som belastar ozonsystemet och kolfiltret.

Gällande halterna av TOC och DOC går det inte att urskilja någon signifikant reduktion, då värdena ligger inom mätosäkerheten för analysen.

3.3.3 Driftsutvärdering

3.3.3.1 Utvärdering av ozonrening



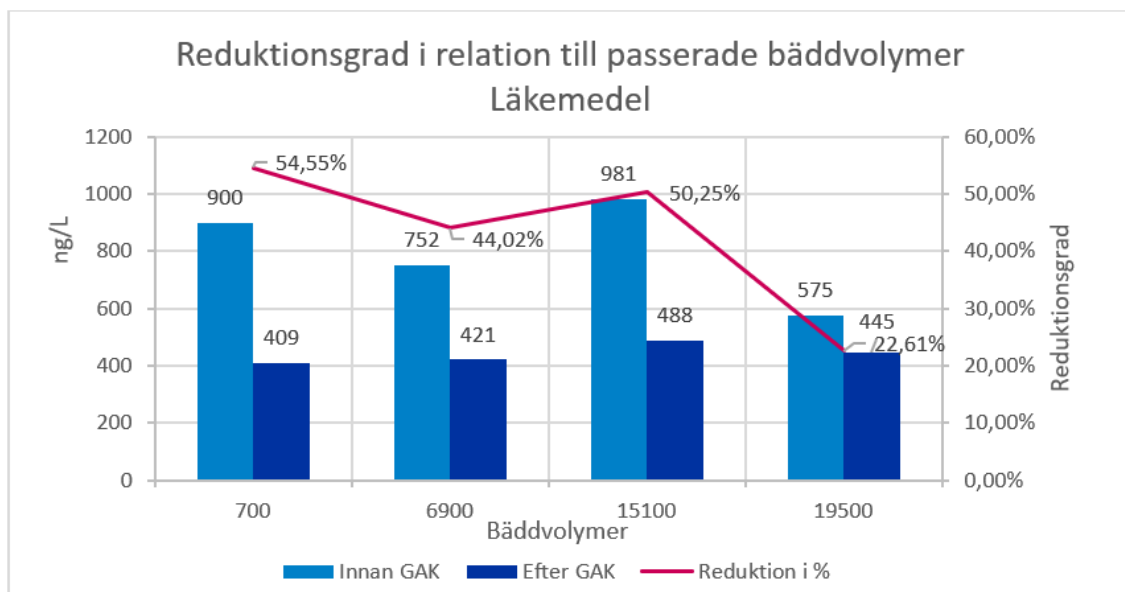
Figur 29 Utvärdering av ozonbehandlingen över tid. Provtagningsvecka är årets veckonummer.

I ovan diagram kan reningsgraden över tid observeras, med ett stabilt resultat på reduktionsgraden runt 94 % - 96 % precis som i systemproven.

3.3.3.2 Utvärdering av GAK-filter

Tabell 7 Sammanställning över antal passerade bäddvolymen vid provtagningsstidpunkt.

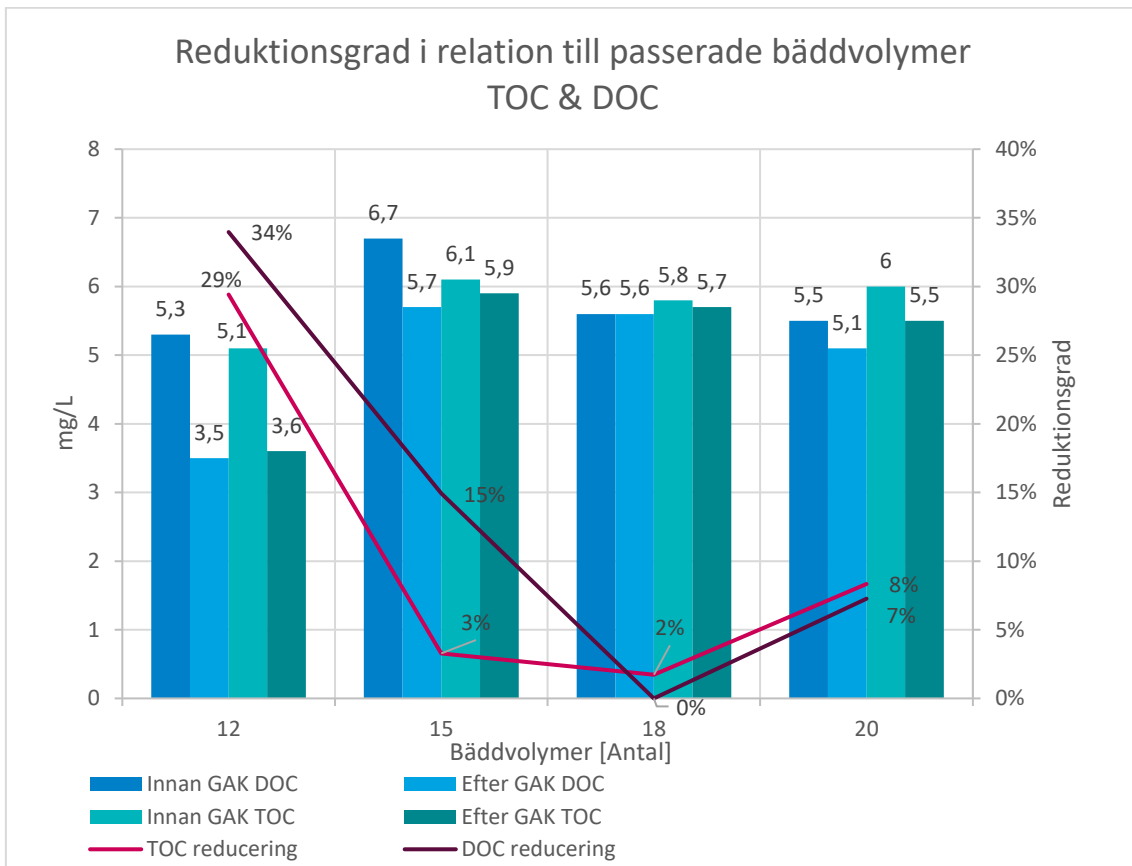
Provtagningsvecka	Antal bäddvolymen vid provtagning
12	700
15	6900
18	15100
20	19500



Figur 30 Reduktionsgrad i relation till passerade bäddvolymmer, läkemedel. Provtagningsvecka är årets veckonummer.

Figur 30 visar resultatet för utvärderingen av GAK-filtret. Stapeldiagrammen är den uppmätta läkemedelshalten vid provtagning för de specificerade bäddvolymerna, före och efter filtret. Linjegrafen är den relativa reduktionen i procent. I snitt uppnåddes en läkemedelsreduktion på ca 43 % med avseende på de uppmätta substanserna vid de fyra mätillfällena.

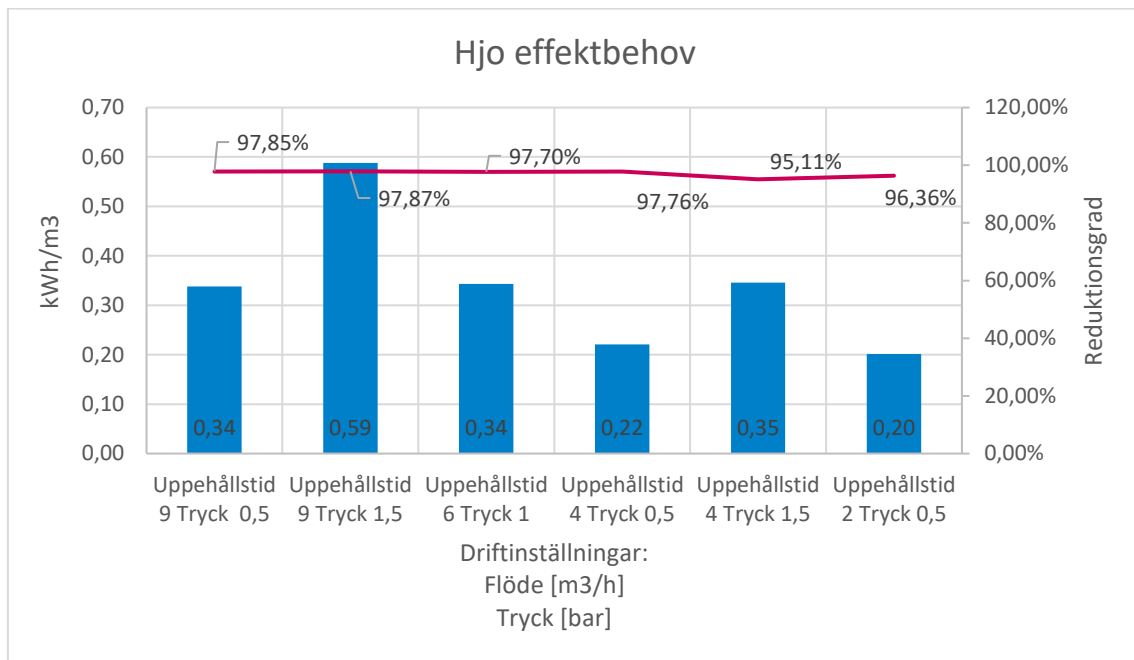
Att reduktionsgraden sjunker efter ca 15 100 bäddvolymmer kan bero på att kolet börjar bli mättat. Variationen kan bero på fluktuationer i inkommande läkemedelshalt såväl som mätosäkerheter eftersom inkommande läkemedelskoncentration till GAK-filtret efter ozonering är låg.



Figur 31 GAK-filtrets reduktionsgrad i relation till passerade bäddvolymmer, DOC och TOC.

I Figur 31 kan reduktionsgraden av DOC och TOC observeras över tid relaterat till estimerat antal bäddvolymmer under pilotprojektets utförande, med mätvärden mellan 3,5 mg/l till 6,7 mg/l Resultaten indikerar att kolet är mättat efter runt 15 000 passerade bäddvolymmer.

3.3.4 Energiförbrukning



Figur 32 Hjo effektbehov i relation till läkemedelsreduktion.

Energiförbrukningen beräknades genom att summera de ingående komponenternas effektbehov vid de olika drifttesterna. Vad som kan observeras i Figur 32 är att den optimala inställningen gällande energikonsumtion samt högst läkemedelsreduktion är vid driftinställningarna som sattes för GAK-utvärderingen, med uppehållstid på 2 minuter och tryck 0,5 bar.

3.3.5 Nyckeltal

För uträkningarna av nyckeltal har effektbehovet för följande processkomponenter inkluderats:

1. Syrgasgenerator
2. Ozongenerator
3. Cirkulationspump (del av ozonsystem)
4. Kylsystem

Matarpumpen, som krävs för att förse reningsanläggningen med avloppsvattenflödet har inte räknats in bl.a. då effektbehovet för denna del av processen är starkt beroende av förutsättningarna på plats vid en ev. uppskalad process.

Tabell 8 Nyckeltal för de olika proven.

<i>Nyckeltal</i>	Systemprov 1		Systemprov 2	Systemprov 3		Utvärdering över tid
<i>Flöde [m³/h]</i>	2	2	3	4	4	10
<i>Tryck [bar]</i>	0,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5
<i>Reningsgrad läkemedel [%]</i>	97,85	97,87	97,7	97,76	95,11	96,36
<i>Energiförbrukning [kWh/m³ behandlat vatten]</i>	0,34	0,59	0,34	0,22	0,35	0,2
<i>Energiförbrukning [kWh/mg läkemedel]</i>	0,0140	0,0243	0,0140	0,0090	0,0145	0,0084

4 Slutsats och rekommendationer

4.1 Reningsgrad

Resultatet av pilotstudien visar att läkemedelsreduktionen når höga nivåer upp till 98 %. Det överträffade målet att uppnå 85 % reduktion. Den höga reduktionen kan bero på att utgående vatten från Hjos reningsverk håller en relativt hög kvalitet vilket kan bidra till att avlasta läkemedelsreningsprocessen.

4.2 Rekommenderade reningstekniker

Baserat på pilotstudiens resultat och diskussion rekommenderas följande kombination av reningstekniker:

1. Sandfiltersteg
2. Ozoneringssteg
3. GAK-filtersteg

Sandfiltrering rekommenderas som första steg i reningsprocessen för att minska belastning på övrig processutrustning, minska driftkostnader samt risk för driftstopp. Sandfiltret bidrar enligt resultat i studien även till viss läkemedelsreduktion.

Ozonering har uppnått en konsekvent hög reduktion av läkemedel under hela försöksperioden. Därför rekommenderas ozonering som huvudsteg för en eventuell framtida fullskalig anläggning för läkemedelsrening. Målet med pilotstudien var att nå över 85%, vilket har överträffats med marginal med läkemedelsreduktion upp till 98%.

GAK-filtrering visar på en reduktion av de kvarvarande läkemedlen. Trots att denna läkemedelsreduktion är relativt liten i relation till ozoneringsstegets reduktion, så ger GAK-filtret en redundans i reningssystemet vid variation på inkommande läkemedelshalter och annat organiskt innehåll samt skapar en ytterligare barriär mot eventuella transformationsprodukter.

4.3 Fullskalig anläggning

Den höga reningseffekten som uppnåddes under pilotstudien indikerar goda möjligheter att dimensionera relativt kostnadseffektiv anläggning i full skala, både med avseende på driftkostnader såväl som installationskostnad.

Hjos avloppsreningsverk har tillstånd för 8000 pe, vilket motsvarar ett flöde på ca 67 m³/h (utan dagvatten) baserat på 200L per pe och dygn. En fullskalig reningsanläggning skulle med dessa siffror skulle kräva omkring 117 MWh per år, vilket motsvarar ett effektbehov på 13,4 kW eller 14,7 kWh/(pe, år). En sådan anläggning skulle ge en reduktion på cirka 25 kg läkemedel per år, motsvarande drygt 96 % av dagens utsläpp, baserat på denna pilotstudie. Utöver reningssystemet

skulle dock effektbehov för matarpump och byggnadens drift tillkomma vilket kräver en detaljprojektering.

Vid en fullskalig anläggning är det mycket möjligt att positiva skalningseffekter uppkommer, som håller nere effektbehovet och investeringskostnaderna. Dessutom skulle t.ex. möjligheten att använda processvattnet som alternativ till kylning av ozongeneratorerna kunna utredas, då vattnet från Hjos reningsverk håller en relativt hög kvalitet. Detta är ett exempel på åtgärd som kan vidtas i större skala för att minska driftkostnaderna.

Skulle kolfiltret kunna undvaras i den fullskaliga anläggningen skulle, enligt ovan resultat och analys, reningsgraden av de analyserade läkemedlen inte försämrans nämnvärt, och investeringskostnaden skulle kunna sänkas betydligt. Även driftkostnaden skulle sjunka med avseende på två aspekter. Främst kostnader som uppkommer för kolfilterbyte, men också för matarpumpens lägre effektbehov på grund av tryckförluster som annars skulle uppstå över filtret. Den extra driftreduktion och ytterligare barriär för ev. transformationsprodukter som erhålls med GAK-filtret måste alltså vägas mot de kostnader som detta tillför vid en fullskalig implementation.

5 Referenser

- Baresel, C., Palm Cousins, A., Hörsing, M., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.-S., . . . Söhr, S. (2015). *Läkemedelsrester och andra skadliga ämnen i avloppsreningsverk - koncentrationer, kvantifiering, beteende och reningsalternativ*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Cornel, P., Knopp, G., Prasse, C., & Ternes, T. A. (2016). Elimination of micropollutants and transformation products from a wastewater treatment plant effluent through pilot scale ozonation followed by various activated carbon and biological filters. *Water Research*, 580-592.
- Goralski, A. (2019). *Removal of Pharmaceutical Residues from Wastewater*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology: School of Engineering Sciences in Chemistry, Biotechnology and Health.
- Hamrén, H. (den 13 10 2017). *Advanced waste water treatment medicine for increased drug emissions*. Hämtat från Baltic Eye:
<https://balticeye.org/en/pollutants/increased-need-for-advanced-waste-water-treatment/>
- Läkemedelsverket. (2012). *Ytterligare åtgärder som kan vidtas på nationell nivå för att minska kassation av läkemedel och begränsa miljöpåverkan av läkemedelsanvändningen*.
- Naturvårdsverket. (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen - Behov, teknik och konsekvenser*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Pontén, J., Rönnholm, G., & Skiöld, P. (2017). *PPRI Pharma Profile Sweden*. Stockholm: Dental and Pharmaceutical Benefits Agency.
- Vättnvårdsförbundet. (2018). *Bevarandeplan Natura 2000*. Jönköping: Vättnvårdsförbundet.

Bilaga 1 - Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser

Läkemedel	LOQ [ng/L]	Läkemedel	LOQ [ng/L]	Läkemedel	LOQ [ng/L]
Alfuzosin	4	Dicycloverine	10	Miconazole	3
Alprazolam	10	Dihydroergotamine	15	Mirtazapine	5
Amiodarone	50	Diltiazem	1,5	Naloxone	10
Amitriptyline	10	Diphenhydramine	4	Nefazodone	2
Atenolol	15	Dipyridamol	3	Norfloxacin	20
Atorvastatin	10	Donepezil	7,5	Ofloxacin	3
Atracurium	4	Duloxetine	2	Orphenadrine	3
Azelastine	2	Eprosartan	15	Oxazepam	5
Azithromycine	40	Erythromycin	20	Oxytetracycline	10
Biperiden	3	Felodipine	10	Paracetamol	10
Bisoprolol	3	Fenofibrate	10	Paroxetine	20
Bromocriptine	5	Fexofenadine	10	Pizotifen	2
Budesonide	10	Finasteride	20	Promethazine	15
Buprenorphine	20	Flecainide	1,5	Propranolol	50
Bupropion	3	Fluconazole	7,5	Ranitidine	20
Caffeine	50	Flunitrazepam	10	Repaglinide	2
Carbamazepin	7,5	Fluoxetine	7,5	Risperidone	4
Ceterizine	5	Flupentixol	10	Rosuvastatin	20
Chlorpromazine	10	Fluphenazine	10	Roxithromycin	15
Chlorprothixene	10	Glibenclamide	20	Sertraline	10
Cilazapril	1	Glimepiride	20	Sotalol	15
Ciprofloxacin	10	Haloperidol	3	Sulfamethoxazole	15
Citalopram	15	Hydroxyzine	3	Tamoxifen	5
Clarithromycin	3	Irbesartan	3	Telmisartan	1
Clemastine	2	Ketoconazole	45	Terbutaline	3
Clindamycin	3	Loperamide	50	Tetracycline	30
Clomipramine	2	Losartan	5	Tramadol	15
Clonazepam	5	Maprotiline	2	Trihexyphenidyl	3
Clotrimazole	10	Meclozine	15	Trimethoprim	3
Codeine	0,5	Memantine	10	Venlafaxine	20
Cyproheptadine	5	Metoprolol	3	Verapamil	10
Desloratadine	15	Metronidazole	4	Zolpidem	3
Diclofenac	10	Mianserin	15		