

MELLIFIQ

Slutrapport Läkemedelsrening Sorsele kommun

Datum: 2021-10-14



Innehållsförteckning

1.	Introduktion	4
2.	Bakgrund	4
2.1.	Negativa effekter av läkemedelsrester i naturen	4
2.2.	Recipient – Vindelälven.....	5
2.3.	Nuvarande reningsanläggning i Sorsele.....	6
2.4.	Totalentreprenad med Mellifiq.....	7
2.5.	Eliminering av läkemedel med ozon och GAK.....	7
2.5.1.	Ozonering.....	7
2.5.2.	GAK	8
2.5.3.	Sandfiltrering.....	8
3.	Förstudie	9
3.1.	Kartläggning av läkemedel.....	9
4.	Installerat reningssteg	10
4.1.	Skiss installerad anläggning	10
4.2.	Sandfilter - Watermaid FlexKarb™-S.....	11
4.3.	Ozonsystem - Ozonetech RENA Tellus.....	11
4.4.	GAK-filter - Watermaid FlexKarb™-C	12
5.	Metod.....	14
5.1.	Provtagning och uppehållstid.....	14
5.2.	Processparametrar och uteffekt.....	15
5.3.	Analys av vattenprover.....	15
6.	Resultat och diskussion.....	16
6.1.	Jämförelse provtagnings tillfälle 1 och 2.....	16
6.2.	Resultaterande totala läkemedelshalter.....	16
6.3.	Specifika läkemedel	17
6.4.	Läkemedel med höga halter.....	18
6.5.	Fullständig eliminering av miljöindikatorer	19
6.6.	Övriga mätparametrar.....	19
6.7.	Energikonsumtion och effekt	20
6.8.	Nyckeltal.....	21
6.8.1.	Reningsgrad.....	22

6.8.2.	Effektbehov vid läkemedelsborttagning.....	22
6.8.3.	Läkemedel som elimineras varje år.....	22
7.	Slutsatser och rekommendationer.....	22
7.1.	Hög reningsgrad trots förhöjda halter API:er	22
7.2.	Kombinerade reningstekniker ger lägst ägandeskapskostnad.....	22
7.3.	Rekommendationer vidare drift	23
8.	Referenser.....	24
9.	Bilagor.....	26
9.1.	22 läkemedel som miljöindikatorer.....	26
9.2.	Bilaga 1 – Uppmätta läkemedelsämnen och deras detektionsgränser.....	27

1. Introduktion

Sorsele kommun ansökte under våren 2019 Naturvårdsverkets anslag i syfte att implementera läkemedelsrening vid Sorsele reningsverk. Ansökan fullföljdes med syfte att rena så mycket som möjligt av dessa mikroföroreningar i full skala. Tillsammans med dedikerad partner Mellifiq har Sorsele kommun installerat och levererat ett fullskaligt läkemedelsreningssystem bestående av flertalet tekniker i kombination.

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.

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.

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.

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).

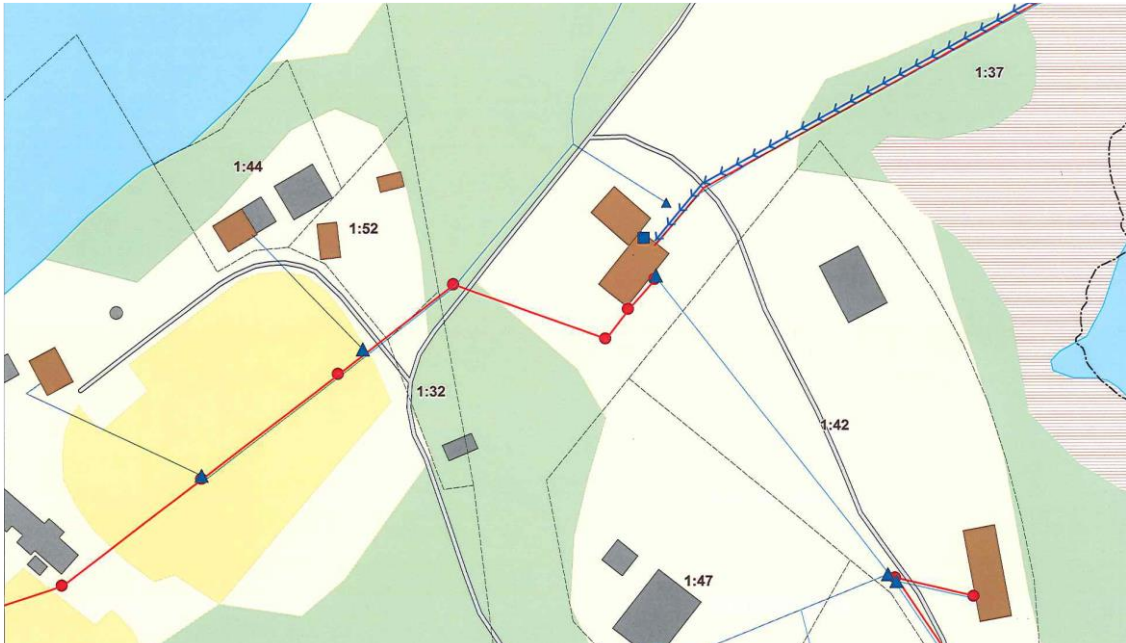
2.2. Recipient – Vindelälven

Sorseles reningsverks främsta recipient är Vindelälven. Inom kommunen finns flertalet vattenskyddsområden dit älven och efterföljande biflöden leder till, älven ligger under flertalet direktiv som "Riksintresse för Vattendrag" (Boverket, 2017) och "Fiskvattendirektivet" (Naturvårdsverket, 2002). Älven lockar nämligen årligen ett stort antal fisketurister från hela Europa, för fiske av bland annat harr, öring och sik. Det är därmed av yttersta prioritet att vatten som leds till älven och påföljande känsliga vattendrag renas från mikroföroreningar där främst läkemedelsämnen är i fokus, nedan i Figur 1 visas reningsverkets geografiska plats i förhållande till ovannämnda vattendrag.



Figur 1. Vy över Sorseles avloppsreningsverk med omnejd, markerat med rött ses utloppspunkten till Vindelälven.

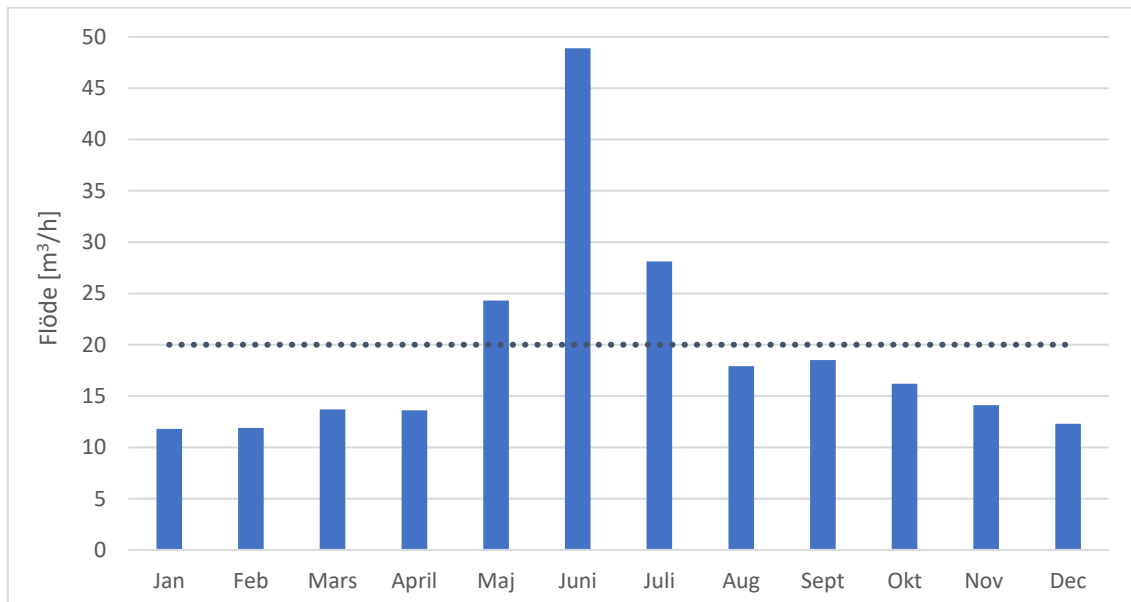
I **Fel!** Hittar inte referenskälla. nedan finns inkommande vatten markerat med blå linje samt det utgående, mot Vindelälven, markerat med röda linjer samt utmarkerade punkter för tillkopplade brunnar. Stora delar av vattendragen har bedömts som känsliga mot miljögifter, varav diklofenak, liksom andra läkemedelssubstanser är i hög grad bioackumulerande. En fullständig rening av läkemedelsrester kommer leda till en stor reducering av dess skadliga miljöpåverkan.



Figur 2. Sorseles reningsverk med tillhörande rörsystem för ingående samt utlöpande vatten utmarkerade med blåa respektive röda streck

2.3. Nuvarande reningsanläggning i Sorsele

Sorsele reningsverk består av ett mekaniskt och ett kemiskt reningssteg och saknar idag ett biologiskt reningssteg. Reningsverkets flöde varierar beroende på dagvattenflöden och årstider. Det genomsnittliga vattenflödet är 16 m³/h och verket är dimensionerat för 2 000 PE.



Figur 3. Vattenflödet genom reningsverket utspritt över ett år där genomsnittligt flöde är utmarkerat med streckad linje.

I Figur 4 ovan presenteras vattenflödets variation över året, den markanta toppen under sommarmånaderna beror på smältvatten. Systemet för läkemedelsrening är dimensionerat för att hantera hydraulisk kapacitet för samtliga årstidsbundna flödesvariationer men har även inbyggda funktioner för breddning vid behov.

2.4. Totalentreprenad med Mellifiq

Sorsele kommun har genomfört implementationen av läkemedelsreningen tillsammans med dedikerad partner Mellifiq. Mellifiq besitter nödvändiga specialistkunskaper och erfarenheter inom läkemedelsrening. Systemet består av ozonering och aktivt kol som huvudsakliga reningsmetoder. Sorsele kommun har även valt att komplettera denna rening med sandfilter uppströms och kolfilter nedströms från ozoneringen.

I korthet består den fullskaliga reningen av:

- 1) Pumpning av renat vatten efter slutsedimentering till Mellifiq's sandfilter Watermaid FlexKarb™-S
- 2) Pumpning vidare till ozoneringssystem bestående av ett skräddarsytt ozonsystem, Ozonotech RENA Tellus
- 3) Slutsteg bestående av Mellifiqs slutpolering med Watermaid FlexKarb™-C

Projektet startade i juni 2020 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 kartläggning över dagens läkemedelshalter och övriga föroreningshalter (BOD, COD och TOC) utförts genom hela reningsprocessen. Denna projektering beskrivs i delrapporten från hösten 2020 som innefattar förstudien och Mellifiqs pilotprojekt som ligger bakom dimensionering av anläggningen.

Slutligen har anläggningens dimensionerats för erforderlig läkemedelsreningskapacitet med avseende på läkemedel 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 sideeffekter eller restprodukter. En effektiv ozonproduktion är energisnål och sker utan farliga restprodukter och kan därför motiveras vara miljövänlig (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). För installationer i denna skala krävs högprestanda ozonsystem med syrgasmatade ozongeneratorer, säkerhetsfunktioner, inlösningmekanism samt avancerad automation.

2.5.2. GAK

Filter med granulerat aktivt kol används frekvent vid vattenrengöring då dessa på ett effektivt sätt kan adsorbera föroreningar av flera slag med en tydlig nackdel i att kolet i filtren behöver bytas kontinuerligt rakt linjärt mot den mängd som kolet har adsorberat. 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 adsorption 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).

2.5.3. Sandfiltrering

Beroende på lokala förutsättningar såsom vattenkvalitet in läkemedelsreningsystemet bör sandfilter alltid övervägas, särskilt i kommunala reningsverk som saknar ett biosteg. Ett sandfilter skyddar nedströms reningssteg från oönskade partiklar som dels påverkar oxidationsprocessen samt ökar sannolikheten för igensättning av kolfilter. Vid eventuella driftproblem och underhåll i reningsverkets mekaniska rening och utfällningssteg kan driftstopp i läkemedelssystemet undvikas. Då Sorsele kommuns reningsverk saknar ett biosteg integrerades sandfilter som ett nödvändigt förfilter.

3. Förstudie

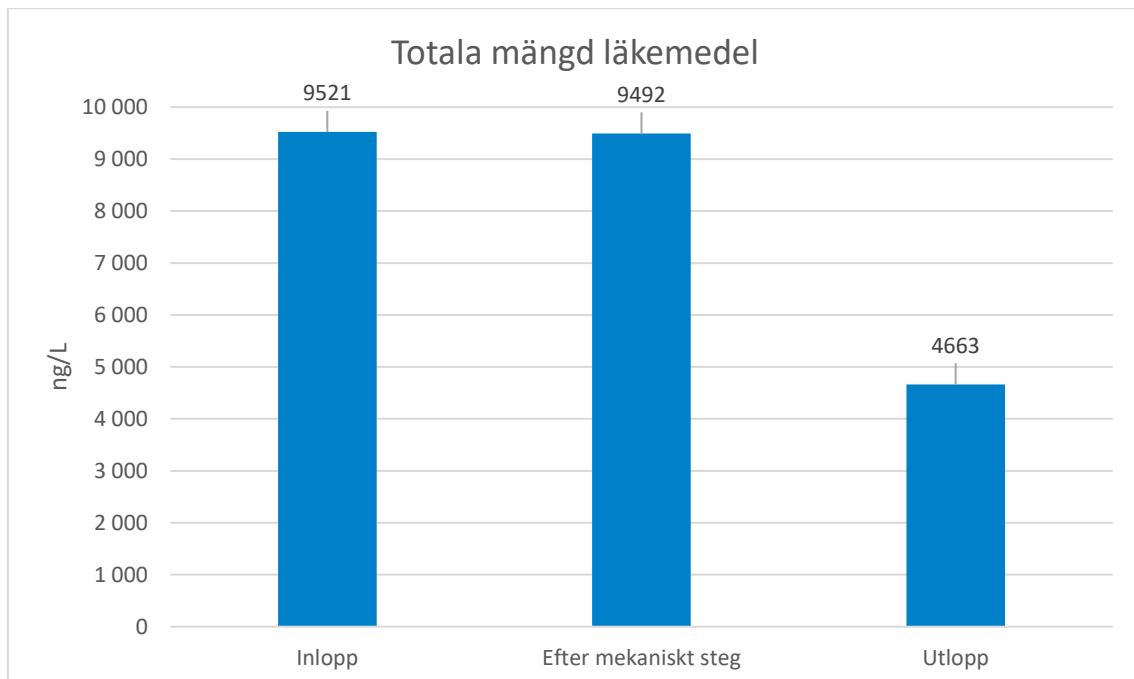
Under hösten 2020 presenterades en förstudie bestående av en fullständig kartläggning av läkemedelshalterna i nuvarande anläggning samt en rening av läkemedel i pilotskala utförd av Mellifiq.

3.1. Kartläggning av läkemedel

Kartläggning av läkemedelshalterna indikerade i förstudien att Sorsele reningsverk genom en ögonblicksbild renar cirka 51 % av totala mängden läkemedel bortsett från paracetamol. Det skall tilläggas att paracetamol, som står för den större delen av läkemedel från svenska reningsverk tas bort fullständigt men endast 51 % av övriga läkemedelsrester.

Vid tidpunkten för genomförandet av förstudien mättes totalt 4663 ng/L efter slutsedimentering. Det resulterar i cirka 1,26 kg mätbara aktiva substanser årligen från Sorsele reningsverk, förutsatt att massflödet av läkemedel är ungefär detsamma över hela året. Notera att den faktiska mängd aktiva läkemedelssubstanser är betydligt högre då bara en fraktion av alla substanser kan mätas med dagens mättekniker.

Det är denna totala koncentration som det installerade systemet dimensionerades efter med vision om fullständig borttagning med en målsättning på 80 % reningsgrad vid drift i full skala.



Figur 4. Total mängd uppmätta läkemedelssubstanser vid respektive provpunkt under förstudie hösten 2020.

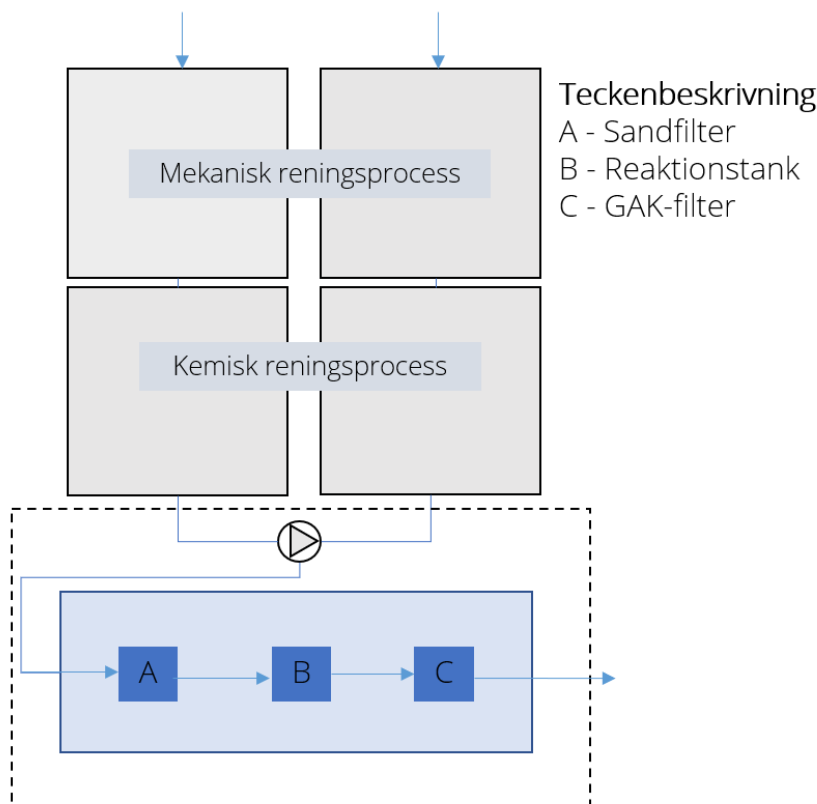
4. Installerat reningssteg

Mellifiq har under slutet av 2020 och början av 2021 levererat en reningsanläggning i syfte att fullständigt eliminera läkemedelsresterna från Sorsele reningsverk. Denna anläggning består av Mellifiqs systemlösning för vattenrening med flera tekniker i kombination. Mellifiq har ansvarat för samtliga projektfaser:

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

4.1. Skiss installerad anläggning

Nedan i Figur 5 presenteras en planskiss över hur den installerade anläggningen integreras i reningsverket där ett flödesschema över vattnets gång genom läkemedelsreningen representeras av blåa pilar. Den utritade streckade linjen markerar systemgräns för den installerade reningsanläggningen, där pumpning av vatten från reningsverket är första steget.



Figur 5. Planskiss över läkemedelsreningen och dess integration med reningsverket, vattenflödet representeras av blåa pilar.

4.2. Sandfilter – Watermaid FlexKarb™-S

En Mellifiq Watermaid FlexKarb™-S sandfiltertank är anläggningens första steg, vars syfte är att eliminera större partiklar och lösa upp läkemedel som kan vara bundet tillsammans med dessa partiklar för att möjliggöra så stor reningsgrad som möjligt genom efterföljande reningssteg.

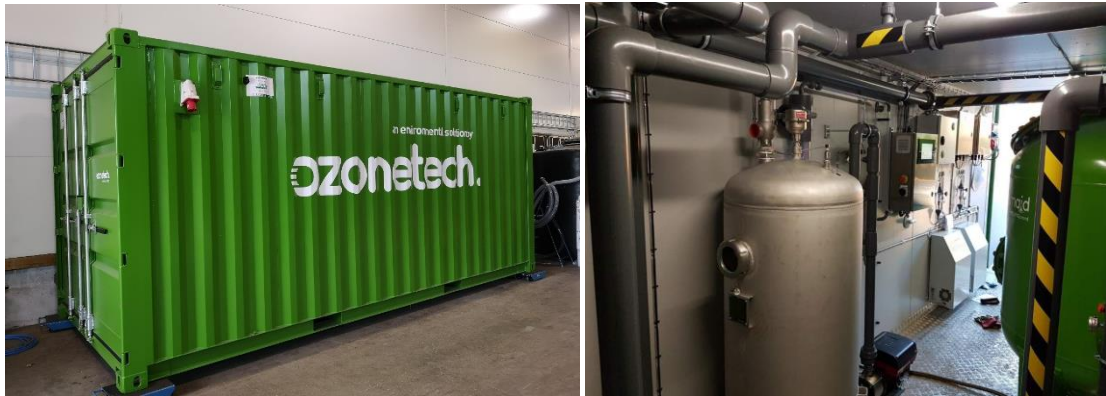
Sandfiltret använder Mellifiqs egna SPor™ som media för maximerad livslängd och prestanda.



Figur 6. Installerad Watermaid FlexKarb™-S sandfilter vid anläggningens inlopp (första tanken i bild).

4.3. Ozonsystem – Ozonetech RENA Tellus

Mellifiq har levererat Ozonetech RENA Tellus som är en skräddarsydd lösning för ozonering. Samtliga parameterar kan anpassas efter syfte och i detta fall har anläggningen dimensionerats efter förstudien resultat vilket visade en total *mätbar* läkemedelsmängd på 1,2 kg/år vid 20 m³/h.



Figur 7. Exteriör på containerlösning med integrerad Ozonotech RENA Tellus inför installation vid Sorsele reningsverk samt ozonsystem.



Figur 8. Interiör i installerade containrar i anläggningen. På bilden syns två ICT-80 generatorer samt sandfiltertank i förgrund.

4.4. GAK-filter – Watermaid FlexKarb™-C

Som slutgiltigt reningssteg har Mellifiq installerat ett Watermaid FlexKarb™-C GAK-filter med AdPor™-media. GAK-filtrets huvudsakliga funktion är att agera som skyddsnet för att se till att de läkemedel som inte eliminerats av ozonering tas hand om samt adsorbera eventuella transformationsprodukter.

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 kolfiltret och därmed en anläggning med lägre driftskostnad och underhållsbehov.



Figur 9. Installerat Watermaid FlexKarb™-C GAK-filter vid anläggningens sista reningssteg och utlopp.

5. Metod

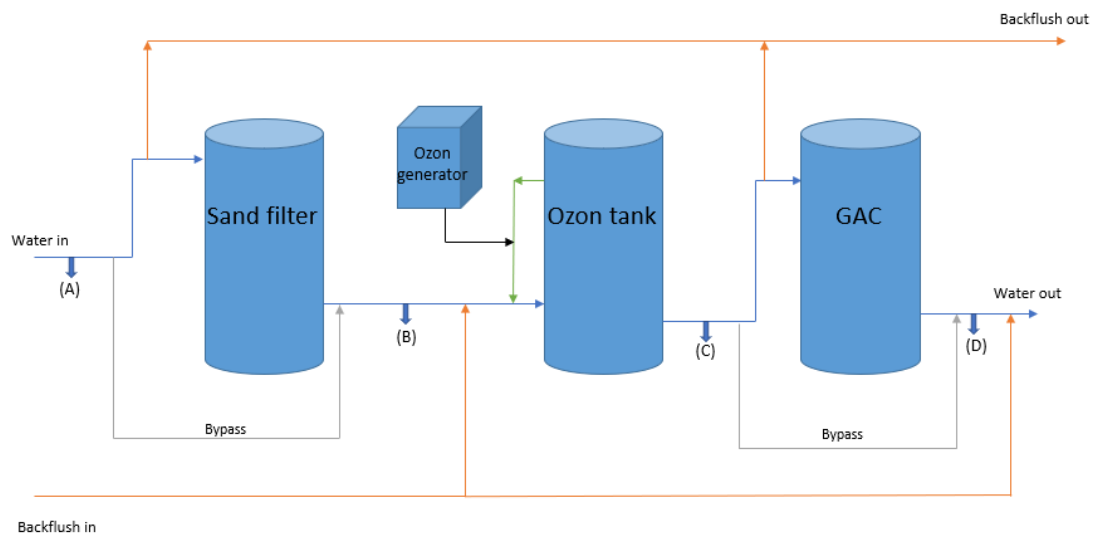
Under maj och juni 2021 utfördes en utvärdering av det installerade läkemedelssteget. Denna utfördes av partner Mellifiq och innebar sex besök vid reningsverket där prover togs med följande variabler:

- COD
- TOC
- DOC
- Läkemedelshalter

Det första provtagningstillfället, i maj månad, gjordes med uteffekter på 50 % och 100 %. Vid provtagningstillfälle två togs prover vid tre olika uteffekter, 50 %, 75 % samt 100 %. Denna rapport presenterar en jämförelse mellan provtagningstillfälle ett och två, se avsnitt 6.1. Resterande resultat som presenteras i denna rapport är från provtagningstillfälle två.

5.1. Provtagning och uppehållstid

Nedan presenteras en övergripande schematisk bild över installerade läkemedelssteget vid Sorsele reningsverk där proverna har tagits, provtagningspunkterna (A) - (D) är utmärkta. Vattenflödet passerar igenom anläggningen först genom sandfilter Watermaid FlexKarb™-S, till ozonsystemet Ozonotech RENA Tellus, där vattnet cirkuleras med injekterad ozon, vidare till aktivt kolfilter Watermaid FlexKarb™-C, och slutligen ut ur reningsverket.



Figur 10. Schematisk bild över rening med ozon + GAK med ut markerade provtagningar (A) till (D). Blå pil indikerar vattenflödets riktning, orange linje indikerar ledning för backspolning. Grön linje är recirkulation för ozontank och svart linje symboliserar tillförsel av ozon till systemet. Grå linjer symboliserar möjlighet för bypass av steg i processen.

För att få ett så precist mätresultat som möjligt vill man försöka ta prover från "samma" volym av vatten vid varje provtagning. Därför har uppehållstiden mellan varje provtagningspunkt beräknats och därmed har det uppstått en väntetid mellan provtagningarna i respektive punkt, helt i enlighet med rekommenderad provtagningsmetod (Goralski, 2019). Upphållstiden är baserad på ett flöde på 15 m³/h vilket var det konsistenta flödet vid alla provtagningar.

Tabell 1. Provplatser och uppehållstider

Provplats	Upphållstid
A - B	2 min
B - C	1,5 min
C - D	2 min
A - D	5,5 min

Proverna har tagits med upprepning vid samtliga tillfällen i syfte att säkerställa den statistiska signifikansen av slutliga resultaten och att rätt slutsatser dras. 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 provtagningstillfälle:

Tabell 2. Parametrar vid respektive provtagningstillfälle.

Provtagning	1	2	3
Uteffekt [%]	50	75	100
Vattenflöde [m ³ /h]	16	16	16

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 50 %, 75 % och 100 % uteffekt.

Vattenflödet behölls konstant vid 16 m³/h för att ge konsekventa resultat och minska potentiella felkällor till utvärderingen av anläggningen.

5.3. Analys av vattenprover

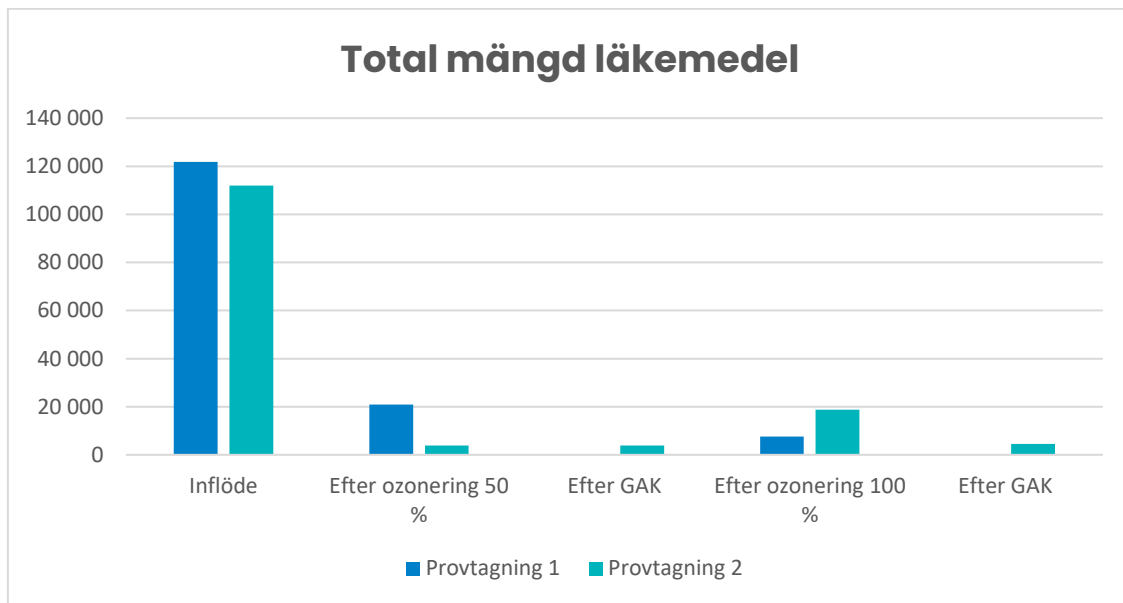
Läkemedelsproverna skickades till en extern part som utför läkemedelsanalyser med ett resulterande spektrum på 93 aktiva läkemedelssubstanser. Alla läkemedel som mäts och deras detektionsgränser presenteras i Bilaga 1.

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

6. Resultat och diskussion

6.1. Jämförelse provtagnings tillfälle 1 och 2

Den totala mängden läkemedel mellan provtagningsstillfället i maj respektive juni är förhållandevis liten. Läkemedelsreduceringen följer tämligen samma mönster vid de olika provtagningsarna. Den totala mängden är högre vid sista reningssteget vid provtagningsstillfälle två och anledningen till detta kan vara att kolet i filtret är mättat behöver därmed bytas ut.

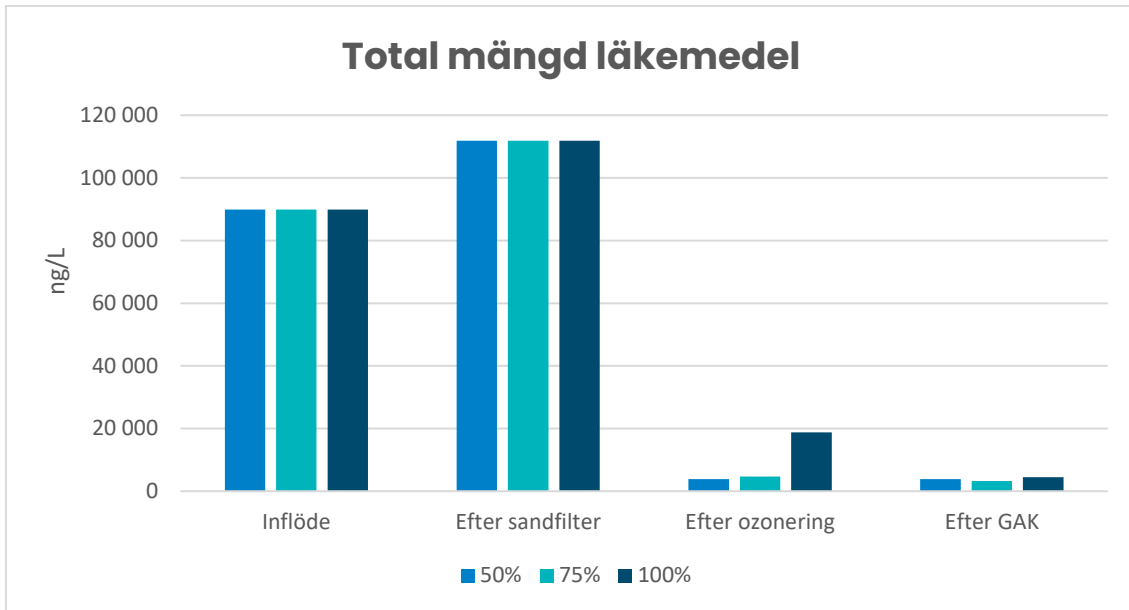


Figur 11. Total mängd läkemedel vid respektive reningssteg och provtagningsstillfälle.

6.2. Resultande totala läkemedelshalter

Resultatet från tredje part visade att 27 av 93 aktiva ämnen återfanns i utloppsvattnet från Sorsele reningsverk vid det andra provtagningsstillfället och den totala snittmängden på ca 112 µg/L. Den totala mängden läkemedel över ett år från Sorseles reningsverk in till reningsanläggningen beräknas till ca 15 kg. Till skillnad från tillfället då prover togs för förstudierapporten 2020 återfanns höga halter paracetamol.

Grafen nedan i Figur 12 visar läkemedelshalterna vid varje provtagning och varje provtagningspunkt vid respektive enhetsoperation.

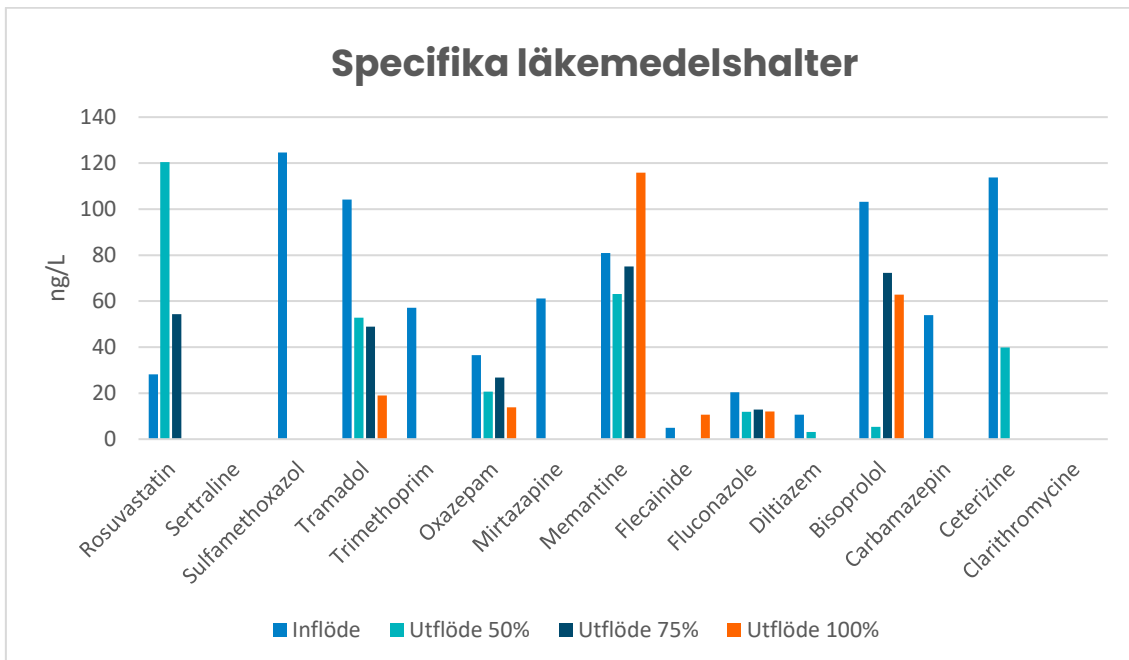


Figur 12. Total mängd uppmätta läkemedelssubstanser vid respektive provpunkt och olika uteffekter.

Det skall noteras att enbart en läkemedelsanalys genomfördes vid inflöde till reningsanläggningen samt enbart en efter sandfiter. Därav är inte halterna som resultat av olika uteffekt av ozon exakt jämförbar.

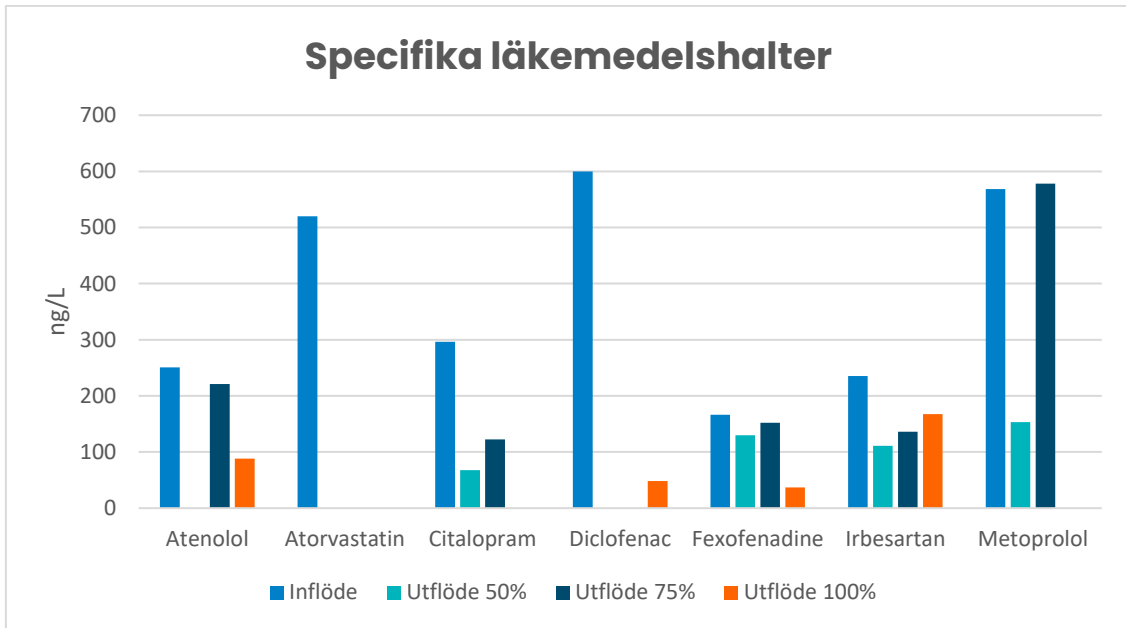
6.3. Specifika läkemedel

Diagrammen nedan illustrerar specifika läkemedelshalter vid inlopp respektive utlopp vid olika uteffekter.

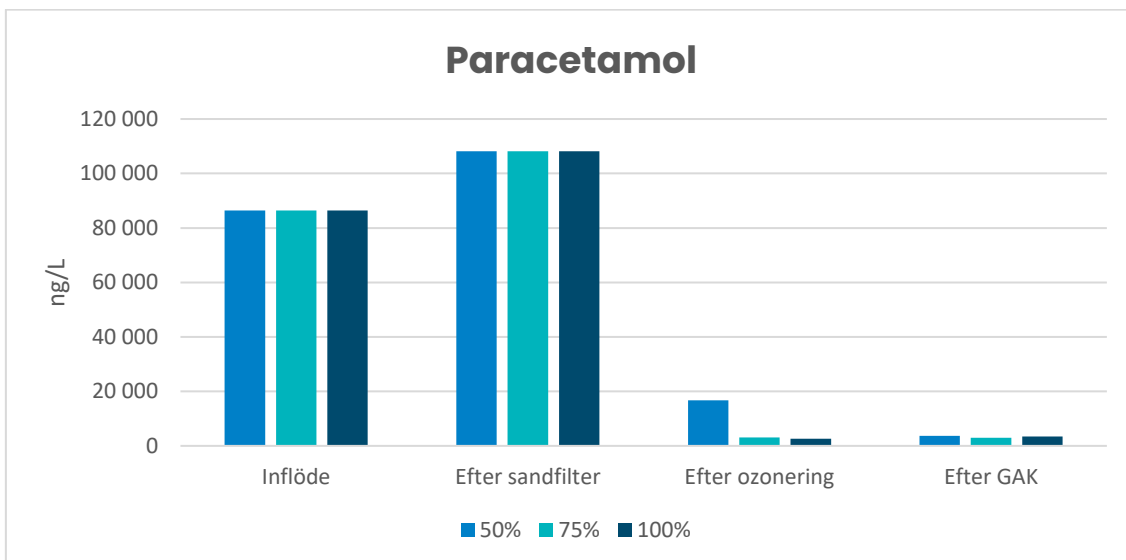


Figur 13

Figur 14. Total mängd specifika läkemedelshalter för halter 5–150 ng/L vid olika uteffekter



Figur 14. Total mängd specifika läkemedelshalter för halter 150–600 ng/L vid olika uteffekter.



Figur 15. Mängd paracetamol vid olika uteffekter vid respektive reningssteg.

6.4. Läkemedel med höga halter

Paracetamol står för 96 % av den totala halten läkemedel i ingående vattenflöde. De 6 ämnen med högst halt, Paracetamol exkluderat, står för 57 % av den totala mängden. Substanserna med högst halt samt deras huvudfunktion listas nedan i storleksordning:

- 1) **Paracetamol:** Smärtstillande
- 2) **Diclofenac:** Antiinflammatoriskt läkemedel
- 3) **Metoprolol:** Minskat blodtryck
- 4) **Atorvastatin:** Sänkt kolesterol

- 5) Citalopram: Antidepressiv
- 6) Tramadol: Smärtstillande
- 7) Rosuvastatin: Sänkt kolesterol

Sex av dessa läkemedel eliminerades under detektionsgräns vid ozonering och flöde genom GAK-filter.

6.5. Fullständig eliminering av miljöindikatorer

Sammantaget 8 läkemedel av de 22 som Läkemedelverket rekommenderar som miljöindikatorer (Se bilaga 1) återfanns i nivåer över detektionsgräns vid provtagningen och i Tabell nedan presenteras ingående halt av dessa, eftersom utgående halten är under detektionsgränsen kan det konstateras att reningsgraden är fullständig eller nära fullständig.

Tabell 3. De 9 av Läkemedelsverkets 22 indikatorläkemedel som kunde uppmätas under provtagningen.

Substans	Ingående halt (ng/L)	Utgående halt (ng/L)
Diklofenac	600	<LOQ
Trimetoprim	57	<LOQ
Metoprolol	569	<LOQ
Citalopram	297	<LOQ
Tramadol	104	<LOQ
Oxazepam	37	12
Paracetamol	86 396	3459
Sertraline	80*	<LOQ

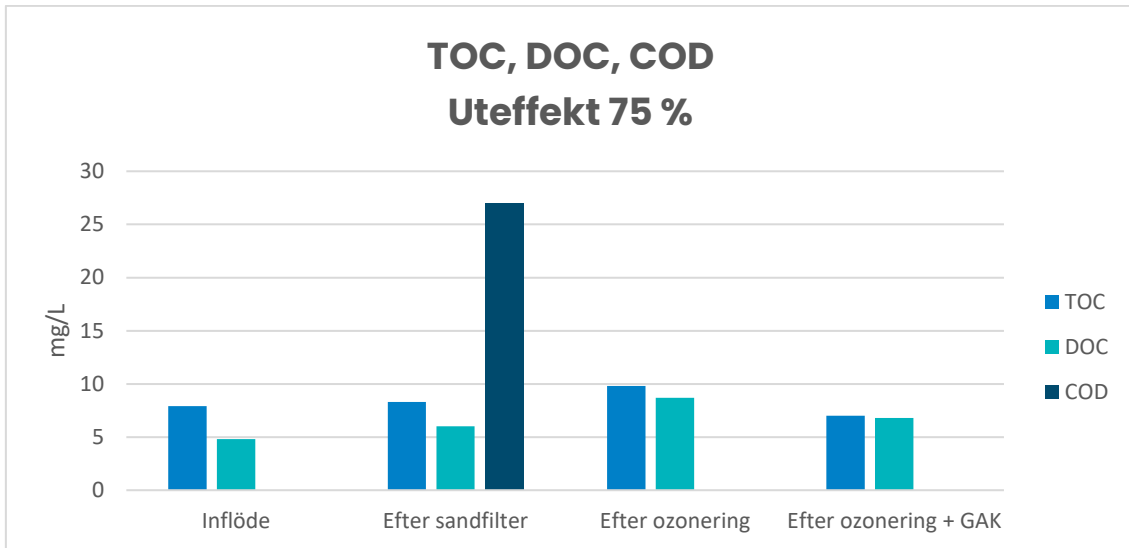
*Sertraline påvisades ej under analys av inkommande inflöde men uppvisade denna halt efter sandfilter.

Av detta kan det avläsas att anläggningen i genomsnitt renar cirka 96 % av indikatorläkemedlen (enligt beräknad mätosäkerhet).

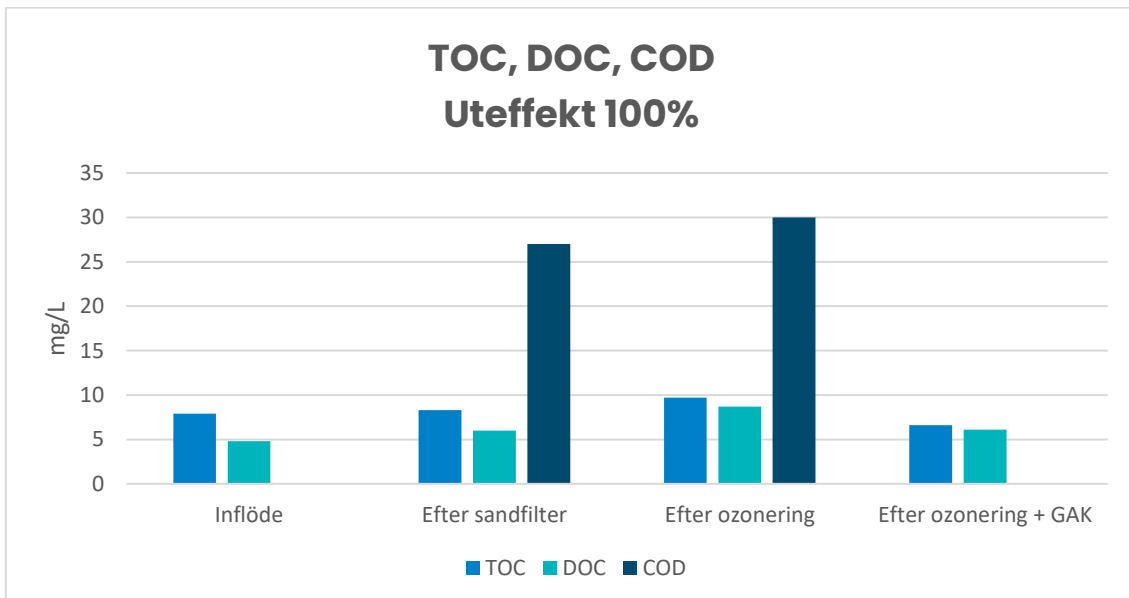
Tre av fem ämnen från Svenska Miljöinstitutets högrisk-läkemedel återfinns i provresultatet (oxazepam, metoprolol och trimetoprim) där två av de tre ämnena fullständigt renas i reningsprocessen.

6.6. Övriga mätparametrar

Utöver läkemedelshalter togs prover på TOC vid första provtagningstillfället och TOC, COD och DOC vid det andra. 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. Nedan presenteras diagram för TOC, DOC samt COD vid 75 % respektive 100 % uteffekt.



Figur 16. TOC-, DOC-, COD-nivåer vid provtagningstillfälle uteffekt 75 %.



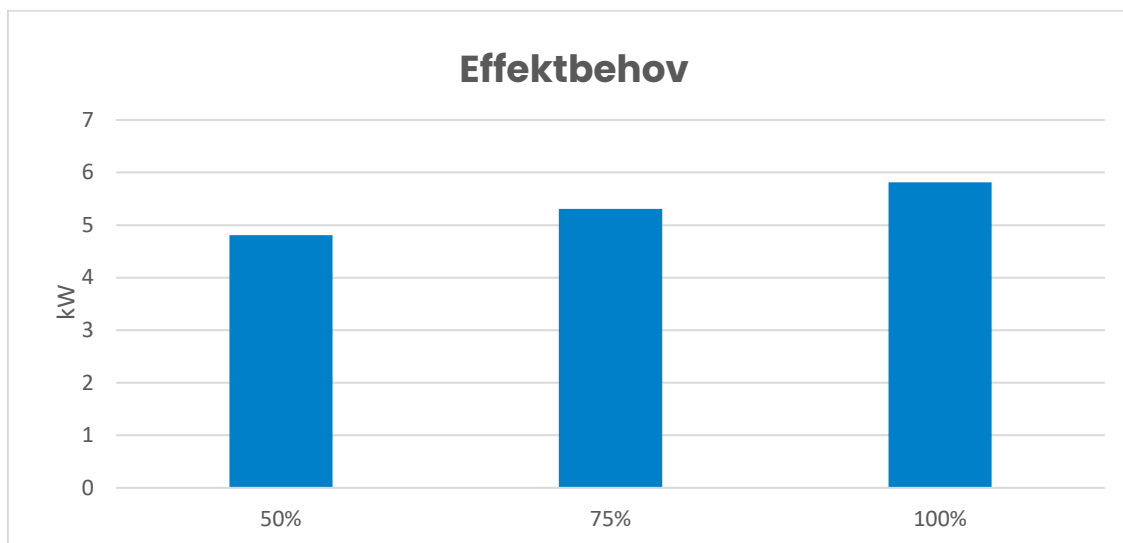
Figur 17. TOC-, DOC-, COD-nivåer vid provtagningstillfälle 2, uteffekt 100 %.

Samtliga halter minskar över kolfiltret, Watermaid FlexKarb™-C, vilket ger en indikation på att den installerade anläggningen i Sorsele fungerar som planerat vid normal drift. COD-nivåerna ökar efter sandfilter, anledningen till detta är möjligen att tidigare bundna partiklar löses upp, dock ser man tydligt att nivåerna minskar under detektionsgräns vid sista reningssteget.

6.7. Energikonsumtion 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.

Effektbehovet har beräknats genom att summera behovet för vardera komponenten i systemet, specifikt krävande komponenter är ozonsystemet med syrgas- och ozongeneratorer, pumpar och kylsystem.



Figur 18. Effektbehov vid respektive uteffekt.

Notera att Figur 18 avspeglar total ineffekt (faktiskt energiförbrukning) vid drift, inklusive samtlig apparatur och matarpump. Läkemedelsanläggningen kommer årligen att förbruka cirka 48 MWh.

6.8. Nyckeltal

Sammanfattningsvis presenteras nedan utvalda nyckeltal för att påvisa reningsgrad vid de olika ozonerings effekterna samt den ekonomiska aspekten där en ökad ozonerings effekt kräver en högre energiförbrukning.

Tabell 4. Beräknade nyckeltal för anläggningens respektive uteffekt med ett signifikansintervall baserat på den standardavvikelse som beräknats baserat på dubbelprovernas resultat.

Anläggningens uteffekt	50 %	75 %	100 %
Reningsgrad [%]	96 %	96 %	95 %
kWh/m ³ [Renat vatten]	0,30	0,33	0,36
kWh/g [Borttaget läkemedel]	3,48	3,83	4,26
Läkemedel/år [kg]	12,1	12,1	12,0

Notera att kWh/m³ inte har viktats mot reningsgraden utan endast den mängden vatten som passerar reningsanläggningen. Notera även att läkemedelsanalyserna är föremål för dels mätnoggrannhet och variationer då provtagningar togs med tidsintervall.

6.8.1. Reningsgrad

Ingen påvisbar differens kan påvisas med avseende på total reningsgrad av läkemedel mellan de olika uteffekterna.

6.8.2. Effektbehov vid läkemedelsborttagning

Vid analys av kWh/m³ renat vatten 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.

6.8.3. Läkemedel som elimineras varje år

Genom resultaten i denna rapport kan det konstateras att Mellifigs skräddarsydda lösning renar nästan samtliga mätbara halter läkemedel som inte renas i Sorele reningsverks mekaniska och kemiska steg.

Upp till 12 kg läkemedel kan elimineras vid flöden på 16 m³/h, detta är beräknat utifrån de läkemedlen som kunde 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 API:er

Anläggningen överträffar de reningsmål som definierades vid projektets start. Trots att de totala halterna var mer än 20 gånger så höga som vid projektets inledande förstudie (som även var grunden för dimensioneringen) överskreds reningsmålen med 16%-enheter jämfört med de generella målen om 80% rening.

Det rekommenderas inte att, baserat på resultaten i denna rapport, att anläggningen behöver eller bör drivas på mer än 50% uteffekt avseende ozonering. Det är dock positivt att anläggningen besitter kapacitetsredundans för framtida behov.

7.2. Kombinerade reningstekniker ger lägst ägandeskapskostnad

När ozoneffekten successivt trappades upp följde en ökning i reningsgrad. Det aktiva kolfiltret Watermaid FlexKarb™-C sänker halterna märkbart även vid höga ozoneringsnivåer och sammantaget visar detta på att en kombination av ozonering samt GAK-filtret ger den mest effektiva reningen ur detta perspektiv.

Reningsstegen innan kolfiltret minskar halter av läkemedel och övriga föroreningar i vattnet som når GAK-filtret vilket gör att filtrets livslängd ökar vilket i sin tur leder till att

kolet i filtret inte behöver bytas ut i samma utsträckning. Därmed minskas även GAK-filtrets driftkostnader i kombination med ozon.

7.3. Rekommendationer vidare drift

Resultaten av projektet är över förväntan. Då anläggningen är en permanent läkemedelsanläggning kommer normal skötsel och underhåll att krävas för att bibehålla de höga reningsresultaten samt utvärderas kontinuerligt flertalet gånger årligen med hjälp av vidare läkemedelsanalyser. Över tid kommer filtermedia att bytas ut och mekaniska slitdelar att underhållas samt nödvändiga sensorer och säkerhetsutrustning.

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.
- Boverket. (den 16 Oktober 2017). *Riksidressen enligt kap 4 Miljöbalken*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/riksidressen/riksidressen-enligt-4-kap-mb/>
- 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. (2002). *Naturvårdsverkets förteckning över fiskvatten som ska skyddas enligt förordningen (2001:554) om miljö kvalitetsnormer för fisk- och musselvatten*. Naturvårdsverket.
- 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.

9. Bilagor

9.1. 22 läkemedel som miljöindikatorer

Läkemedel	Beskrivning
Ciprofloxacin	Persistent, påvisad resistensutveckling i miljön
Citalopram	Har hittats i fisk, dricksvatten, PBT 9, relativt stor användning
Clarithromycin	Watch List enligt EU:s ramdirektiv för vatten
Diklofenak	Watch List enligt EU:s ramdirektiv för vatten, har hittats i dricksvatten och råvatten, toxicitet vid relevanta halter
Erytromycin	Watch List enligt EU:s ramdirektiv för vatten
Estradiol	Watch List enligt EU:s ramdirektiv för vatten, medelhög miljörisk i FASS, toxicitet vid relevanta halter
Etinylestradiol	Watch List enligt EU:s ramdirektiv för vatten, hög miljörisk i FASS, toxicitet vid relevanta halter
Flukonazo	Har hittats i slam, ytvatten och dricksvatten
Ibuprofen	Ibuprofen - Stor användning, stor andel receptfritt, har hittats i ytvatten
Karbamazepin	Stor användning, stor andel receptfritt, har hittats i ytvatten
Ketokonazol	Har hittats i slam, problematiska beredningsformer (t.ex.schampo)
Levonorgestrel	Starkt bioackumulerande, PBT 9
Losartan	Stor användning
Metoprolo	Stor användning, har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam
Metotrexat	Okänd miljöpåverkan/förekomst, cytostatikum som används i hemmet
Naproxen	Har hittats i dricksvatten och ytvatten, ökning (då den ofta ersätter diklofenak)

Oxazepam	Har hittats i dricksvatten, ytvatten och fisk. Toxicitet vid relevanta halter
Sertralin	Medelhög risk i FASS, har hittats i ytvatten, fisk och slam
Sulfametoxazol	Har hittats i dricksvatten och ytvatten
Tramadol	Har hittats i dricksvatten och ytvatten
Trimetroprim	Stor användning, har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam
Zolpidem	Har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam

9.2. 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