



Tierps Energi & Miljö AB

Slutrapport

Implementering av fullskalig läkemedelsrening vid Tierps reningsverk

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	4
2.	Bakgrund	4
2.1.	Negativa effekter av läkemedelsrester i naturen	4
2.2.	Recipient - Tämnrån	5
2.3.	Nuvarande reningsanläggning i Tierp	5
2.4.	Mellifig	5
2.5.	Eliminering av läkemedel med ozon och GAK.....	6
2.5.1.	Ozonering.....	6
2.5.2.	GAK	7
3.	Förstudie och pilotprojekt.....	8
3.1.	Kartläggning av läkemedel	8
3.2.	Pilotprojekt och uppskalning	8
4.	Installerat reningssteg	10
4.1.	Planskiss över installerad anläggning	11
4.2.	Sandfilter - Watermaid FlexKarb™-S.....	12
4.3.	Ozonsystem - Ozonotech RENA Tellus	13
4.4.	GAK-filter - Watermaid FlexKarb™-C.....	15
5.	Utvärdering av läkemedelsreducering.....	16
5.1.	Provtagning och uppehållstid	16
5.2.	Processparametrar och uteffekt.....	16
5.3.	Analys av vattenprover	17
6.	Resultat och diskussion	18
6.1.	Resultaterande totala läkemedelshalter.....	18
6.1.1.	Statistisk signifikans.....	19
6.2.	Specifika läkemedelshalter vid 100 % effekt	19
6.3.	Övriga halter.....	22
6.4.	Energianvändning och effekt.....	25
6.5.	Nyckeltal	26
6.5.1.	Reningsgrad	26
6.5.2.	Effektåtgång vid läkemedelsborttagning	27
6.5.3.	Läkemedel som elimineras varje år.....	27
7.	Slutsatser och rekommendationer	28



7.1.	Hög reningsgrad trots förhöjda halter.....	28
7.2.	Kombinerade reningstekniker ger högst effektivitet	28
7.3.	Rekommendationer för framtida utvärdering	28
8.	Referenser	29
9.	Bilagor	30
9.1.	Bilaga 1 – Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser	30
9.2.	Bilaga 2 – Provtagningspunkter vid Tierps reningsverk.....	31

1. Introduktion

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

Utvärderingen av denna installation och de resulterande läkemedelsnivåerna presenteras och diskuteras i denna rapport.

2. Bakgrund

2.1. Negativa effekter av läkemedelsrester i naturen

Flertalet akademiska studier visar på att läkemedelssubstanser i naturen har en skadlig effekt på vattendrag och ekosystem, även i mindre doser då substanserna är bioackumulerande och ansamlar sig i näringskedjan (Björnlenius, 2018).

En rapport från Läkemedelsverket skriven 2015 presenterar 22 läkemedelssubstanser som rekommenderas följas upp årligen för att representera den totala mängden läkemedel i svenska vattendrag (Mattson, Andersson, & Ovesjö, 2015). Bland dessa ämnen har studier visat på att oxazepam, ett ångestdämpande läkemedel, förändrat beteendemönstret hos den europeiska abborren vilket kan ge ekologiska och evolutionära konsekvenser som är oberäkneliga i dagsläget (Björnlenius, 2018).

Effekterna av diklofenak, en vanlig smärtstillande substans, på naturen är väl studerat och har genom flera studier påvisat negativa effekter i form av att ansamlas i levern och gälarna på regnbågslax och negativt påverka funktionen av organen (Björnlenius, 2018).

För att belysa och hantera detta problem utförde Naturvårdsverket under 2018 en utlysning för projekt som syftar till att sänka halterna av läkemedelsrester som når svenska vattendrag från avloppsreningsverk (Naturvårdsverket, 2018).

2.2. Recipient - Tämnarån

Tierps reningsverks recipient är främst Tämnarån som slutligen rinner ut i Östersjön cirka fem mil nedströms. De initiala halterna läkemedel som uppskattades var att cirka 8 kg aktiva läkemedelssubstanser lämnar reningsverket varje år orenat.



Figur 1. Tierps kommun inklusive Tämnarån.

Flera vattendrag i kommunen har bedömts som känsliga mot miljögifter, varav tidigare nämnda läkemedlet diklofenak är en indikator. Genom fullskalig rening av läkemedelsrester kommer en stor del av dess skadliga miljöpåverkan kunna reduceras.

2.3. Nuvarande reningsanläggning i Tierp

Reningsverkets flöde varierar beroende på dagvattenflöden och årstider mellan cirka 100–300 m³/hr med cirka 15 000 personer anslutna. Flödestopparna sker främst under issmältning och verket har cirka 150–200 m³/hr i medelflöde. Målet med projektet är att uppnå så hög reningsgrad som möjligt för 150 m³/h.

2.4. Mellifiq

TEMAB har genomfört implementationen av läkemedelsreningen tillsammans med dedikerad partner Mellifiq. Mellifiq besitter nödvändiga specialistkunskaper och erfarenheter inom läkemedelsrening. Systemet består av ozonering som huvudsakliga reningsmetod. TEMAB har även valt att komplettera denna rening med aktiv kolfilter nedströms från ozoneringen samt sandfilter uppströms från ozoneringen. Även dessa steg har utformats och projekterats av Mellifiq som en helhetslösning.

I korthet består den fullskaliga tertiärreningen av:

- 1) Pumpning av renat vatten efter slutsedimentering till sandfilter
- 2) Pumpning vidare till ozoneringsystem bestående av ett skraddarsytt ozonsystem med reaktionstank
- 3) Slutsteg bestående av ett aktivt kolfilter (GAK)

Projektet startade i november 2018 och under denna tid har partner Mellifiq utformat ozoneringslösning, reaktionstank samt dimensionering av sand- och kolfilter. Dessa har sedan installerats och driftsatts av Mellifiq.

Utöver detta har en extensiv kartläggning över dagens läkemedelshalter och övriga föroreningshalter (BOD, COD och TOC) utförts genom hela reningsprocessen. Denna projektering beskrivs i delrapporten från våren 2019 som innefattar förstudien och Mellifiqs pilotprojekt som ligger bakom dimensionering av anläggningen.

Slutligen har projektingenjörer hos Mellifiq extensivt utvärderat anläggningens reningskapacitet med avseende på läkemedel under sommaren 2020 som ligger till grund för det utvärderande och slutliga resultatet av projektet.

2.5. Eliminering av läkemedel med ozon och GAK

Nedan beskrivs de olika reningsmetoderna kortfattat och hur de kan i synergi bidra till en eliminering av läkemedelsrester vid svenska reningsverk.

2.5.1. Ozonering

Ozon har länge använts för att rena vatten som en stark oxidant, ozonet kan på ett effektivt sätt oxidera en stor mängd oxidanter med i stort sett inga negativa sidoeffekter eller restprodukter. Ozonering är även starkt miljövänligt då en effektiv ozonproduktion är både energisnål och sker utan farliga restprodukter (Goralski, 2019).

Flertalet studier har visat på hur oxidation med hjälp av ozon märkbart kan reducera läkemedelsnivåer i avloppsvatten. Med ozon kan läkemedelsrester på ett effektivt sätt elimineras vid rätt dimensionering, därför bör ett pilotprojekt utföras i mindre skala för att undvika ett över- eller underdimensionerat reningssteg (Johansson & Engberg, 2018).

2.5.2. GAK

Filter med granulerat aktivt kol används frekvent vid vattenrengöring då dessa på ett effektivt sätt kan absorbera föroreningar av flera slag med en tydlig nackdel i att kolet i filtren behöver bytas kontinuerligt rakt linjärt mot den mängd som kolet har absorberat. För att bidra till en lång livstid bör vattnet innan filtren vara så rent från föroreningar som möjligt, exempelvis genom ozonering (Naturvårdsverket, 2017).

En forskningsstudie visade att de läkemedel som kvarstår även efter ozonering kan på ett effektivt sätt elimineras genom absorption i ett GAK-filter (Granulerat Aktivt Kol) (Cornel, Knopp, Prasse, & Ternes, 2016). Därav bör en komplett reningsanläggning innehålla en lösning med ozonering och GAK-filter för att säkerställa en hög reningsgrad och effektivitet (Naturvårdsverket, 2017).

3. Förstudie och pilotprojekt

Under våren 2019 presenterades en förstudie bestående av en fullständig kartläggning av läkemedelshalterna i nuvarande anläggning samt en rening av läkemedel i pilotskala utförd av Mellifiq (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

3.1. Kartläggning av läkemedel

Kartläggning av läkemedelshalterna visade i förstudien att den nuvarande reningsanläggningen i Tierp renar cirka 20 - 25 % av alla mätbara läkemedel. Det skall tilläggas att paracetamol, som står för den större delen av läkemedel från svenska reningsverk tas bort fullständigt men endast 20 - 25 % av övriga läkemedelsrester (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

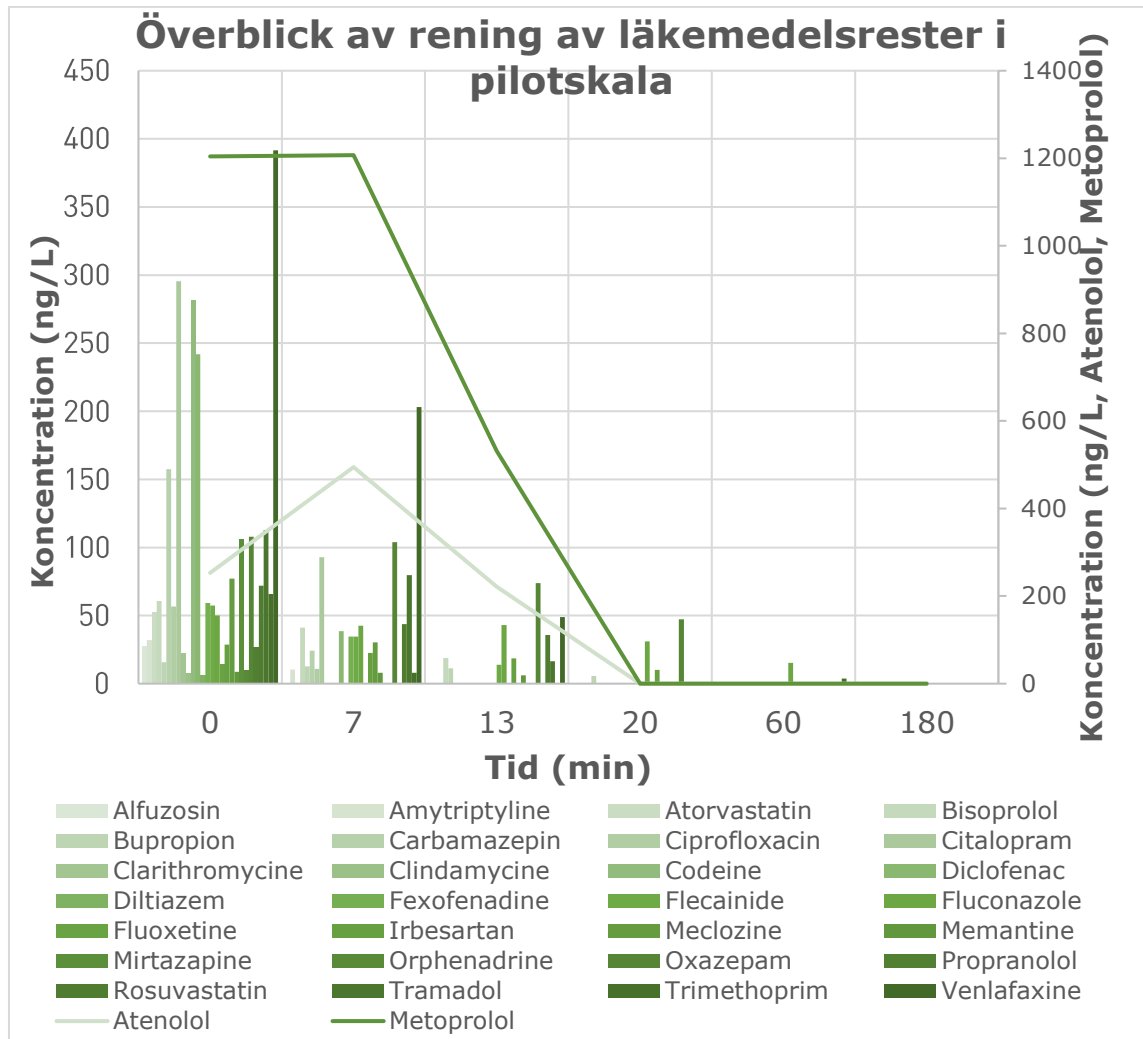
Vid tidpunkten för genomförandet av förstudien mättes totalt 5605 ng/L efter slutsedimentering. Det resulterar i cirka 9,8 kg aktiva substanser årligen från Tierps reningsverk, förutsatt att massflödet av läkemedel är ungefär detsamma över hela året. Detta är helt i linje med kartläggningar från Sveriges övriga reningsverk (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

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

3.2. Pilotprojekt och uppskalning

En del av förstudien var att rena vatten från reningsverkets utlopp i Mellifiqs pilotanläggning i syfte att effektivt analysera ozonets och kolfiltrets påverkan på läkemedelshalterna över tid i en pilotanläggning som genererar samma förhållanden som reningen vid en fullskalig drift vid den anläggning som projekteras (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

Figur 2 nedan visar resulterande läkemedelshalter i pilotkörningen med ozonering. Samtliga läkemedel renas bort genom endast ozonering till under detektionsgräns, även substanser som hade signifikant högre halter (Atenolol, Metoprolol).



Figur 2. Överblick av läkemedelsreningen i pilotskala på utmynnande vatten från Tierps reningsverk. Pilotreningen återger förhållanden vid tidpunkten för uppsamling av processvatten i mars 2019 utan kol- och sandfilter-steg (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

Pilotprojektet visade på en fullständig läkemedelsreducering med ozonering baserat på 5-6000 ng/L enligt förstudien, utöver ett ozonsteg projekteras även ett initialt sandfiltersteg för att säkerställa att partiklar av större storlek inte kan passera igenom ozoneringssteget för att undvika driftproblem vid eventuella underhåll eller tillfällig bristfällig sedimentation uppströms i reningsverkets primär- eller slutsedimentering (Tierps Energi & Miljö AB, 2019).

För att säkerställa fullständig eliminering och för att på ett energieffektivt sätt kunna köra anläggningen med en lägre uteffekt projekteras även ett GAK-filtersteg som avslutande rening innan vattnet når recipient.

4. Installerat reningssteg

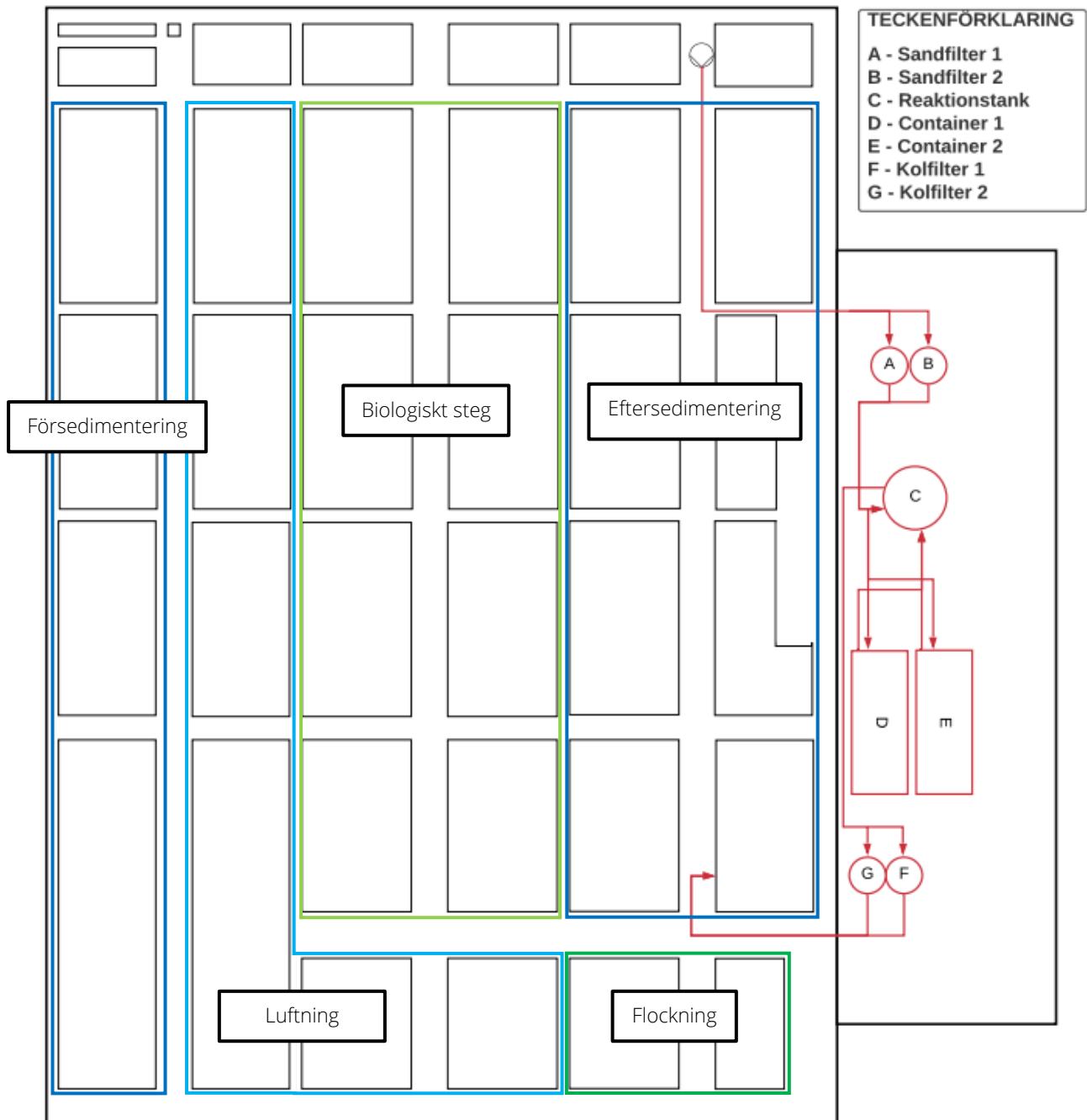
Mellifiq har under 2020 levererat en tertiärreningsanläggning med syfte att fullständigt eliminera läkemedelsresterna från Tierps reningsverk. Denna anläggning består av ett av Mellifiqs systemlösningar för vattenrening med flera tekniker i kombination, hela entreprenadens värdekedja och projektering har Mellifiq ansvarat för vilket inkluderar:

- Förstudiearbete och pilotprojekt
- Dimensionering och flödessimulering
- CAD och systemdesign
- Leverans och installation
- Utvärdering och driftsättning

Anläggningens installerade system presenteras nedan samt en övergripande bild av hela anläggning och dess flödesschema i Figur 3.

4.1. Planskiss över installerad anläggning

Nedan i figuren presenteras en planskiss över hur den installerade anläggningen integreras i reningsverket där ett flödesschema över vattnets gång genom läkemedelsreningen representeras av röda pilar.



Figur 3. Planskiss över läkemedelsreningen och dess integration med reningsverket, vattenflödet representeras av röda pilar.

4.2. Sandfilter - Watermaid FlexKarb™-S

Två av Mellifiqs Watermaid FlexKarb™-S sandfilter installerades som anläggningens första steg, vars syfte är att som första reningssteg eliminera större partiklar och lösa upp läkemedel som kan vara bundet tillsammans med dessa partiklar för att möjliggöra så stor reningsgrad som möjligt av ozoneringen.

Sandfiltren använder Mellifiqs egna SPor™ som media för maximerad livslängd och prestanda.

Två filter möjliggör även att ifall det uppstår problem eller vid underhåll kan ett filter stängas ner under denna period.



Figur 4. Två installerade Watermaid FlexKarb™-S vid anläggningens inlopp.

4.3. Ozonsystem - Ozonotech RENA Tellus

Mellifig har levererat två av deras Ozonotech RENA Tellus som är skräddarsydda containerlösningar för ozonering. Alla parameterar kan anpassas efter syfte och i detta fall har anläggningen dimensionerats efter förstudiens resultat vilket visade en total läkemedelsmängd på 9,6 kg/år vid 200 m³/h medans utvärderingen har visat på en mer än dubbelt så hög mängd med 20,52 kg/år.

Istället för en dedikerad kylanläggning har Mellifig utvecklat ett innovativt kylsystem som tar processvatten från reaktionstanken innan ozonering vilket resulterar i energi- och kostnadsbesparing och därmed en effektivare anläggning.



Figur 5. Exteriör på containerlösning med integrerad Ozonotech RENA Tellus inför installation vid Tierps reningsverk.



Figur 6. Interiör i installerade containrar i anläggningen. På bilden visas kompressor, kylvattensystem, styrpanel samt sex installerade Ozonetech ICT-80 ozongeneratorer.



Figur 7. Interiör i installerade containrar i anläggningen. Bilden visar pumpar, ozoninjektor samt klimatanläggning.

4.4. GAK-filter - Watermaid FlexKarb™-C

Som slutgiltigt reningssteg har Mellifiq installerat två Watermaid FlexKarb™-C GAK-filter med AdPor™-media. GAK-filtrets huvudsakliga funktion är att agera som skyddsnät för att se till att dem läkemedel som inte eliminerats av ozonering tas hand om.

FlexKarb™-C har trots sitt optimala media i form av AdPor™ och dess prestanda samma problem som alla kolfilter, vilket är att mediet behöver bytas ut med jämna mellanrum beroende på hur mycket som absorberats av filtret. Det visar sig att filtret mycket väl kan ta hand om en del av läkemedlen utan ozonering men ett ozoneringssteg innan kolfilter möjliggör en betydligt längre livstid för kolfiltren och därmed en anläggning med lägre driftskostnad och underhållsbehov.



Figur 8. Två installerade Watermaid FlexKarb™-C GAK-filter vid anläggningens sista reningssteg och utlopp.

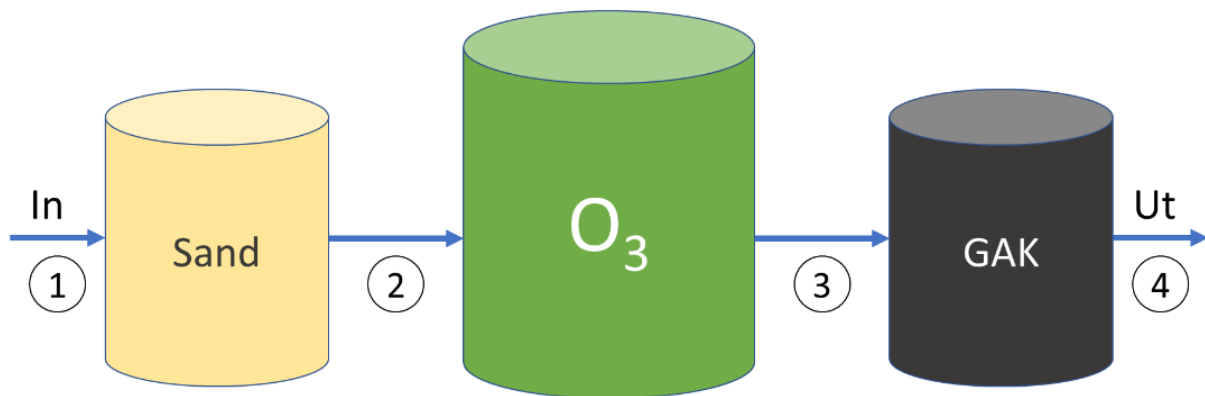
5. Utvärdering av läkemedelsreducering

Under sommaren 2020 utfördes en utvärdering av det installerade läkemedelssteget. Denna utfördes av partner Mellifiq och innebar sex besök vid reningsverket där prover togs med följande variabler:

- BOD
- COD
- TOC
- Läkemedelshalter

5.1. Provtagning och uppehållstid

Nedan presenteras en övergripande schematisk bild över installerade läkemedelssteget vid Tierps reningsverk där proverna har tagits, provtagningspunkterna (1) till (4) är utmärkta. Vattenflödet passerar igenom anläggningen först genom ett av två sandfilter (1), till reaktionstanken (2) där vattnet cirkuleras med injikerad ozon, vidare till ett av två aktiva kolfilter (3) och slutligen ut ur reningsverket (4). I Bilaga 2 visas provtagningspunkterna på anläggningen.



Figur 9. Schematisk figur över installerad reningsanläggning med utmarkerade provtagningspunkter (1) till (4).

För att få ett så precist mätresultat som möjligt försöker det ta prover från "samma" volym av vatten vid varje provtagning. Därför har uppehållstiden för en viss volym vatten mellan varje provtagningspunkt beräknats och därmed har det uppstått en väntetid mellan provtagningarna i respektive punkt, helt i enlighet med rekommenderad provtagningsmetod (Goralski, 2019).

Det har tagits dubbelprover vid alla tillfällen i syfte att säkerställa den statistiska signifikansen av slutliga resultaten och att rätt slutsatser dras med möjlighet att identifiera potentiella statistiska outliers. Proverna har även tagits från en homogen vattenvolym bestående av lika delar vatten från respektive sand- och kolfilter.

5.2. Processparametrar och uteffekt

Under provtagningsperioden varierades följande parametrar vid respektive provtagningsstillfälle:

Tabell 1. Parametrar vid respektive provtagningstillfälle.

Provtagningstillfälle	1	2	3	4	5	6
Uteffekt [%]	0	10	20	40	60	100
Vattenflöde [m ³ /h}	100	100	100	100	100	100

Anläggningens uteffekt varierades i syfte att förstå ozonets inverkan på den totala läkemedelsreningen samt vilken uteffekt som ger optimalt resultat med avseende på anläggningens energiförbrukning. För att få så mycket användbara data som möjligt med den provtagningsbudget som tillgetts valdes 0, 10, 20, 40, 60 och 100 % av anläggningens effekt för att lägga fokus på reduceringen vid lägre ozoneffekt där det förväntades hitta en optimal effektprocent.

Vattenflödet behölls konstant vid 100 m³/h för att ge konsekventa resultat och minska potentiella felkällor till utvärderingen av anläggningen. Detta då vattenflödet till anläggningen under dem torra månaderna på sommaren kan falla under 100 m³/h och därmed ge missvisande resultat, för att säkerställa ett konsekvent mätresultat hölls vattenflödet konstant vid en säkerhetsnivå på 100 m³/h.

5.3. Analys av vattenprover

Läkemedelsproverna skickades till en extern part som utför läkemedelsanalyser med ett resulterande spektrum på 93 aktiva läkemedelssubstanser. Alla läkemedel som mäts och deras detektionsgränser presenteras i Bilaga 1.

Övriga prover (COD, BOD och TOC) har analyserats av ett tredjepartslaboratorium.

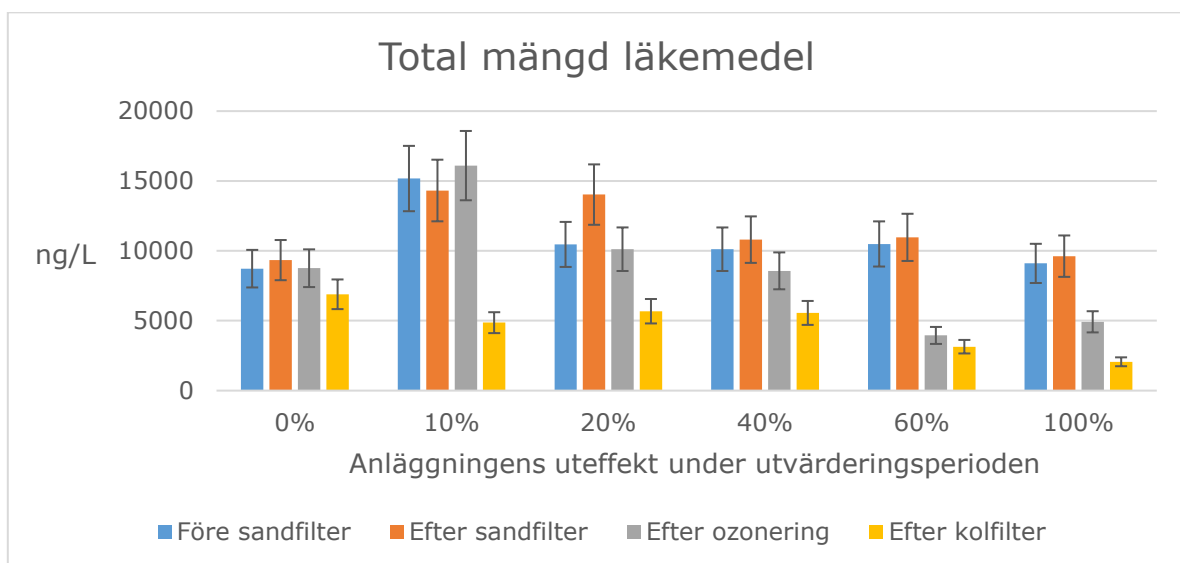
6. Resultat och diskussion

6.1. Resultaterande totala läkemedelshalter

Resultatet från tredje part visade att 33 av 94 aktiva ämnen återfanns i utloppsvattnet från Tierps reningsverk och den totala snittmängden på 12 µg/L. Vid dimensionerat flöde på 150 m³/h blir den totala mängden aktiva läkemedel som når recipienten ca 25 kg/år (± 4 kg med beräknat mätfel).

Halterna är mer än dubbelt så höga som de uppmätta från förstudien i mars 2019 (5-6 µg/L), vilka är halterna som anläggningen har dimensionerats mot. Anläggningen är därav inte dimensionerad mot halter som uppkommit under utvärderingen (10 – 15 µg/L). Men baserat på anläggningens dimensioner så renas erforderlig mängd läkemedel bort enligt fördefinierade reningskrav.

Grafen nedan i Figur 10 visar läkemedelshalterna vid varje provtagning och varje provtagningspunkt, de ingående halterna är överlag likvärdiga utom vid 10 och 20 %. Det som bör tas i beaktning är att vid andra och tredje tillfällena (10 % och 20 %) hade reningsverket nyligen startat upp sin eftersedimentering efter underhåll vilket ger en viss skevhet i värdena vid dessa tillfällen och även högre halter. Detta ger en tydlig felkälla till resultatet vid dessa tillfällen och de förhöjda halterna påverkar anläggningens reningsgrad då den inte dimensionerats för förhöjda halter långt utanför normalen.



Figur 10. Total mängd uppmätta läkemedelssubstanser vid respektive provpunkt och provtillfälle, felstaplar i figuren representerar standardavvikelsen.

Det skall även noteras att en ökad ozoneringseffekt leder till en högre reningsgrad och lägre utloppshalter men att GAK-filtret agerar som en säkerhet för ytterligare reningsgrad. Detta är helt i enlighet med anläggningens funktion och innebär att läkemedelshalterna reduceras till en lägre reningsgrad men att den nästintill fullständiga elimineringen först kan ske vid högre effekt (60 – 100 %).

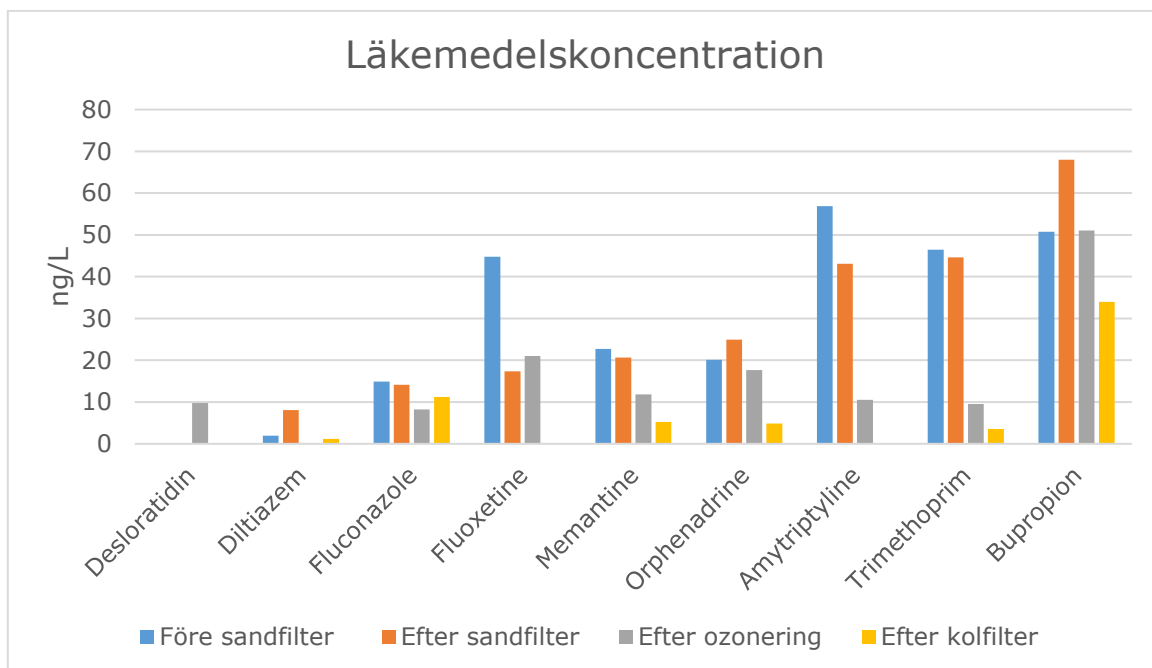
Vidare finns det en genomgående trend av att läkemedelshalterna stiger efter sandfiltret. Detta är positivt då det innebär att läkemedel som tidigare bundits upp i partiklar lösts in i vattnet och ökar därmed den totala inlösta läkemedelshalten som går att reducera som annars varit uppbundet i större partiklar.

6.1.1. Statistisk signifikans

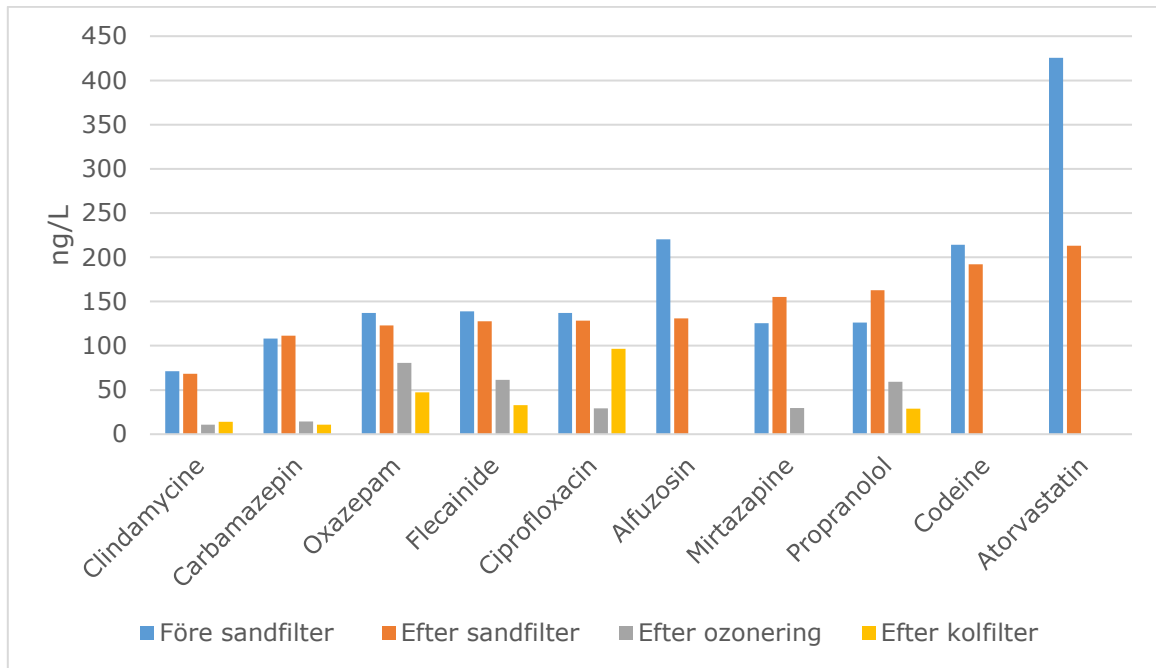
För att säkerställa statistisk signifikans i analysen av resultatet har dubbelprov tagits vid alla läkemedelsprovtagningar varpå genomsnittliga värdet av dessa prover använts där en standardavvikelse på 15,4 % har beräknats som ett genomsnitt av alla dubbelprover. Denna standardavvikelse presenteras i Figur 10 ovan som felstaplar.

6.2. Specifika läkemedelshalter vid 100 % effekt

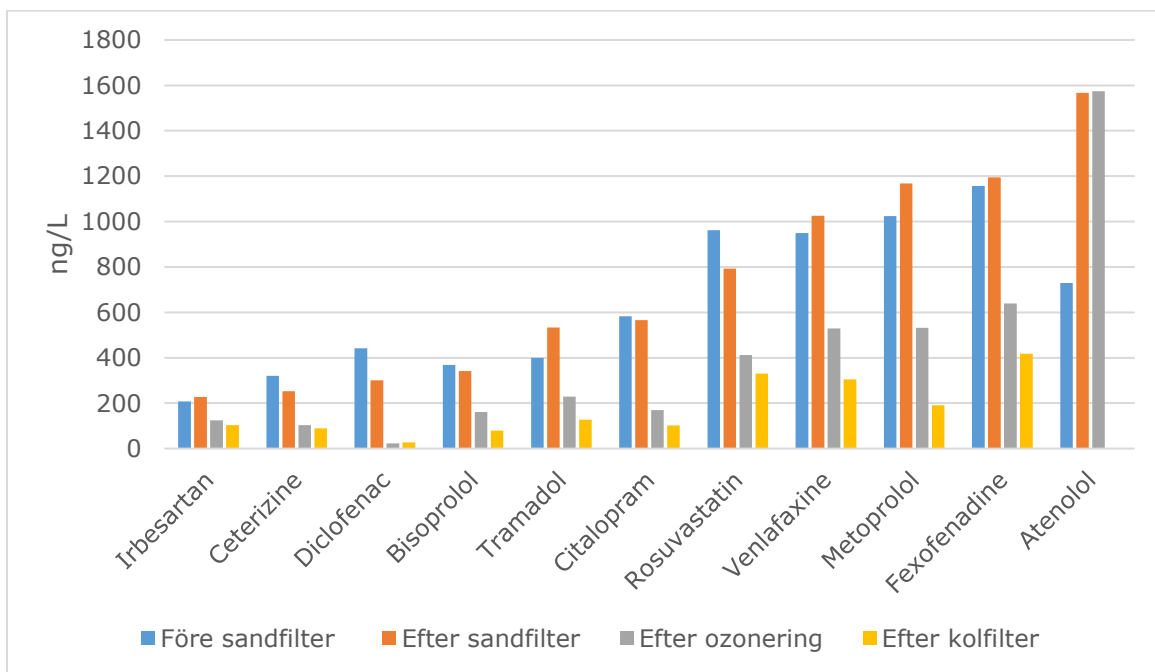
I figurerna nedan presenteras värdena på respektive läkemedelssubstans och provtagningspunkt vid maximal reningsgrad. Vid denna provtagning återfanns totalt 30 aktiva läkemedelssubstanser som är presenterade i storleksordning, läkemedelshalter under detektionsgräns har satts till noll.



Figur 11. Specifika läkemedelshalter mellan 10 och 70 ng/L.



Figur 12. Specifika läkemedelshalter mellan 70 och 425 ng/L.



Figur 13. Specifika läkemedelshalter mellan 425 och 1600 ng/L.

Det som går att utskilja är att de sju ämnena med högst halter efter står för 66 % av totala halten. Substanserna samt deras huvudfunktion listas nedan i storleksordning:

- 1) **Atenolol:** Minskat blodtryck
- 2) **Fexofenadine:** Antihistamin
- 3) **Metoprolol:** Minskat blodtryck
- 4) **Venlafaxine:** Antidepressiv
- 5) **Rosuvastatin:** Sänkt kolesterol
- 6) **Citalopram:** Antidepressiv
- 7) **Atorvastatin:** Sänkt kolesterol

Totalt 10 läkemedel eliminerades till under detektionsgräns och resterande 21 substanser har minskat till 20-25 % av ingångsvärdet med en total reningsgrad upp till 91 %.

Sammantaget 9 läkemedel av de 22 som Läkemedelverket rekommenderar som miljöindikatorer återfanns i nivåer över detektionsgräns vid provtagningen och i Tabell 2 nedan presenteras reningsgraden av dessa (Mattson, Andersson, & Ovesjö, 2015).

Tabell 2. De 9 av Läkemedelsverkets 22 indikatorläkemedel som kunde uppmätas under provtagningen.

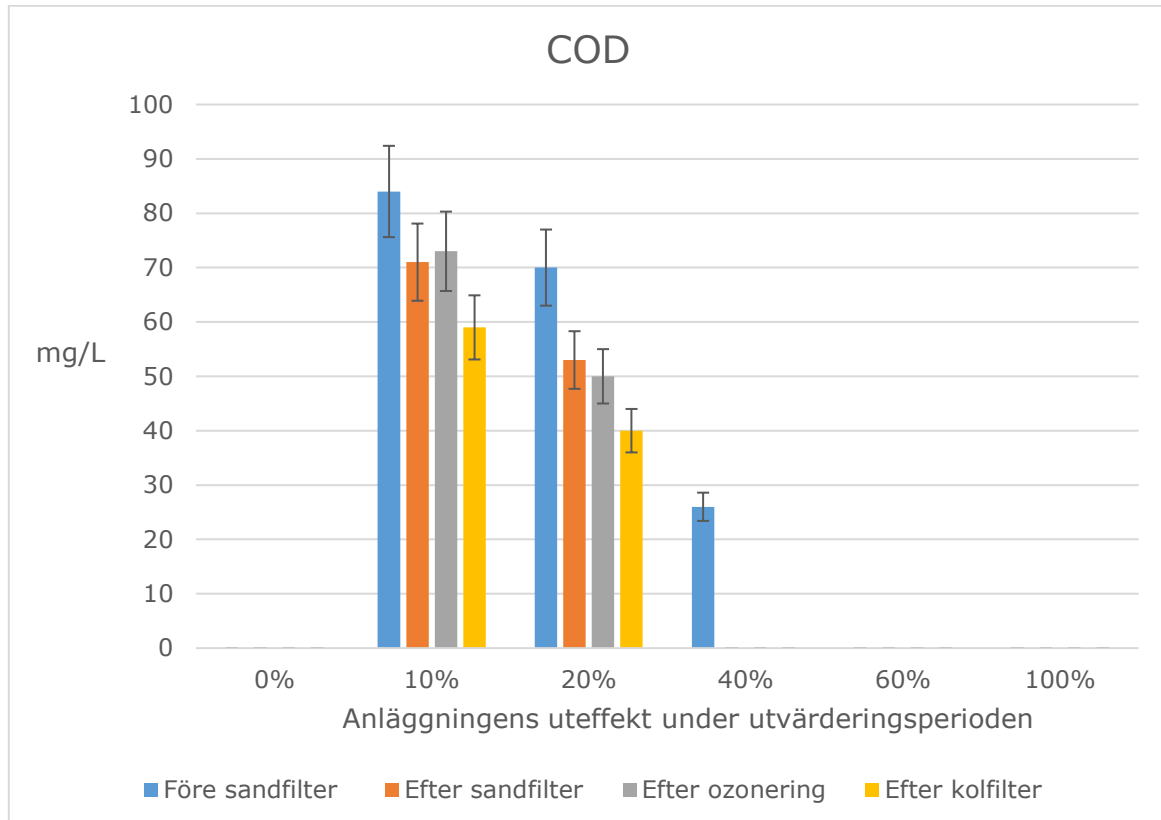
Substans	Ingående halt	Utgående halt	Borttagning
Diklofenak	441	27	94 %
Trimetoprim	46	4	92 %
Karbamazepin	111	11	90 %
Metoprolol	1168	190	84 %
Citalopram	583	102	82 %
Tramadol	533	127	76 %
Oxazepam	137	47	65 %
Ciprofloxacin	137	97	30 %
Flukonazol	15	11	25 %

Av detta kan det avläsas att genomsnittligt tas upp till 93 % av indikatorläkemedlen bort genom anläggningen (enligt beräknad mätosäkerhet). Diklofenak som visats genom tidigare nämnda studier ha kraftigt negativ påverkan på djurlivet i recipient tas bort till nästan 94 %. Resultaten på indikatorämnena följer även samma trend som tidigare rapporter på ozonering av avloppsvatten där flukonazol nämns som den mest resistenta substansen mot ozonering där även ämnet bupropion visar liknande resistens i både denna utvärdering och i tidigare studier (Björnlenius, 2018).

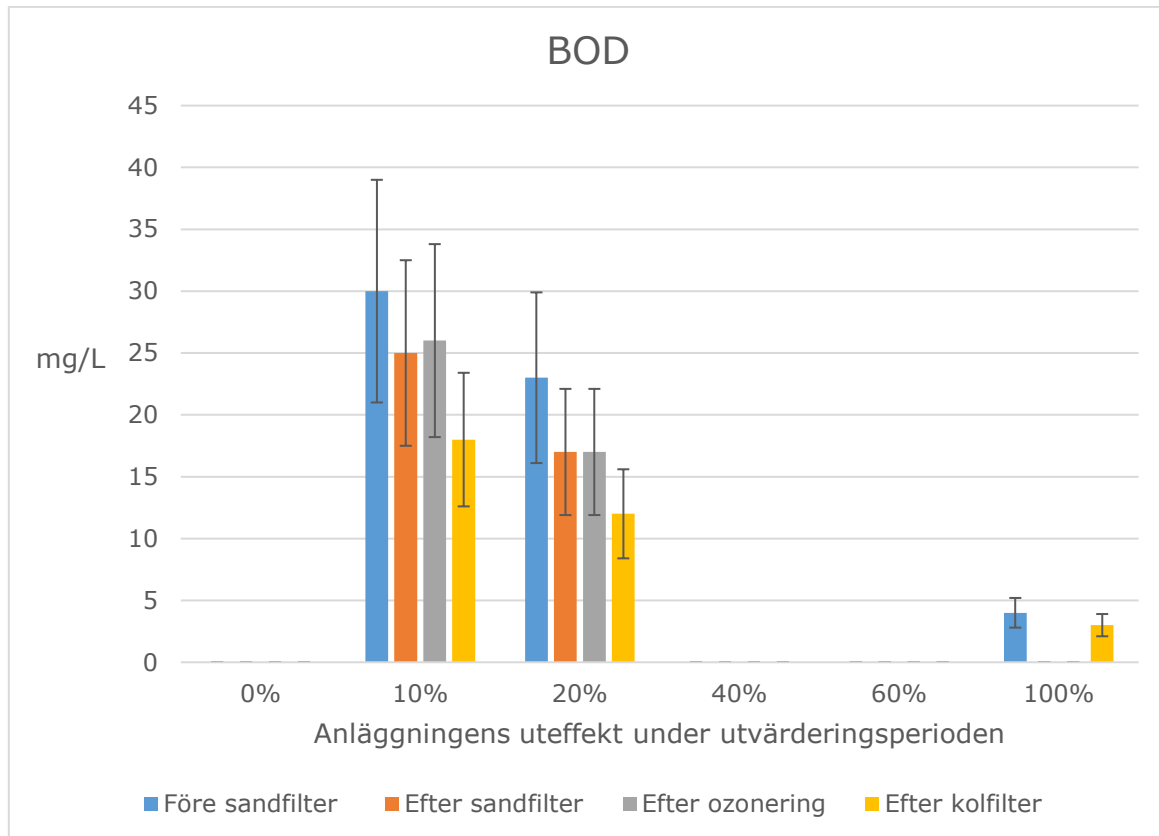
Tre av fem ämnen från Svenska Miljöinstitutets högrisk-läkemedel återfinns i provresultatet (oxazepam, metoprolol och trimetoprim) där de tre ämnena reducerats med upp till 83 % i reningsprocessen (Sehlén, o.a., 2015).

6.3. Övriga halter

Utöver läkemedelshalter togs även prover på COD, BOD och TOC vid varje provtagningsstillfälle i syfte att förstå hur en reduktion i övriga föroreningar korrelerar med och påverkar läkemedelshalterna. Uppmätta nivåer presenteras i figurerna nedan där värden som uppmätts under detektionsgränsen har satts till noll och felstaplarna representerar mätfelet från analyserande laboratorium.



Figur 14. COD-nivåer vid respektive provtagningspunkt och tillfälle.

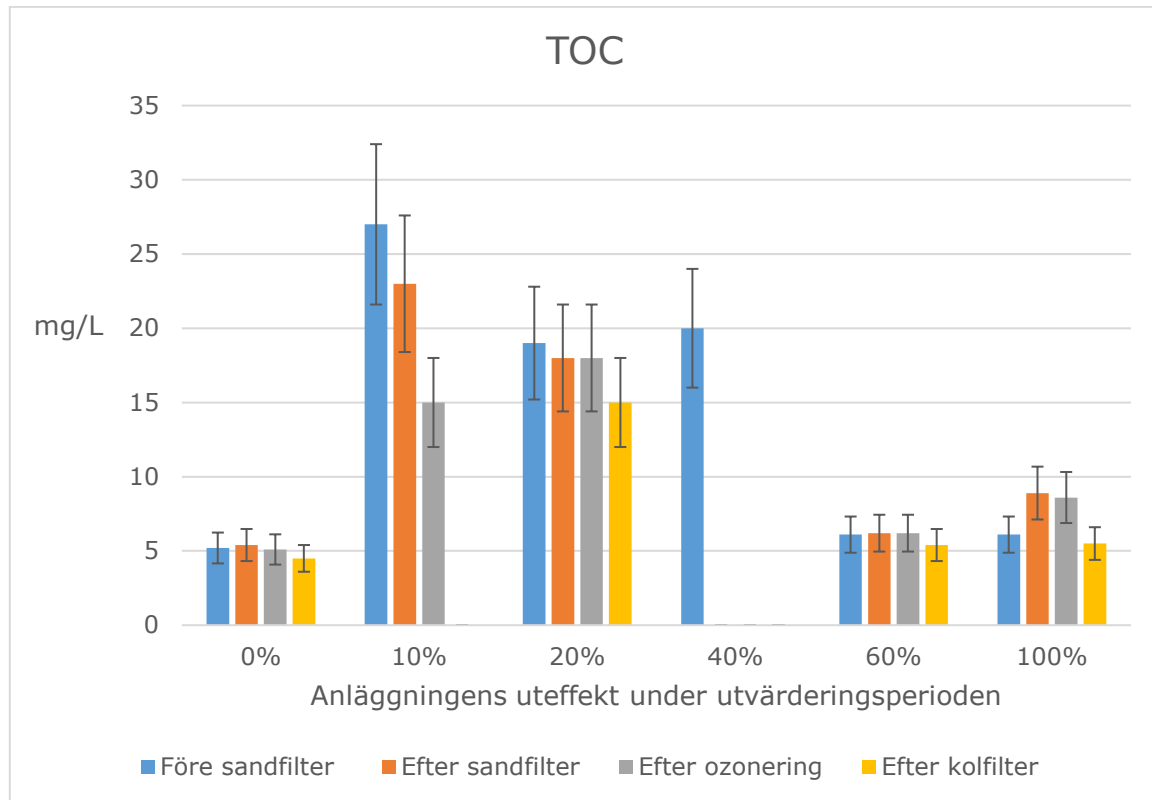


Figur 15. BOD-nivåer vid respektive provtagningspunkt och tillfälle.

Det som bör noteras är att bortsett från utstickande låga värden vid 40 % och 100 % har COD- och BOD-nivåerna endast varit mätbara vid de provtillfällen som skedde i samband med underhåll av TEMAB:s sedimentering. Utloppsvattnet vid en normaldrift har lägre nivåer än detektionsgränsen men där varje processteg i Mellifigs installerade anläggning sänker nivåerna helt i enlighet med tidigare installationer och effekten av sand- och kolfilter samt ozonering på övriga föroreningsnivåer. Detta visar också på att anläggningen ytterligare sänker övriga föroreningar och inte endast läkemedelshalter.

Att halterna överlag är under detektionsgräns ger ett bra betyg på att reningsverket i Tierp fungerar som planerat vid normal drift och att den installerade läkemedelsreningen endast behöver polera bort mikro-föroreningar som läkemedelsrester och inte rena vattnet från övriga föroreningar som kan göra läkemedelsborttagningen mindre effektiv.

Troligen, med resultatet ovan i beaktning, så bör även anläggningen ha en desinficerande effekt med allra största säkerhet. Detta omfattades dock inte av projektets budget eller beskrivning.

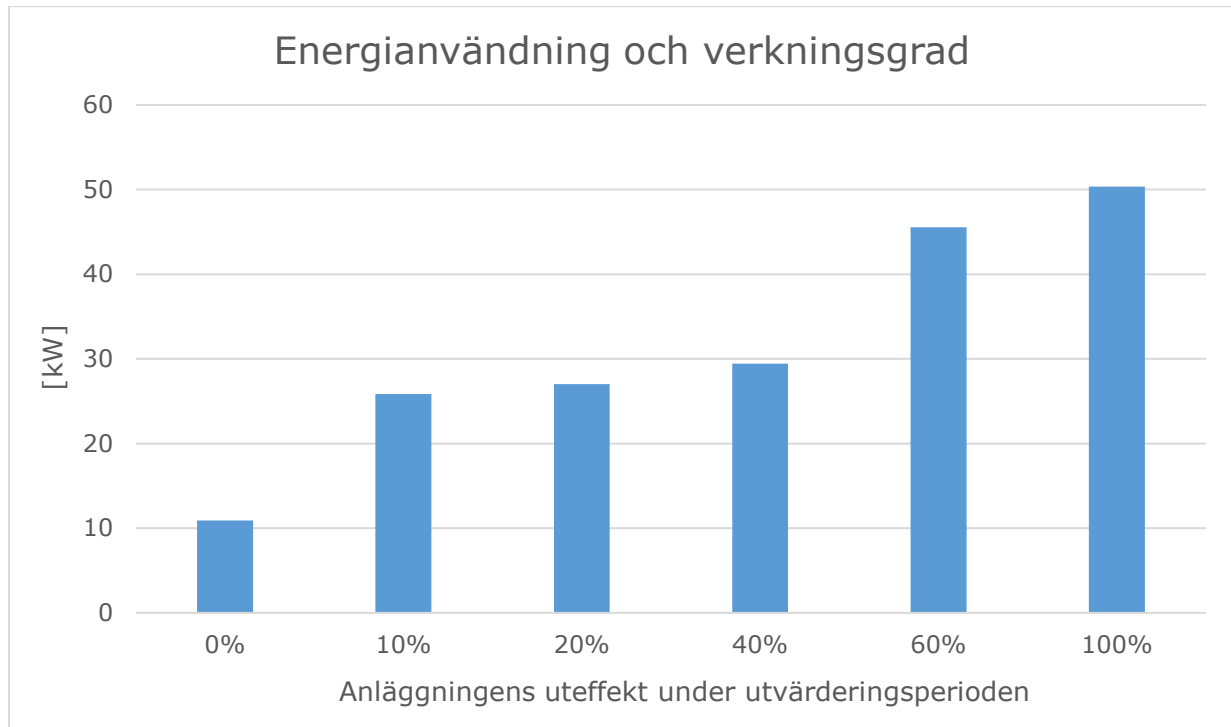


Figur 16. TOC-nivåer vid respektive provtagningspunkt och tillfälle.

TOC-nivåerna följer samma trend som COD och BOD och påvisas märkbart endast vid 10 %- och 20 %-nivåer. Ytterligare korrelationer är svåra att tyda men en successiv sänkning av TOC-nivåer från inlopp till utlopp är en genomgående trend.

6.4. Energianvändning och effekt

För att förstå hur väl en ökad ozoneffekt resulterar i en ökad läkemedelsreducering med avseende på den energi som används vid respektive uteffekt har den totala energianvändningen för det installerade läkemedelssteget beräknats och presenteras i figuren nedan.



Figur 17. Energianvändning vid respektive reningsgrad.

Det görs tydligt att en ökad ozonerings effekt ökar energiåtgången men helt i enlighet med förväntningar, ökningen vid 10 % beror på den fasta energiåtgången som tillkommer vid körning av ett ozonsystem. Den stegvisa ökningen vid 40 och 60 % uteffekt beror ökningen på den tillkomna åtgången av att köra två ozonsystem då själva ozongeneratorerna endast har en försumbar ökning av energiåtgång vid ökad effekt.

I det fall då halterna på anläggningen är lägre än uppmätta under utvärderingsperioden och mer i enlighet med övriga svenska reningsverk så kommer med stor säkerhet anläggningen att behöva köras med endast ett ozoneringsssystem med lägre total uteffekt.

6.5. Nyckeltal

Sammanfattningsvis presenteras i Tabell 3 nedan utvalda nyckeltal för att påvisa den ökade borttagningseffekten av en ökad ozoneringseffekt samt den ekonomiska aspekten där en ökad borttagnings- och ozoneringseffekt kräver en högre energiförbrukning. Värdena är presenterade som intervall som tar standardavvikelsen från läkemedelsproverna i beaktning för att ge ett rättvist resultat.

Tabell 3. Beräknade nyckeltal för anläggningens respektive uteffekt med ett signifikansintervall baserat på den standardavvikelse som beräknats baserat på dubbelprovernas resultat.

Anläggningens uteffekt	0 %	10 %	20 %	40 %	60 %	100 %
Reningsgrad [%]	22 – 30 %	56 – 76 %	50 – 69 %	41 – 56 %	60 – 82 %	66 – 91 %
kWh/ m ³ [Renat vatten]	0,09 – 0,13	0,22 – 0,30	0,23 – 0,31	0,25 – 0,34	0,39 – 0,53	0,43 – 0,58
kWh/mg [Borttaget läkemedel]	0,038 – 0,051	0,023 – 0,032	0,028 – 0,032	0,048 – 0,065	0,049 – 0,067	0,056 – 0,077
Läkemedel/år [kg]	2,27 – 3,10	5,74 – 7,82	5,74 – 7,82	4,22 – 5,75	6,20 – 8,45	6,82 – 9,30

Notera att kWh/m³ renat vatten inte har viktats mot reningsgraden utan endast den mängden vatten som passerar reningsanläggningen.

6.5.1. Reningsgrad

Det går att se en successivt ökande trend av reningsgrad allt eftersom ozoneringseffekten ökar, det som sticker ut är resultaten vid 10 och 20 % då anläggningens läkemedelshalter var förhöjda och ger ett missvisande resultat. GAK-filtret har absorberat förhöjda mängder läkemedel vilket inte är en ekonomiskt hållbar process på sikt då kolet behöver bytas ut betydligt oftare.

Här belyser resultaten även effekten av att anläggningen dimensionerats vid tillfällen då halterna varit hälften så stora som vid utvärderingen. Trots att anläggningen haft förhöjda halter går det att vid 100 % uteffekt nå en reningsgrad på över 90 %. Hade halterna varit på förstudiens dimensionerande nivåer hade troligen nära fullständig borttagning nåtts även vid längre ozoneringseffekter.

6.5.2. Effektåtgång vid läkemedelsborttagning

I enlighet med den ökade reningseffekten ökar även kWh/mg läkemedel som elimineras i processen. Det som ska tas i beaktning är att det är först vid höga uteffekter som stora mängder läkemedel (8-9 kg/år) kan tas bort vilket gör att den lägre reningsgraden vid lägre uteffekter resulterar i stora mängder läkemedel som inte elimineras.

När istället kWh/renat vatten analyseras så observeras det att den naturligt ökar allt eftersom effekten på anläggningen ökar. Det som dock ska tas i beaktning är att med "renat vatten" så menas mängden vatten som passerar anläggningen men tar inte reningsgraden i beaktning, det innebär att vi de högre effekterna så renas mer läkemedel bort i vattnet.

6.5.3. Läkemedel som elimineras varje år

Upp till 9,3 kg läkemedel kan elimineras vid flöden på 100 m³/h vid förhöjda halter av läkemedel, detta är även bara läkemedlen som har kunnat mätas av tredjepartslaboratoriet och det är inte orimligt att anta att den faktiska siffran med alla läkemedelsrester i beaktning är mer än det dubbla värdet då antalet registrerade läkemedel i EU är cirka 3000 olika substanser (Hamrén, 2017).

7. Slutsatser och rekommendationer

7.1. Hög reningsgrad trots förhöjda halter

Trots att läkemedelshalterna var mer än dubbelt så höga under utvärderingstillfället som under den dimensionerande förstudien kan anläggningen uppnå en 90 %-ig reningsgrad vid maximal uteffekt. Därmed presterar anläggningen i enlighet med de borttagningsmål som bestämdes vid projektets start men en korrekt dimensionering hade möjliggjort att anläggningen kunde drivas på en lägre effekt och därmed inneburit energibesparingar vid drift.

7.2. Kombinerade reningstekniker ger högst effektivitet

Lägsta reningsgrad var vid körning utan ozonering, när ozoneffekten sedan successivt trappades upp följde en ökning i reningsgrad naturligt. GAK-filtret sänker halterna märkbart även vid höga ozoneringsnivåer och sammantaget visar detta på att en kombination av ozonering samt GAK-filter ger den mest effektiva reningen ur detta perspektiv.

Reningsstegen innan kolfiltret innebär att vattnet som når GAK-filtret innehåller lägre halter av läkemedel och övriga föroreningar och därmed blir även filtret mer resurseffektivt och hållbart då kolet i filtret inte behöver bytas ut i samma utsträckning vilket är den stora driftkostnaden vid rening med GAK-filter.

7.3. Rekommendationer för framtida utvärdering

De förhöjda läkemedelshalterna vid utvärderingstillfället (sommaren 2020) gentemot förstudien (mars 2019) indikerar på att det kan finnas en säsongsvariation i läkemedelsnivåer som bör tas i beaktning för att få en full förståelse av hur ingående och utgående läkemedelshalter påverkas över året samt hur anläggningens effektivitet mäts vid ett flöde som den dimensionerats mot.

8. Referenser

- Björnlenius, B. (2018). *Pharmaceuticals - improved removal from municipal wastewater and their occurrence in the Baltic Sea*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences in Chemistry, Biotechnology and Health.
- 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/>
- Johansson, E., & Engberg, E. (2018). *Ozonation of pharmaceutical residues in a wastewater - Modeling the ozone demand based on multivariate analysis of influential parameters*. Linköping: Linköping University: Department of Physics, Chemistry and Biology.
- Mattson, B., Andersson, A., & Ovesjö, M.-L. (2015). *Miljöindikatorer inom ramen för nationella läkemedelsstrategin (NLS)*. Uppsala: Läkemedelsverket.
- Naturvårdsverket. (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen - Behov, teknik och konsekvenser*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2018). *Investeringsbidrag till läkemedelsrening vid avloppsreningsverk 2018*. Hämtat från Naturvårdsverket: <http://www.naturvardsverket.se/lakemedelsrening>
- Sehlén, R., Malmborg, J., Baresel, C., Ek, M., Magnér, J., Allard, A.-S., & Yang, J. (2015). *Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten*. Linköping: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Tierps Energi & Miljö AB. (2019). *Delrapport: Implementering av fullskalig läkemedelsrening vid Tierps reningsverk*. Tierp.

9. Bilagor

9.1. Bilaga 1 – Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser

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

9.2. Bilaga 2 – Provtagningspunkter vid Tierps reningsverk



Figur 18. Provtagningspunkter "Före sandfilter" till vänster och "Efter sandfilter" till höger.



Figur 19. Provtagningspunkter "Efter ozonering" till vänster och "Efter kolfilter" till höger.