

Förstudierapport - Vakin

Läkemedelsrening vid Öns och Flurkmarks avloppsreningsverk



Flurkmarks reningsverk.

1. Introduktion

I maj 2019 ansökte Vatten och Avfallskompetens i Norr (Vakin) om anslag från Naturvårdsverket för genomförandet av ett förstudieprojekt för läkemedelsrening vid Öns och Flurkmarks avloppsreningsverk. Målet med förstudieprojektet är att erhålla tillräcklig information och kunskap om olika reningstekniker för läkemedelsrening för att besluta om vilken metod som lämpar sig bäst för fullskalig rening av läkemedel på Öns reningsverk.

Vakin genomför tillsammans med samarbetspartnern Ozonetech en utvärdering av flertalet reningstekniker för läkemedelsrening genom att implementera ett fullskaligt reningssteg för läkemedelsreduktion på det mindre reningsverket Flurkmark. Det nya fullskaliga reningssteget är dimensionerat för ett flöde på 16 m³/h, vilket är baserat på ett årsmedelvärde genom reningsverket. Anläggningen kommer att utvärdera metoderna granulärt aktiverat kol (GAC), biologiskt aktiverat kol (BAC), ozonering samt avancerad oxidationsprocess (AOP) med ozonering i kombination med väteperoxid och UV. Det fullskaliga reningssteget kommer att driftsättas under början av 2020. Som projektpartner besitter Ozonetech nödvändiga specialistkunskaper och erfarenheter inom olika metoder för läkemedelsrening.

Under arbetet med förstudien har en kartläggning av läkemedelshalterna i de olika processtegen på båda reningsverken samt i närliggande recipienter genomförts. Vidare har även en pilotstudie i liten skala genomförts med vatten från utgående flöde från både Öns och Flurkmarks reningsverk. Resultatet från kartläggningen och den mindre pilotstudien kommer ligga till grund för nästa del av projektet - dimensionering av ett komplett fullskaligt reningssteg för läkemedelsrening på Flurkmarks reningsverk. Fördelen att implementera ett fullskaligt reningssteg på Flurkmark är att det är mindre i storlek vilket innebär att hela utflödet kan behandlas.

Sista delen av projektet kommer att genomföras under år 2020 och består av installation och driftsättning av det fullskaliga reningsverket samt en utvärdering av den fullskaliga reningsprocessen. Det fullskaliga reningssteget på Flurkmark kommer att fungera som ett objekt för en fullskalig förstudie där de olika reningsteknikerna kommer att utvärderas.

Resultatet från projektet kommer att ligga till grund för en fullskalig implementering av läkemedelsrening vid Öns reningsverk, något som förväntas ske inom en närmare tidsperiod. Denna förstudierapport presenterar den kartläggning som gjorts av bland annat läkemedel på reningsverken samt resultaten från flertalet pilotstudier som genomförts i mindre skala.

2. Bakgrund

Umeå är en kommun som ständigt växer och kommunens vision är att nå 200 000 invånare år 2050. Öns reningsverk är det reningsverk som tar hand om merparten av avloppsvattnet i Umeå kommun. Reningsverket ligger beläget på en ö i Umeälven i centrala Umeå, se Figur 1. På avloppsreningsverket behandlas avloppsvatten från drygt 100 000 personer och det tar även emot läkemedelsrester från Norrlands universitetssjukhus, det största sjukhuset i Norrland. En intern studie har visat att sjukhusets bidrag till läkemedelshalterna svarar för mindre än 10% av den inkommande läkemedelshalten, vilket har verifierats av andra studier (Gryaab rapport 2012:2). Utloppet från Öns reningsverk leder till den delvis Natura

2000-klassade Umeälven, vilket är den recipient som främst berörs av utsläpp. Med ökande miljökrav och miljöförändringar är striktare åtgärder nödvändiga för att förebygga utsläpp av läkemedelsrester och även andra mikroföroreningar.



Figur 1. Satellitbild över Öns reningsverk i Umeå med tillhörande omnejd. Öns ARV är markerat i rött.

Flurkmark är det reningsverk som valts som ett första steg för implementering av fullskaligt reningssteg för rening av läkemedel. Utloppet från Flurkmarks reningsverk leder till Fällforsån, se Figur 2, som flyter samman med Tavelån cirka 15 km nedströms. Dessa är de recipienter som främst berörs av utsläppen från reningsverket. Tavelån är känslig för lågvattenflöden och är idag hem för den utrotningshotade arten flodpärlmusslan. Vattenkvaliteten hos utloppet från reningsverket förväntas förbättras som ett resultat av installation av ytterligare ett reningssteg.



Figur 2. Vy över Flurkmarks reningsverk med omkringliggande natur. Utsläppspunkten i Fällforsån är markerat i rött.

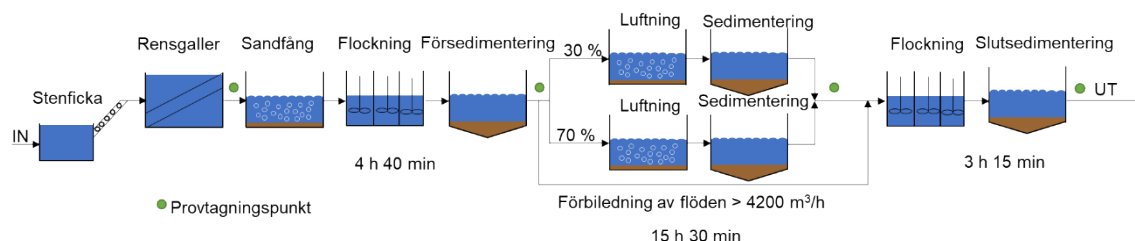
3. Kartläggning av reningsverk och recipienter

I projektets första fas genomfördes en kartläggning av läkemedelshalterna både Öns och Flurkmarks reningsverk samt närliggande recipienter med hjälp av projektpartner Ozonetech. Analys av 101 läkemedel har genomförts av tredje part, Umeå Universitet med online solid phase extraction LC-MS/MS. Metoden har en mätosäkerhet på cirka 10–15%. En tabell med alla analyserade läkemedel återfinns i appendix A. En mätning av av COD (kemisk syreförbrukning)-halten gjordes även på dygnsproverna från respektive

reningsverk. Vidare, analyserades även halten PFOA (Perfluoroktansyra) och PFOS (Perfluoroktansulfonsyra) i inkommande och utgående flöde hos de båda reningsverken. Analysmetoden har en mätosäkerhet på 27%. Vid kartläggningen av verken togs ett dygnsprov i de olika processtegen vilket ger en ungefärlig bild av hur halterna läkemedel, COD, PFOA och PFOS varierar i de olika processtegen. Variationer är även möjliga beroende på årstider, nederbörd, veckodag och så vidare. Därför ska resultaten ses som en indikation på halterna i de olika processtegen och inte som den faktiska halten.

3.1. Kartläggning av halten läkemedel, COD, PFOA och PFOS på Öns reningsverk

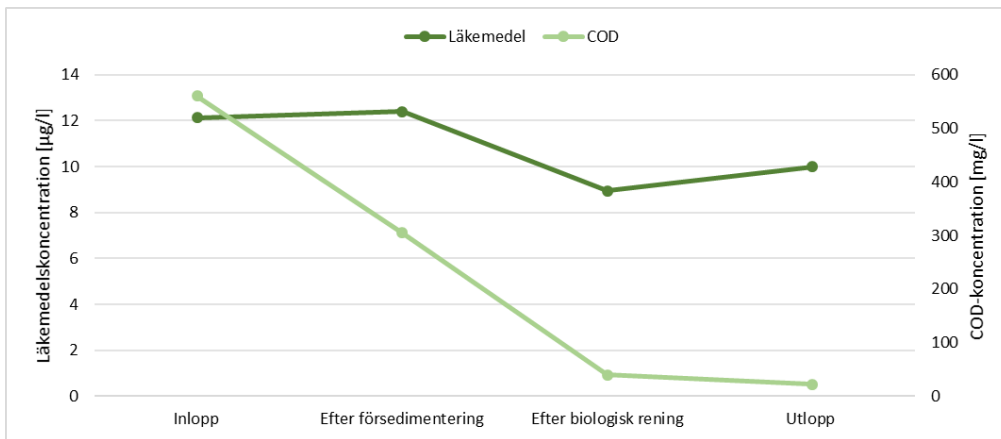
Vid tidpunkten för provtagningen, vecka 35 år 2019, var flödet på Öns reningsverk ca 24 000 m³/dygn, vilket är under medelflödet som är ca 35 000 m³/dygn. På reningsverket togs totalt fyra dygnsprover; vid inloppet, efter försedimenteringen, efter biologiska reningen samt vid utloppet, se Figur 3. Innan provtagningen påbörjades gjordes en analys av de hydrauliska uppehållstiderna för de, vid tillfället för provtagningen, aktiva processtegen och vid det aktuella flödet. Den totala hydrauliska uppehållstiden beräknades till ca 23 timmar. Dygnsproven initierades/avslutades, i största möjliga mån, vid varje provtagningsspunkt baserat på den beräknade hydrauliska uppehållstiden. Detta för att fånga "samma" flöde i de olika stegen. De exakta tidpunkterna för provtagning är presenterade i appendix B.



Figur 3. Schematisk figur över vattenreningsprocessen på Öns reningsverk. Provtagningspunkterna är markerade med gröna cirklar. Den beräknade hydrauliska uppehållstiden mellan processtegen är angiven i figuren.

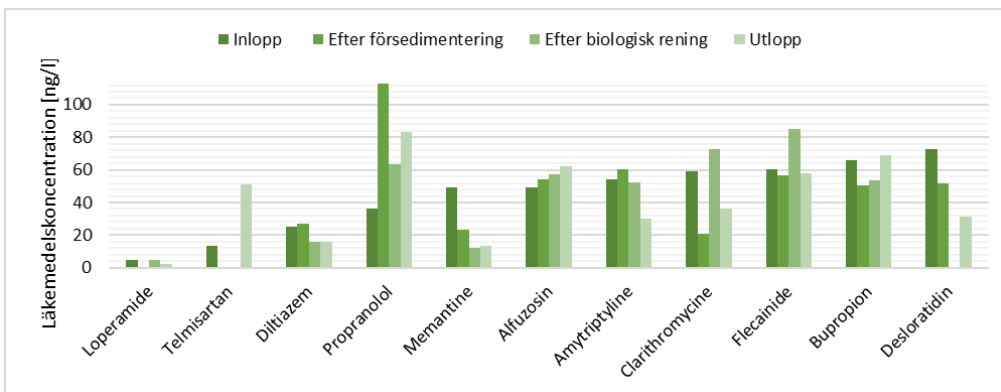
Vid inloppet på Öns reningsverk återfanns 35 av de 101 läkemedel som analyserades och även koffein. Koncentrationen av läkemedlen varierade från 4 ng/l till 3 µg/l och totalkoncentrationen i inloppet var 12 µg/l. Vid utloppet återfanns 33 av de 101 läkemedel som analyserades. Koncentrationerna varierade från 2 ng/l till 2 µg/l och den totala läkemedelshalten vid utloppet var 10 µg/l. Den totala uppmätta läkemedelshalten sjönk med ca 18 % från inloppet till utloppet, men var relativt konstant i alla processteg. COD-halten vid inloppet var 560 mg/l och vid utloppet 22 mg/l. Figur 4 visar totalkoncentrationen av läkemedel och COD i de olika processtegen på Öns reningsverk i µg/l och mg/l, respektive.

Baserat på medelflödet på Öns reningsverk och den totala läkemedelshalten i utloppet beräknades att halten läkemedel som årligen släpps ut i recipienter är ungefär 88 kg. Ökar befolkningen i Umeå i samma takt som visionen innebär detta att det år 2050 kommer släppas ut ca 180 kg läkemedel årligen från Öns reningsverk om inga vidare åtgärder vidtas.

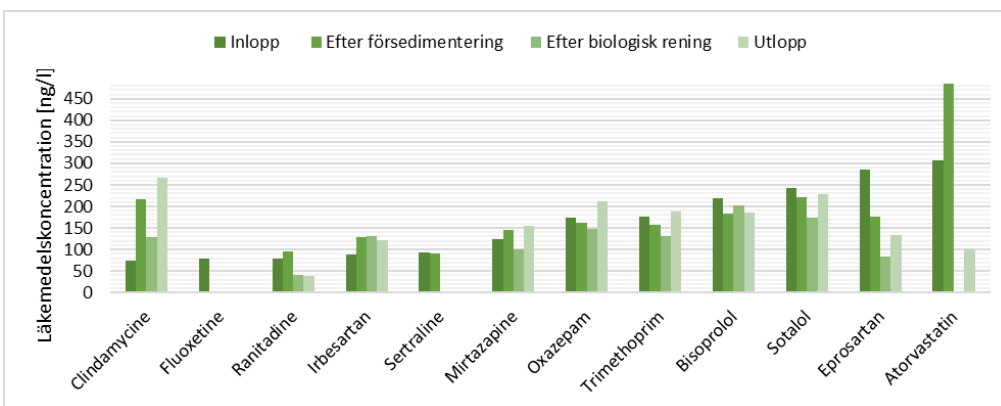


Figur 4. Den totala koncentrationen av läkemedel och COD i de olika processtegen på Öns reningsverk. I mörkgrönt till vänster visas läkemedelskoncentrationen i µg/l i de olika processtegen. I ljusgrönt till höger visas COD-koncentrationen i mg/l i de olika processtegen.

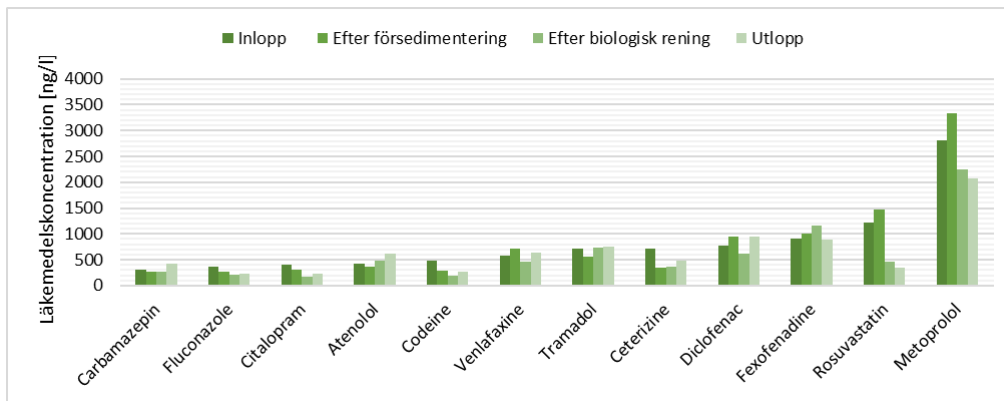
Figur 5–7 visar koncentrationsprofilen för respektive läkemedel över reningsverkets olika processteg. Då koncentrationen av de olika läkemedlen varierade väldigt presenteras profilerna för respektive läkemedel från lägst till högst koncentration i inkommande vatten. Figur 8 visar koncentrationsprofilen över de olika processtegen för koffein.



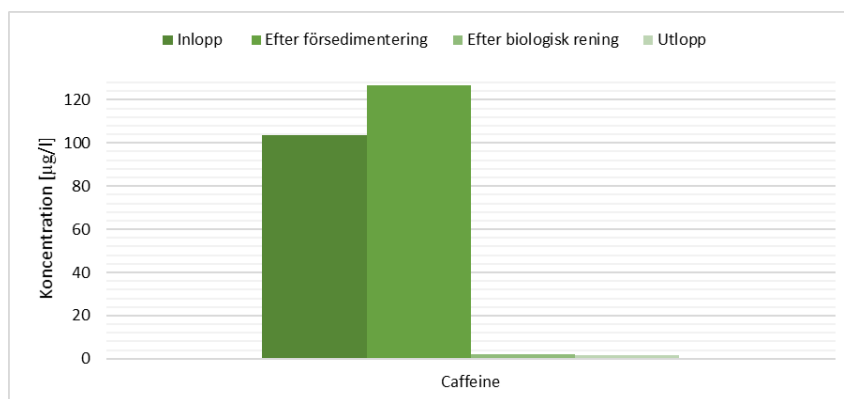
Figur 5. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Öns reningsverk i ng/l.



Figur 6. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Öns reningsverk i ng/l.



Figur 7. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Öns reningsverk i ng/l.



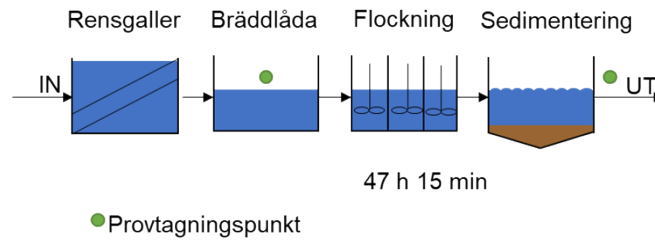
Figur 8. Koncentrationen av koffein i de olika processtegen på Öns reningsverk i µg/l.

Analysen av PFOA och PFOS för Öns reningsverk gjordes på inkommande och utgående vatten. Halten PFOA och PFOS i inloppet var 2.0 ng/l och 1.4 ng/l, respektive. I utloppet var halten PFOA 2.7 ng/l och PFOS 3.1 ng/l.

Två stickprover togs i recipienten, Umeälven, både uppströms (7087751, 759197 (Swereff 99 TM, X, Y)) och nedströms (7085080, 760842 (Swereff 99 TM, X, Y)) Öns reningsverk för analys av läkemedelshalten. Koncentrationen av alla analyserade läkemedel var under kvantifieringsgränsen (LOQ).

3.2. Kartläggning av halten läkemedel, COD, PFOA och PFOS på Flurkmarks reningsverk

Medelflödet på Flurkmarks reningsverk var år 2018 4,8 m³/h och reningsverket är dimensionerat för ett flöde på 27,7 m³/h. Vid tidpunkten för provtagningen på Flurkmarks reningsverk var flödet ca 2,6 m³/h. På reningsverket togs totalt två dygnsprover, ett vid inloppet och ett vid utloppet, se Figur 9. Innan provtagningen påbörjades gjordes en analys av den hydrauliska uppehållstiden mellan inloppet och utloppet vid det aktuella flödet. Den totala hydrauliska uppehållstiden beräknades till ca 47 timmar. Dygnsprovet i utloppet initierades efter den hydrauliska uppehållstiden passerats för att fånga "samma" inkommande flöde i de båda stegen. De exakta tidpunkterna för provtagningarna återfinns i appendix B.

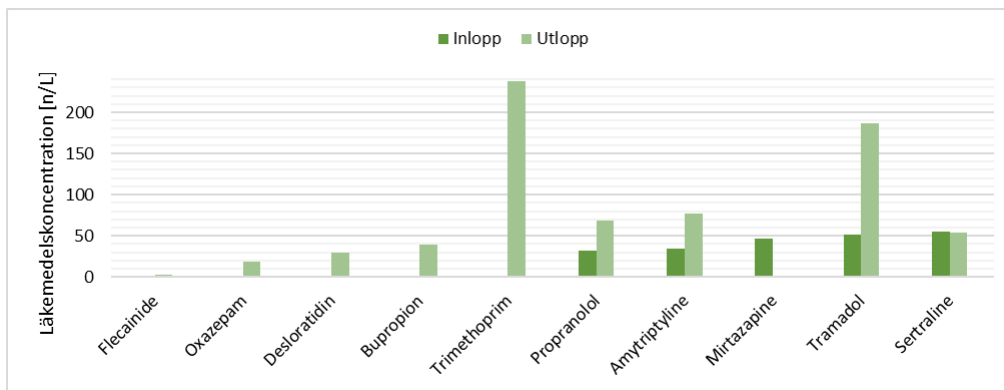


Figur 9. Schematisk figur över vattenreningsprocessen på Flurkmarks reningsverk. Provtagningspunkterna är markerade med gröna cirklar. Den beräknade hydrauliska uppehållstiden mellan processtegen är angiven i figuren.

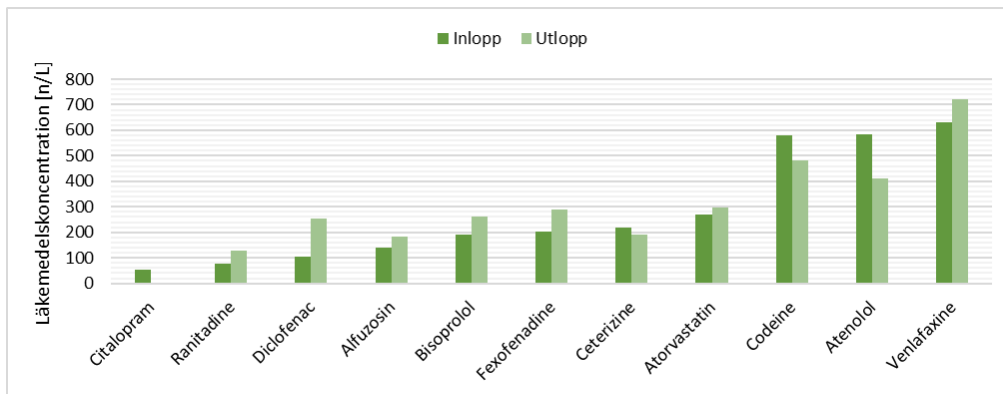
Vid inloppet på Flurkmarks reningsverk återfanns 19 av de 101 läkemedel som analyserades samt koffein. Den totala läkemedelshalten vid inloppet var 13 µg/l och COD-halten 381 mg/l. Halterna i inloppet varierade från 32 ng/l till 4 µg/l. Vid utloppet återfanns 22 av de 101 läkemedel som analyserats samt koffein. Den totala läkemedelshalten vid utloppet var 16 µg/l och COD-halten var 156 mg/l. Koncentrationerna varierade från 3 ng/l till 4 µg/l.

Baserat på den totala läkemedelskoncentrationen i åtgående flöde och medelflödet på Flurkmarks reningsverk beräknades mängden läkemedel som lämnar reningsverket årligen till ca 354 g.

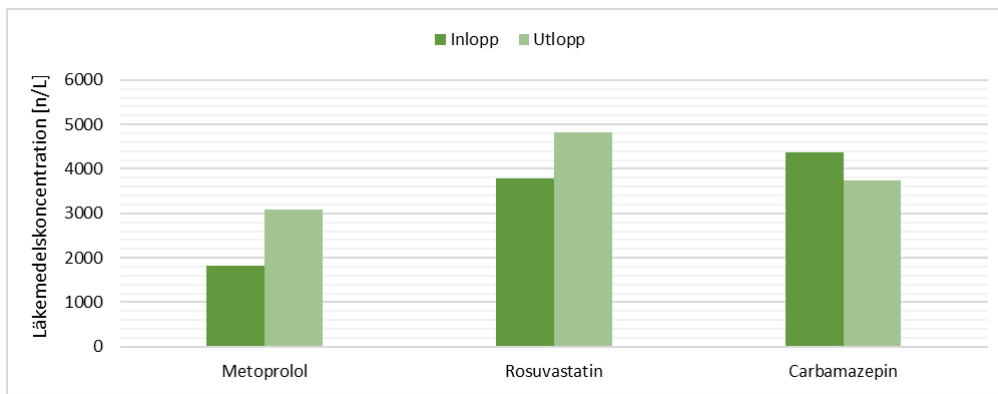
Figur 10–12 visar koncentrationsprofilen för respektive läkemedel över reningsverkets inlopp och utlopp. Eftersom koncentrationen av de olika läkemedlen varierade väldigt presenteras profilerna för respektive läkemedel från lägst till högst koncentration i inkommande vatten. Figur 13 visar koncentrationsprofilen för koffein i in- och utloppet.



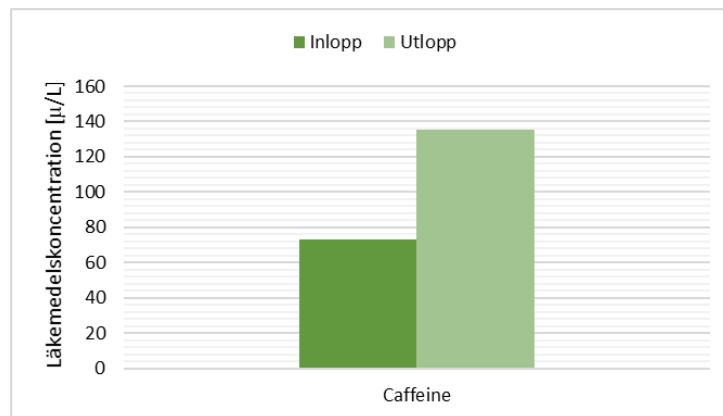
Figur 10. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Flurkmarks reningsverk i ng/l.



Figur 11. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Flurkmarks reningsverk i ng/l.



Figur 12. Läkemedelskoncentration i de olika processtegen på Flurkmarks reningsverk i ng/l.



Figur 13. Koncentrationen av koffein i de olika processtegen på Öns reningsverk i µg/l.

Vid både utloppet och inloppet på Flurkmarks reningsverk var halten PFOA och PFOS under kvantifieringsgränsen, 1.0 ng/l.

Två stickprover togs i den närmast belägna recipienten, Fällforsån, ett uppströms (3°58'55.6"N 20°14'19.8"E) och ett nedströms (63°58'28.8"N 20°15'07.9"E). Uppströms var den totala läkemedelshalten 80 ng/l och läkemedlen som återfanns var Klonazepam, Cyproheptadin och Trihexyfenidyl. Nedströms återfanns totalt 42 ng/l läkemedel, Cyproheptadin och Sotalol samt 5 µ/l koffein.

4. Rening i pilotskala

Två pilotstudier genomfördes för respektive reningsverk. En längre reningsfas genomfördes med ozon som enskild metod för borttagning av läkemedel och en kortare pilotstudie gjordes i 15 minuter med ozon i kombination med granulärt aktiverat kol. Samma analysmetod som i kartläggningen användes för analys av läkemedelshalten i vattnet. Vidare analyserades även COD-halten och för Öns reningsverk gjordes en kvantitativ analys av PFOA och PFOS.

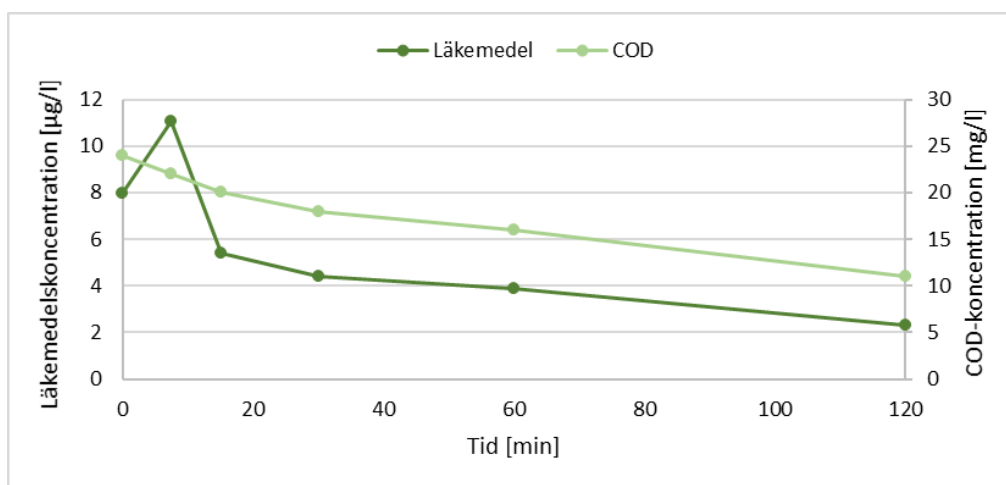
Målet med studien var att undersöka en kombination av ozonering och granulärt aktiverat kol och även att undersöka kinetiken för nedbrytning av läkemedel i närvaro av ozon. För att kunna studera kinetiken detaljerat genomfördes ozonering under en längre tid där ozon tillsattes med syftet att eliminera majoriteten av den totala läkemedelshalten. Ozon tillsattes i konstant mängd under pilotförsöken. Att studera kinetiken möjliggör för att effektivt skala upp reningssteget till full skala.

4.1. Rening i pilotskala - Öns reningsverk

Resultatet från de två pilotstudierna med avloppsvatten från utloppet från Öns reningsverk kommer, tillsammans med resultatet från den fullskaliga piloten på Flurkmarks reningsverk, ligga till grund för dimensionering av ett eventuellt framtida fullskaligt reningssteg för läkemedelsrening på Öns reningsverk.

En kvantitativ analys gjordes av halten PFOA och PFOS efter ozonering i 120 minuter samt efter ozonering i kombination med passage av det aktiva kolfiltret. Analysen visade att både PFOA och PFOS eliminerades med ozon i kombination med det aktiva kolfiltret men inte vid studien med endast ozon.

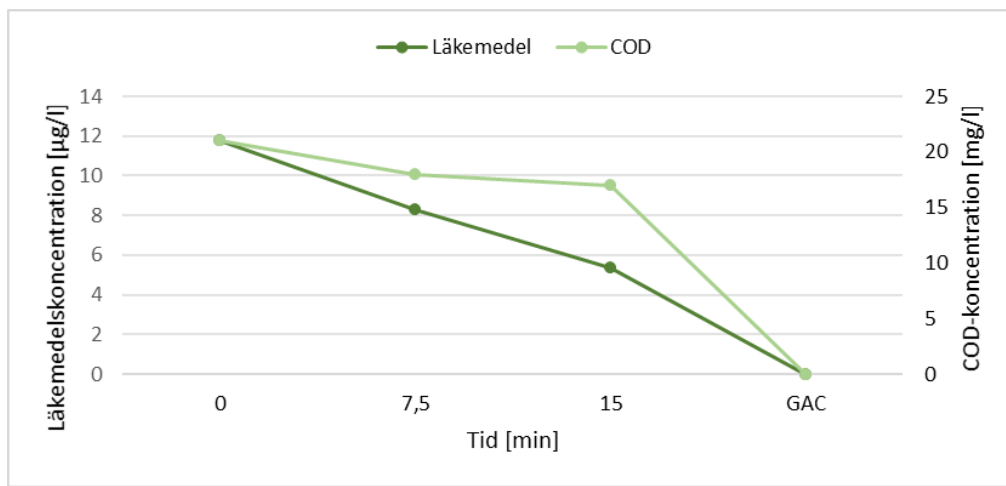
Figur 14 visar totalkoncentrationen av läkemedel och COD över tid vid ozonering i pilotskala. Pilotstudien visade att ca 80% av den totala mängden läkemedel bröts ner under försöket och ca 54% av mängden COD. Den maximala totala läkemedelshalten uppmättes till ca 11 µg/l och vid studiens slut var koncentrationen ca 2 µg/l.



Figur 14. Koncentrationen av läkemedel (exklusive koffein) och COD över tid vid ozonering i pilotskala med avloppsvatten från Öns reningsverk. I mörkgrönt till vänster visas läkemedelskoncentrationen i µg/l. I ljusgrönt till höger visas COD-koncentrationen i mg/l.

Nedbrytningen av läkemedel följde första ordningens reaktion. Vidare stannade reaktionen inte av under pilotstudien, vilket tyder på att läkemedelsnedbrytningen skulle fortsätta vid fortsatt exponering av ozon. Den totala läkemedelshalten var som högst vid den andra provtagningstidpunkten, efter 7,5 minuter, vilket kan bero på att uppbundna läkemedel har frigjorts.

Figur 15 visar den totala läkemedels- och COD- halten över tid, 15 minuter, och även efter passage genom ett granulärt aktivt kolfilter. Efter 15 min hade ca 55% av den totala mängden läkemedel brutits ned och efter det aktiva kolfiltret var alla läkemedel under kvantifieringsgränsen.



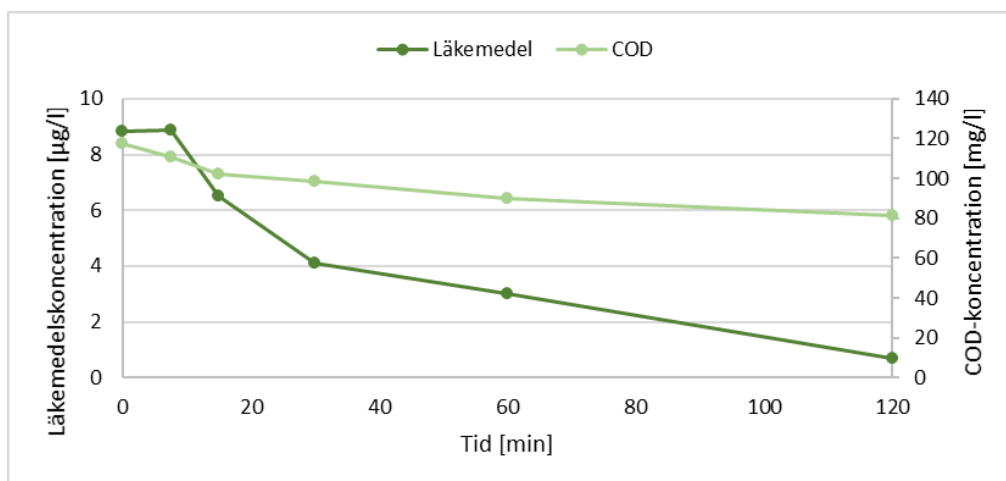
Figur 15. Koncentrationen av läkemedel (exklusive koffein) och COD över tid vid ozonering och passage genom ett granulärt aktivt kolfilter(GAC) i pilotskala med vatten från Öns reningsverk. I mörkgrönt till vänster visas läkemedelskoncentrationen i $\mu\text{g/l}$. I ljusgrönt till höger visas COD-koncentrationen i mg/l .

4.2. Rening i pilotskala - Flurkmarks reningsverk

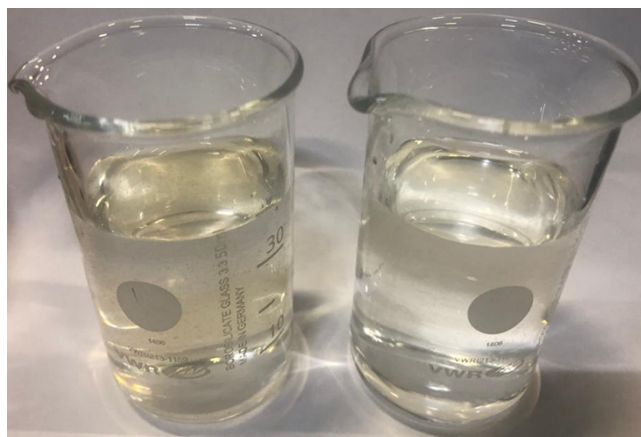
Resultatet från de två pilotstudierna med vatten från utloppet från Flurkmarks reningsverk kommer ligga till grund för dimensionering av en fullskalig pilotanläggning för läkemedelsrening som kommer installeras under 2020 på Flurkmarks reningsverk.

I Figur 16 visas nedbrytningen av läkemedel och COD över tid på Flurkmarks reningsverk. Den totala mängden från avloppsvattnet reducerades med över 92% och halten COD minskade med ca 31%. Färgen på vattnet förändrades också under ozoneringen, från gulaktigt till nästan helt klart, se Figur 17.

Även i denna pilotstudie följde nedbrytningen av läkemedel första ordningens reaktion. Inte heller här sågs att reaktionen avstannat under pilotstudien, vilket tyder på att läkemedelsnedbrytningen skulle fortsätta vid fortsatt exponering av ozon. Detta kommer utvärderas närmare i det fullskaliga reningssteget på Flurkmarks reningsverk där ozoneringsgrad kommer att kunna varieras.

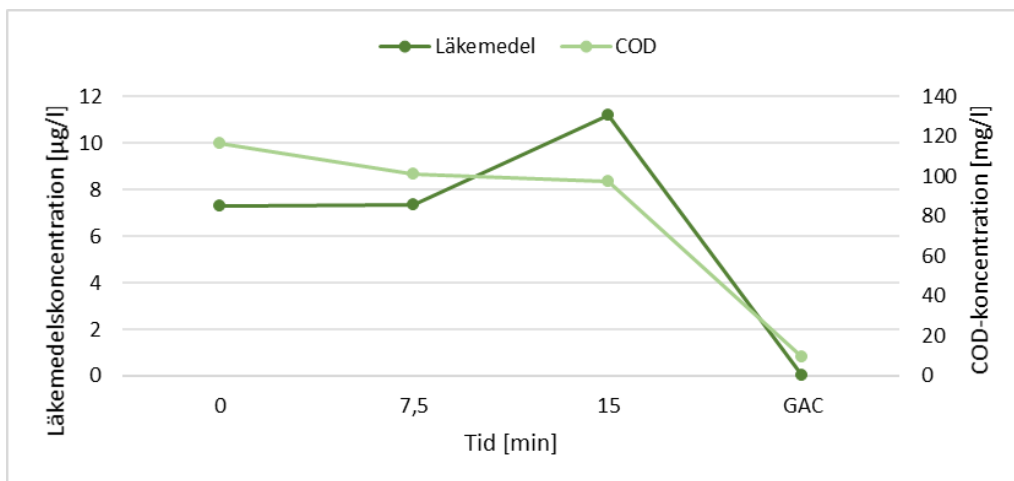


Figur 16. Koncentrationen av läkemedel (exklusive koffein) och COD över tid vid ozonering i pilotskala med vatten från Flurkmarks reningsverk. I mörkgrönt till vänster visas läkemedelskoncentrationen i µg/l. I ljusgrönt till höger visas COD-koncentrationen i mg/l.

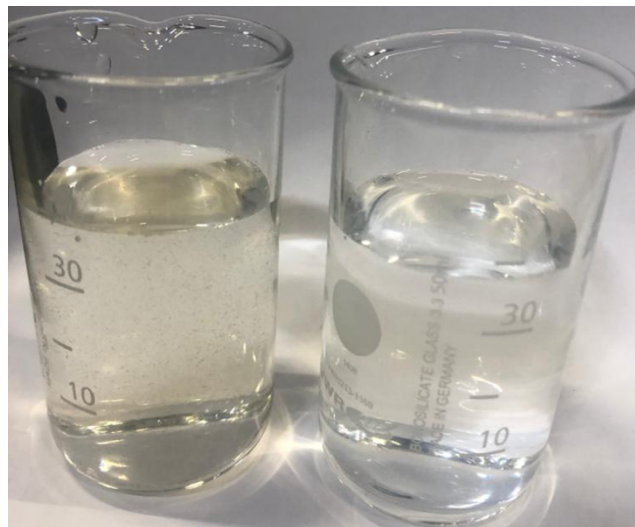


Figur 17. Avloppsvatten från Flurkmarks reningsverk före (till vänster) och efter ozonering (höger).

Figur 18 visar totalkoncentrationen av läkemedel och COD över tid, 15 minuter, och efter passage genom ett granulärt aktivt kolfilter. Den totala läkemedelshalten var som högt vid den tredje provtagningstidpunkten, efter 15 minuter, vilket kan bero på att uppbundna läkemedel har frigjorts. Alla läkemedel var under kvantifieringsgränserna efter kombination av ozonering och passage genom det aktiva kolfiltret. COD-halten reducerades med ca 92%. Färgen förändrades också under pilotprojektet och gick från gulaktigt till helt klart, se Figur 19.



Figur 18. Koncentrationen av läkemedel (exklusive koffein) och COD över tid vid ozonering och passage genom ett granulärt aktivt kolfilter(GAC) i pilotskala med vatten från Flurkmarks reningsverk. I mörkgrönt till vänster visas läkemedelskoncentrationen i µg/l. I ljusgrönt till höger visas COD-koncentrationen i mg/l.



Figur 19. Avloppsvatten från Flurkmarks reningsverk före (till vänster) och efter ozonering och passage genom det granulära aktiva kolfiltret (höger).

5. Kommentarer och slutsats

Resultaten från förstudien visar att läkemedelshalten hos båda reningsverken är i princip konstant genom processtegen. Årligen släpps ca 354 g och 88 kg läkemedel ut från Flurkmarks och Öns reningsverk, respektive. Detta visar att vidare åtgärder krävs för att rena vattnet från läkemedelsrester för att förhindra utsläpp till recipienter.

Pilotstudierna visade att ozon och aktivt kol effektivt eliminerar hela eller största delen av läkemedlen under de förhållandena som rådde under pilotkörningen. Resultatet visar att nedbrytningen av läkemedlen med hjälp av ozon följer första ordningens kinetik något som kommer användas vid design av det fullskaliga reningssteget på Flurkmarks reningsverk.

Vidare visar resultatet från pilotstudierna att en lyckad balans mellan ozon och granulärt aktiverat kol uppnåddes. Ozonet eliminerade majoriteteten av läkemedlen och kolet fungerade som ett sista poleringssteg. Detta innebär att belastningen på respektive reningssteg minskar vilket i sin tur minskar underhållsarbetet för reningsstegen.

Resultaten från förstudien kommer ligga till grund för dimensionering av det fullskaliga reningssteget på Flurkmark. I det fullskaliga reningssteget kommer även BAC och AOP undersökas för att fastställa den bästa kombinationen för läkemedelsborttagning på Öns reningsverk.

Appendix A – Analyserade läkemedel och dess kvantifieringsgränser (LOQ)

Tabell A1. Analyserade läkemedel och dess kvantifieringsgränser (LOQ).

ng/L	LOQ	ng/L	LOQ	ng/L	LOQ
Alfuzosin	4	Dicycloverine	10	Mianserin	3
Alprazolam	20	Dihydroergotamine	15	Miconazole	10
Amiodarone	30	Diltiazem	1,5	Mirtazapine	15
Amytriptyline	10	Diphenhydramine	4	Naloxone	2
Atenolol	15	Dipyridamol	3	Nefazodone	2
Atorvastatin	10	Donepezil	7,5	Norfloxacin	20
Atracurium	4	Duloxetine	2	Ofloxacin	3
Azelastine	2	Eprosartan	15	Orphenadrine	3
Azithromycine	40	Erythromycine	20	Oxazepam	10
Beclomethazone	80	Ezetimibe	20	Oxytetracycline	10
Biperiden	3	Felodipine	20	Paracetamol	30
Bisoprolol	3	Fenofibrate	20	Paroxetine	10
Bromocriptine	15	Fexofenadine	10	Perphenazine	20
Budesonide	20	Finasteride	20	Pizotifen	2
Buprenorphine	20	Flecainide	1,5	Promethazine	15
Bupropion	3	Fluconazole	7,5	Propranolol	20
Caffeine	20	Flunitrazepam	10	Ranitadine	20
Carbamazepin	7,5	Fluoxetine	7,5	Repaglinide	2
Ceterizine	15	Flupentixol	10	Risperidone	4
Chlorpromazine	10	Fluphenazine	10	Rosuvastatin	20
Chlorprothixene	10	Flutamide	10	Roxithromycine	15
Cilazapril	2	Furosemide	40	Sertraline	10
Ciprofloxacin	10	Glibenclamide	20	Sotalol	15
Citalopram	15	Glimepiride	20	Sulfamethoxazol	15
Clarithromycine	3	Haloperidol	3	Tamoxifen	5
Clemastine	2	Hydroxyzine	3	Telmisartan	10
Clindamycine	3	Irbesartan	3	Terbutaline	3
Clomipramine	2	Ketoconazole	45	Tetracycline	20
Clonazepam	10	Levomepromazine	20	Tramadol	15
Clotrimazol	10	Loperamide	2	Trihexyphenidyl	3
Codeine	15	Maprotiline	15	Trimethoprim	3
Cyproheptadine	7,5	Meclozine	10	Venlafaxine	20
Desloratidin	15	Memantine	3	Verapamil	10
Diclofenac	10	Metoprolol	15	Zolpidem	3

Appendix B – Tidpunkter för provtagning

Tabell A2. Tidpunkter för provtagning för Öns reningsverk.

Initiering av dygnsprov	Provtagning
2019-08-26 07:30	2019-08-27 07:45
2019-08-26 15:30	2019-08-27 12:25
2019-08-27 07:00	2019-08-28 07:00
2019-08-27 07:30	2019-08-28 07:30

Tabell A3. Tidpunkter för provtagning för Flurkmarks reningsverk.

Initiering av dygnsprov	Provtagning
2019-08-26 14:30	2019-08-27 14:30
2019-08-28 13:44	2019-08-29 13:44

 **MELLIFIQ**

Slutrapport Läkemedelsrening vid Flurkmarks avloppsreningsverk

Datum: 2021-11-16

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	4
2.	Bakgrund	5
2.1.	Negativa effekter av läkemedelsrester i naturen	5
2.2.	Läkemedelskonsumtion	5
2.3.	Recipient – Fällforsån.....	5
2.4.	Recipient - Umeälven	6
2.5.	Flurkmarks nuvarande reningsanläggning.....	6
2.6.	Samarbete med Mellifiq	7
2.7.	Eliminering av läkemedel genom oxidationsprocess, GAK och BAK.....	7
2.7.1.	Ozonering.....	8
2.7.2.	AOP (Advanced oxidations process)	8
2.7.3.	GAK (Granulärt aktivt kol).....	8
2.7.4.	BAK (biologiskt aktivt kol).....	9
2.7.5.	Sandfiltrering.....	9
3.	Förstudie	10
3.1.	Kartläggning av läkemedel Ön	10
3.2.	Kartläggning av läkemedel Flurkmark	12
3.3.	Pilottester hos Mellifiq	14
3.3.1.	Pilottest Ön	14
3.3.2.	Pilottest Flurkmark	15
3.3.3.	Val av behandlingssteg	15
4.	Installerat reningssteg	16
4.1.	Installerat reningsystem	16
4.2.	Sandfilter	16
4.3.	Ozonsystem - Ozonetech RENA Tellus.....	17
4.4.	GAK-filter (Granulärt aktivt kol)	17
5.	Metod.....	18
5.1.	Provtagning och uppehållstid.....	18
5.2.	Processparametrar och uteffekt.....	19
6.	Resultat och diskussion.....	21
6.1.	Provtagningstillfälle 1 – Olika uteffekter ozon.....	21

Sid nr. : 3 (39)

6.1.1.	TOC, DOC och COD.....	24
6.2.	Provtagningsstillfälle 1 – AOP och enskilda oxidationsprocesser.....	26
6.2.1.	TOC, DOC och COD.....	27
6.3.	Provtagningsstillfälle 2 – 4 (Långtidsutvärdering).....	29
6.3.1.	TOC, DOC och COD.....	30
6.4.	BAK-filtrering	30
6.4.1.	BOD	31
6.5.	Resulterade totala läkemedelshalter.....	31
6.6.	Energiförbrukning	32
6.7.	Nyckeltal.....	33
6.7.1.	Effektbehov vid läkemedelsborttagning.....	33
6.7.2.	Läkemedel som elimineras varje år.....	34
7.	Slutsatser och rekommendationer	34
7.1.	Kombinerade reningstekniker för ökad reningsgrad.....	35
7.2.	Rekommendationer för vidare drift.....	35
8.	Referenser	36
9.	Bilaga 1	38
10.	Bilaga 2	39

1. **Introduktion**

Vatten och avfallskompetens i norr, VAKIN, ansökte i maj 2019 Naturvårdsverkets anslag i syfte att genomföra läkemedelsrening vid Flurkmarks reningsverk. Projektet har utförts i samarbete med partner Mellifiq.

Projektets förstudie presenterade kartläggning av aktiva läkemedelssubstanser vid Flurkmark samt kommunens större reningsverk på Ön. Vidare utfördes ett labbskaleförsök med vatten från de två reningsverken. Utifrån dessa resultat har reningsanläggningen vid Flurkmarks reningsverk dimensionerats och installerats. Denna rapport presenterar resultaten från utvärdering av reningsanläggningen vid Flurkmark. Resultatet ligger till grund för en eventuell fullskalig implementering av läkemedelsrening vid Öns reningsverk.

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 lägre doser har utsläpp påvisats ha samverkande effekt då substanserna är bioackumulerande och ansamlar sig i näringskedjan.

En rapport från LäkeMedelsverket skriven 2015 (se bilaga 1) presenterar 22 läkemedelssubstanser som rekommenderas följas upp årligen för att representera den totala mängden läkemedel i svenska vattendrag (Mattson, Andersson, & Ovesjö, 2015). Som ett exempel 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 okända i dagsläget (Brodin T., 2013).

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. Läkemedelskonsumtion

Läkemedelskonsumtionen i samhället har ökat över tid och kommer att fortsätta att öka, därmed kommer även utsläpp att öka vilket påverkar närliggande naturområden och vattendrag (Hamrén, 2017). På grund av en ökad efterfrågan, introduceras årligen nya typer av mediciner och medicinska produkter. Under 2015 introducerades 68 nya läkemedelsorter (Pontén, Rönnholm, & Skiöld, 2017).

Det kan därför konstateras att av de 4 400 godkända läkemedel som får säljas i Sverige, kommer utsläppen att öka över tid och implementering av nya reningstekniker i syfte att reducera läkemedelsutsläppen är mycket aktuellt. Denna rapport kommer baseras på behandling av 100 utvalda aktiva läkemedelssubstanser, för lista på utvalda läkemedelssubstanser se Bilaga 2, Tabell 8.

2.3. Recipient – Fällforsån

Flurkmarks avloppsreningsverks främsta recipient är Fällforsån som nedströms mynnar ut i Taveljärden som till viss del är ett naturreservat. Se Figur 1 för geografisk placering av avloppsreningsverket och dess utsläppspunkt. Det finns ett svagt bestånd av Havsöring i Tavelån och Fällforsån samt stationär öring och harr. Det finns ett svagt bestånd av den rödlistade arten flodpärlmussla i Fällforsån. Dessa vattendrag är listade av Länsstyrelsen som åtgärdsområden (Johan Ahlström, 2020).



Figur 1 Geografisk placering av Flurmarks avloppsreningsverk med utsläppspunkten markerad med röd cirkel.

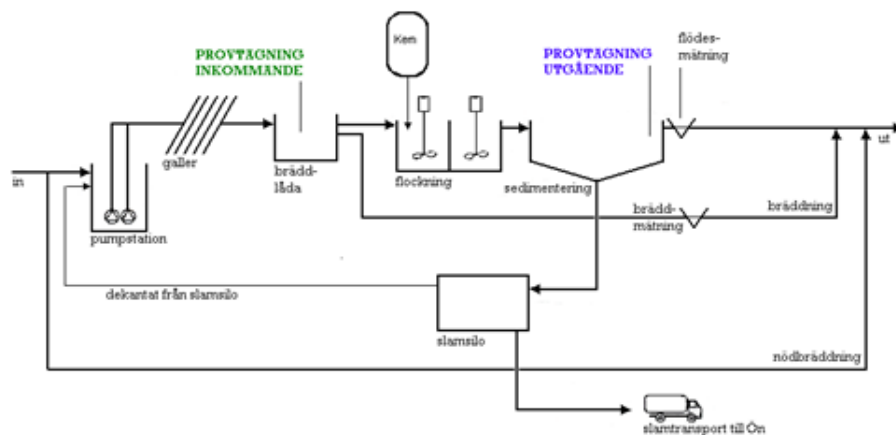
2.4. Recipient - Umeälven

Öns reningsverk behandlar merparten av avloppsvattnet i Umeå kommun. Reningsverket är geografiskt placerat på en Ö i Umeälven, i centrala Umeå. Utloppet från reningsverket leder till en Natura 2000-klassad del av Umeälven, vilken nedströms ansluter till vattendrag som är klassade som riksintresse för naturvård med laxbestånd som är klassade som mycket värdefulla men med svag laxföryngring. (Johan Ahlström, 2020)

2.5. Flurmarks nuvarande reningsanläggning

Avloppsreningsverket i Flurmark är ett mindre reningsverk där vattnet behandlas genom mekanisk och kemisk rening. Första reningssteget är i form av ett rensgaller. Efter den mekaniska reningen fortsätter vattnet till det kemiska reningssteget. Flockar bildas i två flockningsbassänger med hjälp av grindomrörare efter att polyaluminiumklorid blandats in i avloppsvattnet. Efter detta reningssteg leds vattnet till en cirkulär sedimenteringsbassäng, där vattnet rinner av längs en avdragsränna.

Slammet från reningssteget avskiljs och skickas till Öns reningsverk för fortsatt behandling. Övergripande bild på avloppsreningsverket Flurmark kan ses i Figur 2.

FLURKEMÅRK AVLOPPSRENINGSVERK
flödesschema


Figur 2. Schematisk bild av Flurkemårk avloppsreningsverk

2.6. Samarbete med Mellifiq

VAKIN har genomfört implementationen av läkemedelsreningen tillsammans med dedikerad partner Mellifiq som besitter nödvändiga specialistkunskaper och erfarenheter inom läkemedelsrening.

Projektet startade i augusti 2019 och under denna tid har partner Mellifiq utformat ett reningssystem bestående av en avancerad oxidationsprocess (AOP), reaktionstank samt sand- och kolfilter. AOP processen består av oxidationsprocesser i form av ozonering, UV samt tillförsel av väteperoxid. Reningssystemet har sedan installerats och driftsatts av Mellifiq i samarbete med VAKIN.

Dimensioneringen av reningssystemet som implementerats på Flurkemårk avloppsreningsverk är baserat på en kartläggning över läkemedelshalter och övriga föroreningshalter (COD) efter respektive reningssteg i det befintliga avloppsreningsverket. Resultat och projektbeskrivning presenterades i delrapport från hösten 2019, där förstudien presenteras.

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

2.7. Eliminering av läkemedel genom oxidationsprocess, GAK och BAK

Reningssystem består av en avancerad oxidationsprocess (AOP) som huvudsaklig reningemetod. Oxidationsprocesserna som finns installerade i systemet är i form av ozonering, UV samt tillförsel av väteperoxid. De olika oxidationsprocesserna kan testas enskilt men även i kombination med varandra. AOP processen kompletteras med sandfiltrering uppströms och granulärt aktivt kolfilter nedströms från

Sid nr. : 8 (39)

ozoneringen. Utöver denna rening har ett biologiskt aktivt kolfilter som slutsteg från reningsverket utvärderats.

I korthet består den installerade reningsprocessen av två olika reningsystem med följande huvudsakliga processteg:

- 1) Pumpning av vatten från bassäng efter slutsedimentering till sandfiltrering. Efter sandfiltreringssteget delas flödet till följande steg:
 - a. Biologiskt aktivt kolfilter (BAK).
 - b. AOP (integrerad ozonering, UV-behandling, och väteperoxid-dosering) följt av slutpolering med granulärt aktivt kol (GAK).

Nedan beskrivs de olika reningsmetoderna kortfattat och hur de kan kombineras för att uppnå en högre reningsgrad med avseende på främst läkemedelsrester.

2.7.1. Ozonering

Rening genom oxidation med ozon är ett effektivt sätt att reducera organiskt innehåll och där ibland aktiva läkemedelssubstanser. Ozon är en stark oxidant, detta i kombination med att ett ozonsystem producerar det aktiva ämnet (ozon) in situ (på plats) med enbart tillförsel av omgivande luft och elektricitet skapar goda förutsättningar för implementering av miljövänlig processteknik.

Flertalet studier har visat att oxidation genom ozonering på ett effektivt sätt kan reducera halten läkemedelssubstanser från avloppsvatten (Johansson & Engberg, 2018). För installation i denna skala krävs högpresterande ozonsystem med syrgasmatade ozongeneratorer, inlösningsmekanismer, avancerad automation och väl beprövade säkerhetsfunktioner.

2.7.2. AOP (Advanced oxidations process)

AOP utgör en kategori reningsteknologier där flera oxidationsprocesser kombineras. Exempel på detta kan vara ozon och UV, ozon och väteperoxid, eller ozon, väteperoxid och UV.

Vid enbart ozonering sker oxidation antingen genom direkt eller indirekt reaktion. Den indirekta reaktionen sker genom bildning av hydroxylradikaler (med särskilt hög oxidationspotential) som i sin tur reagerar med oxiderbar förening. Den indirekta reaktionen kan främjas av UV och väteperoxid i kombination med ozon vilket i sin tur kan leda till en mer effektiv reningsprocess.

2.7.3. GAK (Granulärt aktivt kol)

Inom vattenreningsprocesser är adsorption genom filtrering med granulerat aktivt kol en etablerad process för reduktion av organiska föroreningar. En nackdel med GAK-filtrering är att adsorptionsförmågan försämras över tid och att filtermediet därför behöver bytas för att bibehålla samma reningskapacitet. För att förlänga kolets livstid

Sid nr. : 9 (39)

bör vattnet innan filtrering vara så rent som möjligt, och förbehandling i form av exempelvis ozonering kan vara ett alternativ för att uppnå detta (Naturvårdsverket, 2017).

Studier har visat att många läkemedel som inte elimineras genom ozonering, har en god adsorptionsförmåga och effektivt kan adsorberas i GAK-filtret (Cornel, Knopp, Prasse, & Ternes, 2016). Detta styrker användandet av en kombination av ozonering och GAK (Naturvårdsverket, 2017).

2.7.4. BAK (biologiskt aktivt kol)

Biologiskt aktivt kolfilter är ett aktivt kolfilter i vilket det över tid etableras en mikrobiologi. Mikroorganismerna i kolfiltret metaboliserar det adsorberade organiska materialet och kan på så sätt bidra till en minskad belastning på filtermediet och en ökad livslängd (Pengkang, Xin, Xianbao, Yongning, & Xiaochang, 2013).

2.7.5. Sandfiltrering

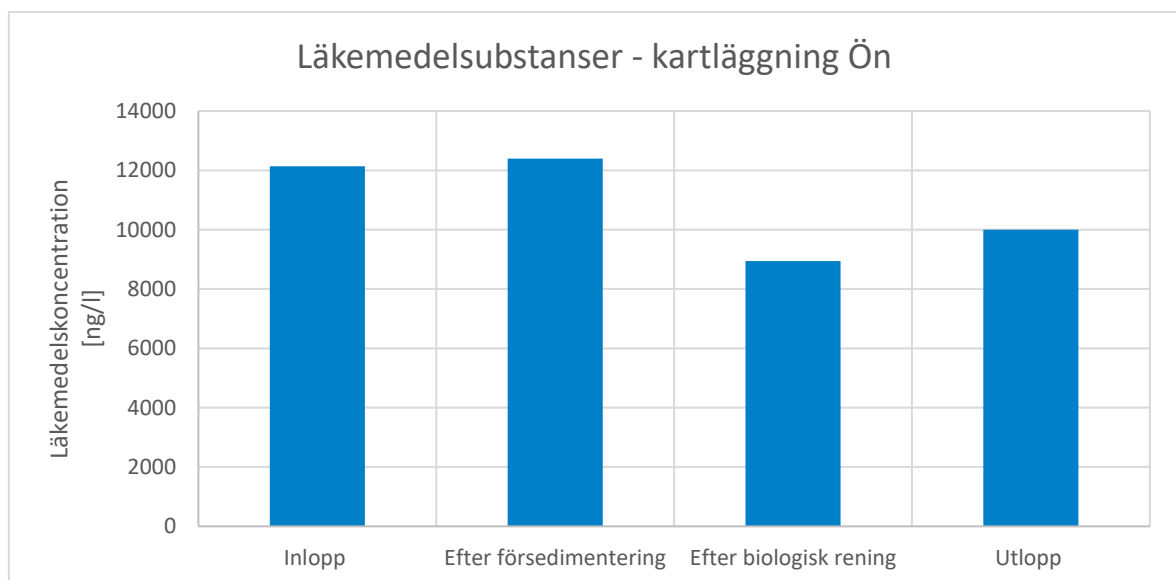
Sandfiltrering implementeras för att skydda nedströms reningssteg från oönskade partiklar och därmed minska risken för igensättning av kolfilter, och onödig belastning på oxidationsprocessen. Då inkommande vattenkvalitet till läkemedelssystemet kan variera beroende på lokala förutsättningar kan ett sandfilter hjälpa till att undvika eventuella driftstopp. Exempel på detta är underhållsarbete uppströms i reningsverkets mekaniska rening och utfällningssteg som leder till temporära förändringar i vattenkvaliteten.

3. Förstudie

Under hösten 2019 presenterades en förstudie bestående av en kartläggning av läkemedelshalterna i nuvarande avloppsreningsanläggning samt resultaten från en pilotstudie genomförd med partner Mellifiq.

3.1. Kartläggning av läkemedel Ön

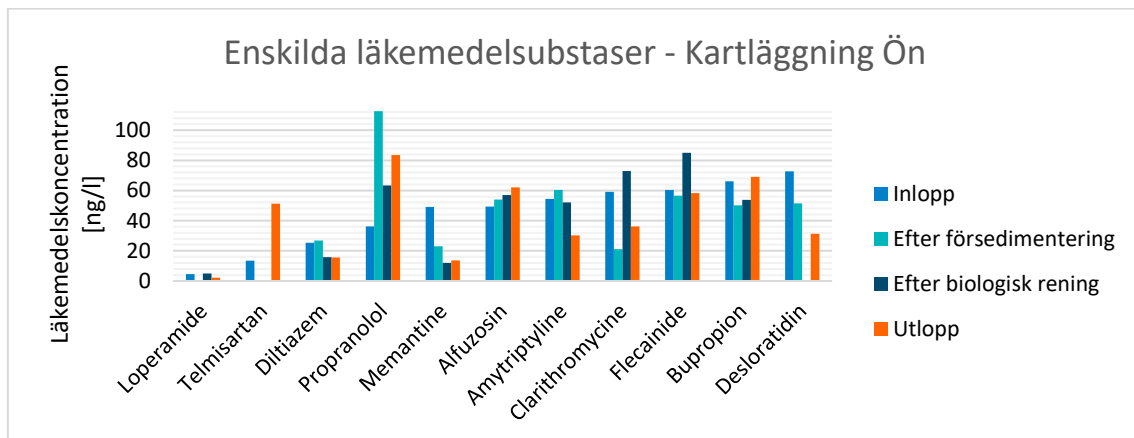
Resultaten från kartläggningen av läkemedelshalterna under förstudien uppvisade förekomst av totalt 36 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna och en koncentration på 12 137 ng/l vid inloppet till Öns avloppsreningsverk, en vanligt förekommande läkemedelssubstans som dock inte detekterats vid analysen var paracetamol. Detta trots tidigare studier som påvisat förekomst av paracetamol (Fick J., 2011). Efter försedimenteringen var koncentrationen av läkemedelssubstanser 12 396 ng/l och substanser som återfanns var 33 av 100. Den biologiska reningen har en reducerande effekt på läkemedelssubstanserna och koncentration sjönk till 8 946 ng/l, 31 av 100 substanser detekterades fortfarande. Vid utloppet från avloppsreningsverket var koncentrationen 10 000 ng/l och antalet detekterade läkemedelssubstanser 34 av 100. Se Figur 3 för diagram över koncentrationsförändringen av läkemedelssubstanser genom avloppsreningsverket. Anledningen till att antalet substanser som detekteras kan öka efter olika reningssteg i avloppsreningsverket kan bero på att tidigare bundna substanser som inte kunnat detekteras har löst sig och därmed blir detekterbara. Det kan även bero på att utgående vatten innehåller mindre föroreningar vilket ger en matris som är lättare att analysera.



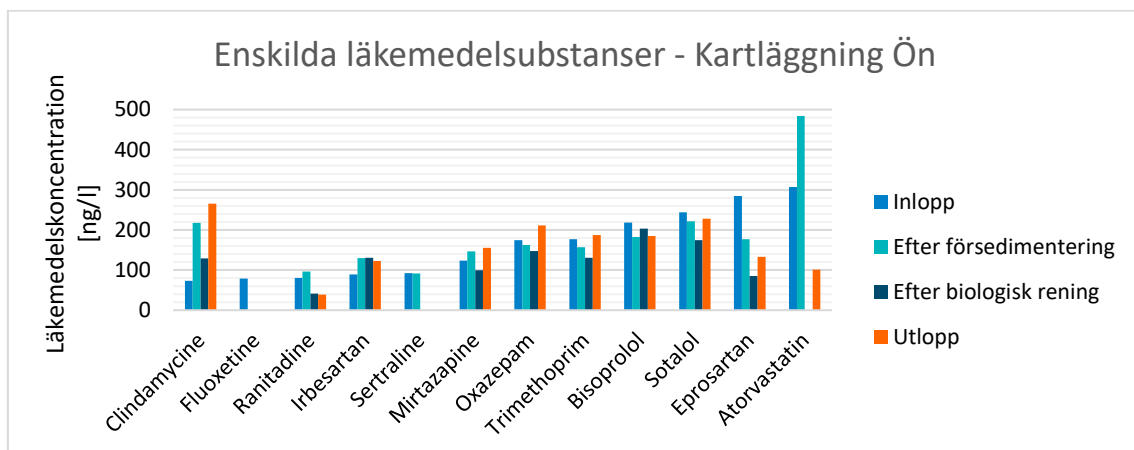
Figur 3. Diagram över koncentrationen av läkemedelssubstanser varierar genom Öns avloppsreningsverk.

Sid nr. : 11 (39)

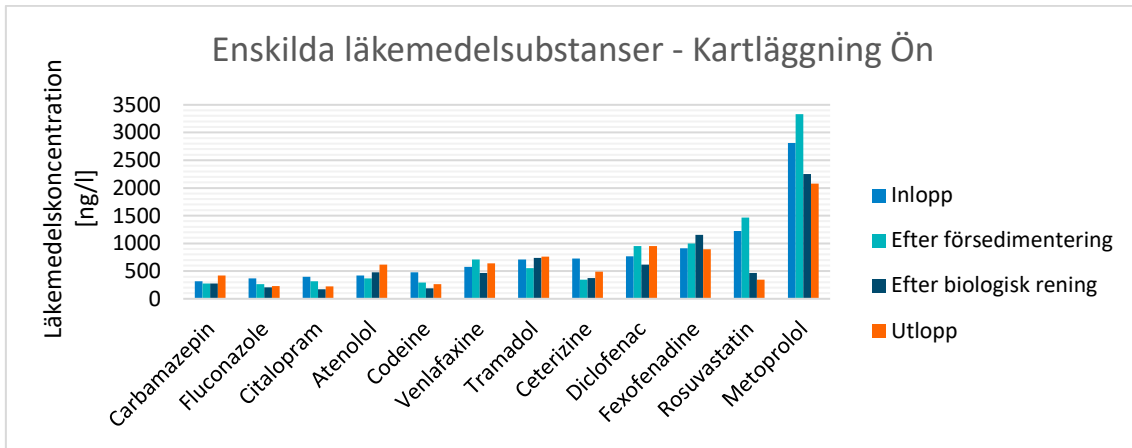
För att följa specifika läkemedel och dess reducering genom avloppsreningsverket se Figur 4, Figur 5 och Figur 6 där de detekterade enskilda substanserna presenteras för respektive provtagningspunkt.



Figur 4. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 0-73ng/l vid inloppet.



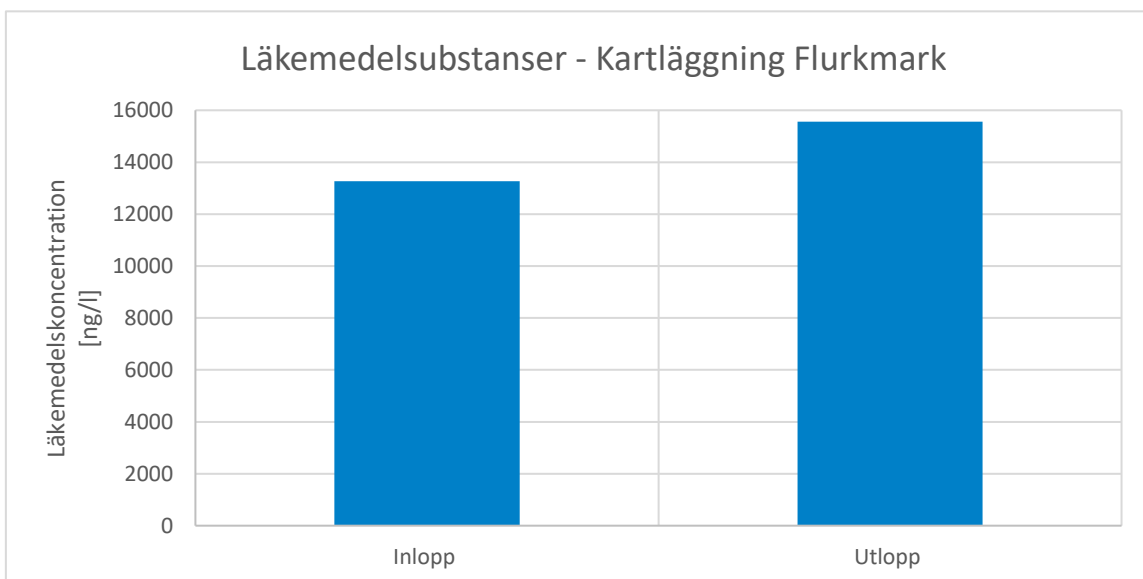
Figur 5. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 74-310ng/l vid inloppet.



Figur 6. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 310-3000ng/l vid inloppet.

3.2. Kartläggning av läkemedel Flurkmark

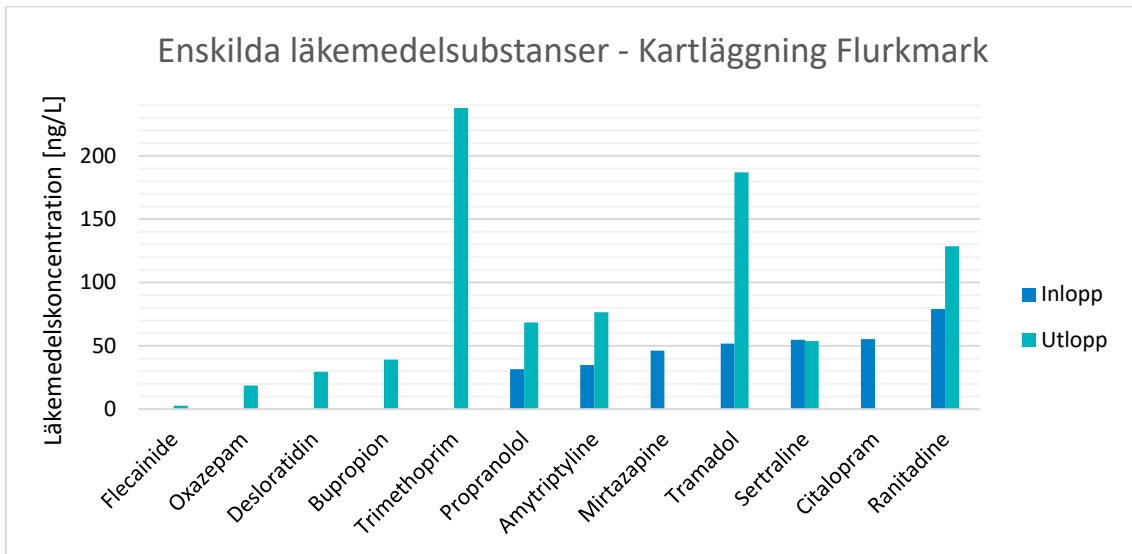
Resultaten från kartläggningen av läkemedelshalterna under förstudien visade att totalt 19 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna återfanns vid inloppet till Flurkmarks avloppsreningsverk och att inkommande koncentration var 13 263 ng/l. I utgående vatten från reningsverket detekterades totalt 22 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna och den totala koncentrationen av läkemedelssubstanser var 15 563ng/l. Se Figur 7. Vid kartläggning av Flurkmarks avloppsreningsverk så fanns inte paracetamol detekterad i vare sig inkommande eller utgående vatten från reningsverket trots att paracetamol anses vara en vanligt förekommande aktiv läkemedelssubstans.



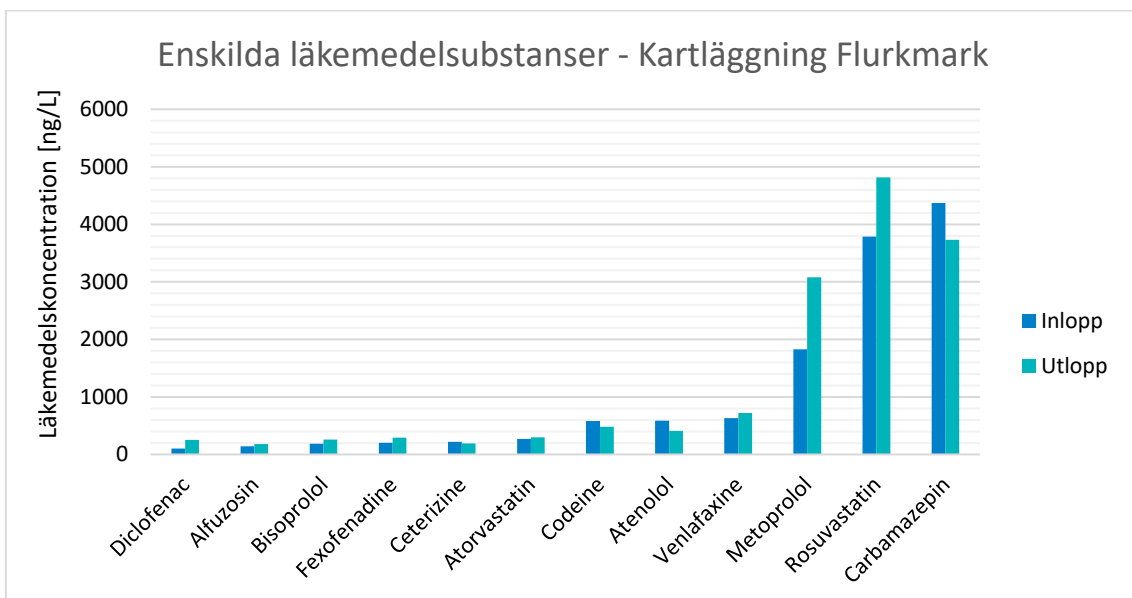
Figur 7. Diagram över koncentrationen läkemedelssubstanser i inkommande och utgående vatten från Flurkmarks avloppsreningsverk.

Sid nr. : 13 (39)

Halten efter slutsedimentering resulterar i att cirka 0,43 kg mätbara aktiva substanser (exkl. paracetamol) årligen släpps ut från Flurkmark reningsverk, beräknat på Flurkmarks medelflöde på 4,8 m³/h. Notera att den faktiska mängden aktiva läkemedelssubstanser troligen är något högre då bara en utvald fraktion av alla substanser mäts i dagsläget. Det är denna totala koncentration som det installerade systemet dimensionerades efter med vision om fullständig borttagning och en målsättning på 80 % reningsgrad vid drift i full skala. För koncentration gällande specifika halter se Figur 8 och Figur 9.



Figur 8. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid in- och utlopp med halter upp 0-100ng/l vid inloppet.



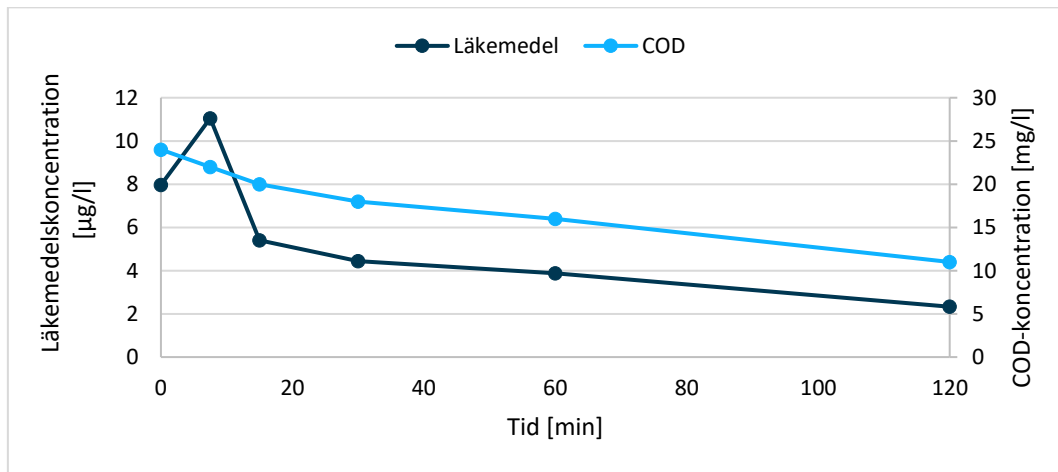
Figur 9. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid in- och utlopp med halter mellan 100-4500ng/l vid inloppet.

3.3. Pilottester hos Mellifiq

Som ett komplement till den insamlade datan från kartläggning av reningsverken så genomfördes även laborativa tester där vatten från avloppsreningsverken fick behandlas med tänkta reningsprocesser i ett litet pilotsystem. Prover togs efter olika behandlingstider av AOP samt efter behandling med GAK filter, läs mer om AOP under kapitel 2.7.2.

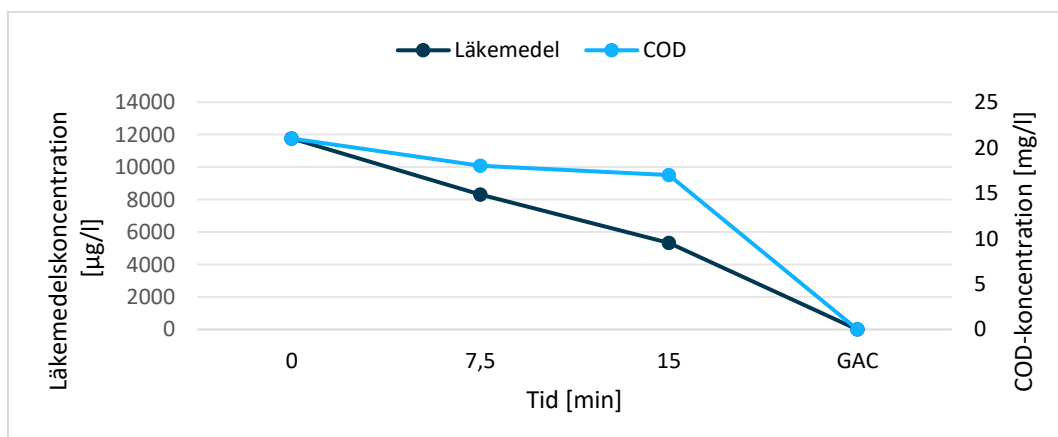
3.3.1. Pilottest Ön

För vattnet från Öns reningsverk kan utläsas en tydlig reduktion av både aktiva läkemedelssubstanser och COD. Halten Läkemedelsrester reduceras från 8 000 ng/l till 2 200 ng/l och koncentrationen COD reduceras från 24 mg/l ner till 11 mg/l. Se Figur 10.



Figur 10. Resultat från pilotstudie – ozonering, vattenprov från Öns ARV.

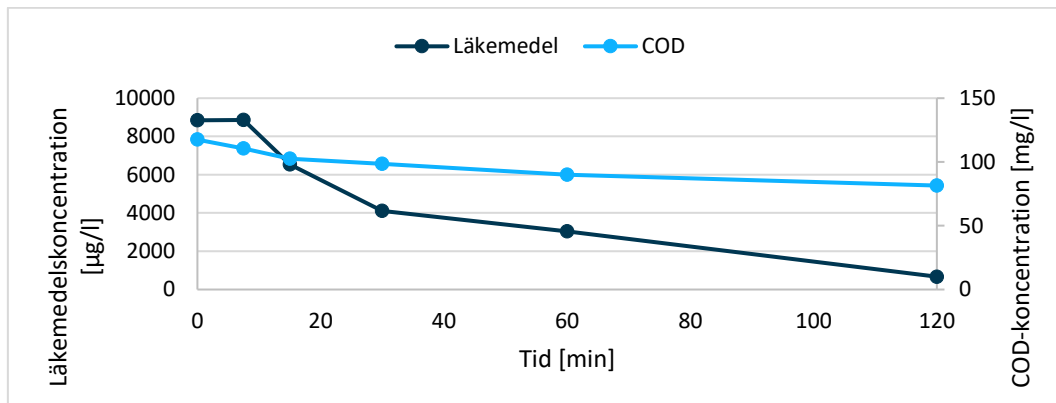
Då vattnet filtrerades genom GAK-filtret så minskade koncentrationen till under rapporteringsgränsen för både läkemedelssubstanser och för COD (6 mg/l). Se Figur 11.



Figur 11. Resultat från pilotstudie – GAK, vattenprov från Öns ARV.

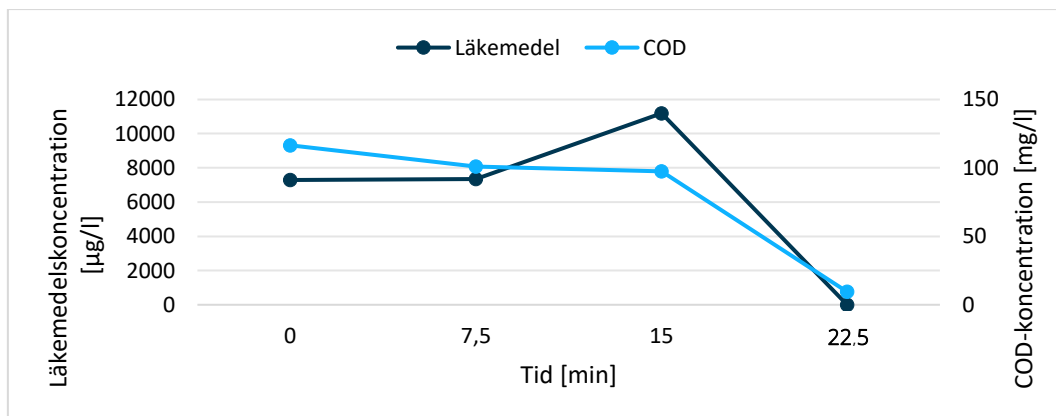
3.3.2. Pilottest Flurkmark

I vattnet från Flurkmarks reningsverk kan man se en tydlig reduktion av främst aktiva läkemedelssubstanser vid behandling med AOP. Inkommande vatten till pilotsystemet hade en koncentration på 8 844 ng/l läkemedelssubstanser och efter behandling med AOP i 120 minuter reducerades koncentrationen till 670 ng/l, se Figur 12. COD-reduktionen var mindre. Inkommande vatten hade en koncentration på 117 mg/l och sjönk till 81 mg/l efter 120 min behandling, se Figur 13.



Figur 12. Resultat från pilotstudie - ozonering, vattenprov från Flurkmarks ARV.

Genom att låta vattnet filtreras över GAK filter så reducerades koncentrationen läkemedelssubstanser till under rapporteringsgränsen och halten COD till 9,5 mg/l.



Figur 13. Resultat från pilotstudie - GAK, vattenprov från Flurkmarks ARV.

3.3.3. Val av behandlingssteg

Pilotprojekten visade på en fullständig läkemedelsreducering då vattnet behandlas med ozon följt av filtrering med GAK. Utöver detta projekterades även ett sandfiltersteg för att säkerställa att större partiklar inte passerar till läkemedelsreningsprocessen. Detta för att undvika driftproblem vid eventuella underhåll eller tillfällig bristfällig sedimentation uppströms i reningsverkets primär- eller slutsedimentering.

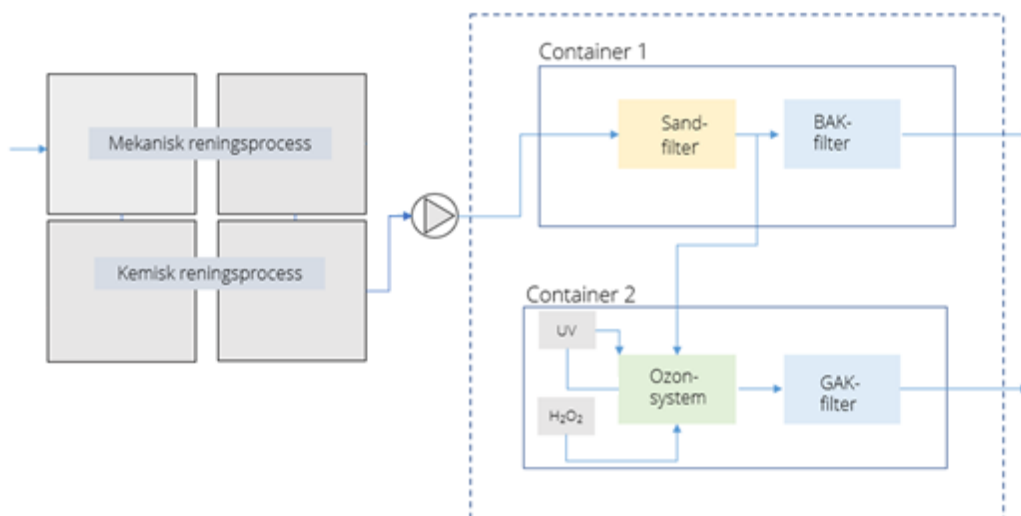
4. Installerat reningssteg

Mellifiq har levererat ett reningssystem i syfte att behandla läkemedelsresterna från Flurkmarks reningsverk. Den levererade anläggningen 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. Installerat reningssystem

Nedan i Figur 14 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 14. Schema över läkemedelsrening och dess integration med reningsverket, vattenflödet representeras av blåa pilar och systemgränser för Mellifiqs entreprenad streckad linje.

4.2. Sandfilter

Ett sandfiltersteg utgör anläggningens första reningssteg, vars syfte är att filtrera bort större partiklar för att möjliggöra en så stor reningsgrad som möjligt genom efterföljande reningssteg.

4.3. Ozonsystem – Ozonotech RENA Tellus

Mellifiq har levererat en containerbaserad Ozonotech RENA Tellus som är en skräddarsydd lösning för vattenrening. Samtliga parameterar kan anpassas och i detta fall har anläggningen dimensionerats efter förstudiens resultat vilket visade en total mätbar läkemedelsmängd på 0,5 kg/år vid 4,8 m³/h.



Figur 15. Levererat RENA Tellus system vid Flurkmarks avloppsreningsverk

4.4. GAK-filter (Granulärt aktivt kol)

Som poleringssteg har Mellifiq installerat ett GAK-filter vars huvudsakliga funktion är att verka som skyddsnet för att se till att de läkemedel som inte brutits ned och nedbrytningsprodukter som bildas under oxidationssteget adsorberas innan vattnet släpps till recipient.

Filtrering med GAK är en väletablerad reningsmetod för organiskt innehåll men kräver samtidigt regelbundna byten av filtermedia beroende på vattnets organiska innehåll. GAK-filter kan adsorbera och därav reducera en stor andel läkemedelssubstanser utan AOP som försteg. GAK-filtrering uppnår generellt hög reningsgrad av läkemedelssubstanser utan ozonering men ett ozoneringssteg innan GAK kan möjliggöra en längre livstid för kolfiltret vilket i så fall ger en anläggning med lägre driftkostnad och underhållsbehov.

5. Metod

Under juni 2021 utfördes en utvärdering av det installerade reningssystemet med partner Mellifiq som tog prover tillsammans med VAKIN. Under augusti 2021 genomfördes även en långtidsutvärdering av det installerade reningssystemet där personal från VAKIN genomförde provtagning vid tre olika tillfällen. Vattenproverna skickades sedan till extern part för analys av:

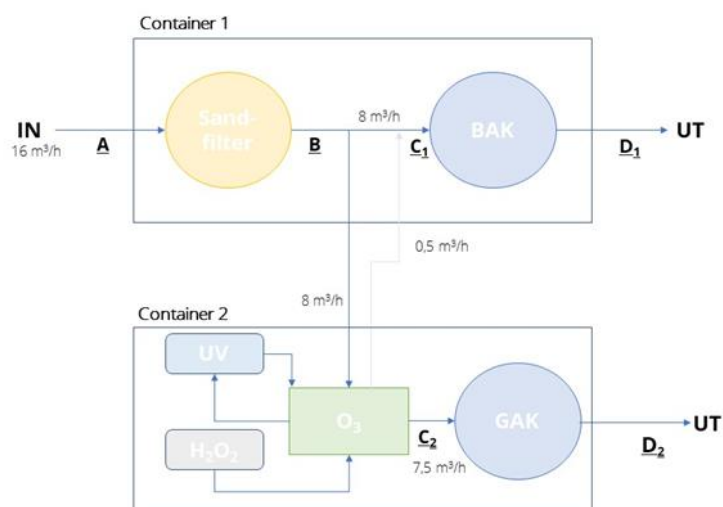
- TOC
- COD
- DOC
- BOD
- Läkemedelshalter

Läkemedelsproverna analyserades med avseende på 100 aktiva läkemedelssubstanser. Alla läkemedel som mäts och deras rapporteringsgränser presenteras i Bilaga 2.

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

5.1. Provtagning och uppehållstid

Det installerade reningssystemet vid Flurkmarks avloppsreningsverk är utrustat med sex olika provtagningspunkter märkta A, B, C1, C2, D1 och D2. Hela vattenflödet till systemet passerar provpunkt A och B. Efter Provpunkt B delas flödet för att antingen passera provplats C1 och D1, alternativt C2 och D2. Om vattnet passerar provpunkt C1 och D1 filtreras vattnet genom BAK filter. Om vattnet i stället passerar C2 och D2, så passerar vattnet AOP systemet och filtreras sedan genom GAK filter. Se Figur 16 för övergripande bild av systemet.



Figur 16. Schematisk bild över reningssystemet

Sid nr. : 19 (39)

Vid samtliga provtagningstillfällen beräknades uppehållstiden mellan varje provtagningsplats i syfte att ta proverna från samma vattenvolym. Proverna togs även med upprepning i syfte att minimera påverkan av eventuella koncentrationsfluktuationer i vattenflödet. Upphållstiden baserades på flödet vid respektive provtagningstillfälle.

Tabell 1 Upphållstider mellan provtagningsplatser, vid vattenflöde på 3,5m³/h.

Provplats	Upphållstid (min)
A-B	3
B-C ₂	5
C ₂ -D ₂	8
C ₁ -D ₁	7
A-D ₁	9
A-D ₂	15

5.2. Processparametrar och uteffekt

Vid första provtagningstillfället testades olika uteffekter av ozon (40 %, 70 %, och 100 %) i syfte att se hur mängden tillförd ozon påverkar reningsgraden i vattnet. Under samma provtagningstillfälle utvärderades även AOP systemet, där samtliga oxidationsprocesser testades enskilt och i kombination.

Vattenflödet behölls konstant vid 3,5 m³/h. Detta var ett lägre flöde än det dimensionerade flödet pga. en oväntat låg pumpkapacitet på utflödet från reningsverket.

Tabell 2. Prover tagna vid provtagningstillfälle 1

Ozoneffekt [%]	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
40	Ozon	3,5
40	Ozon + GAK	3,5
70	Ozon	3,5
70	Ozon + GAK	3,5
100	Ozon	3,5
100	Ozon + GAK	3,5
70	Ozon + UV	3,5
70	Ozon + UV + GAK	3,5
70	Ozon + UV + H ₂ O ₂	3,5
70	Ozon + UV + H ₂ O ₂ + GAK	3,5

Sid nr. : 20 (39)

70	Ozon + H ₂ O ₂	3,5
70	Ozon + H ₂ O ₂ + GAK	3,5
0	H ₂ O ₂ + UV	3,5
0	H ₂ O ₂ + UV + GAK	3,5
0	UV	3,5
0	UV + GAK	3,5

Provtagningsstillfälle 2, 3 och 4 utgjorde en långtidsutvärdering där processparametrarna hölls konstanta och utvärderades vid tre olika tillfällen.

Tabell 3. Prover tagna vid provtagningsstillfälle 2, 3 och 4

Provtagningsstillfälle	Ozoneffekt [%]	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
2	70	Ozon + UV	3,5
2	70	Ozon + UV + GAK	3,5
3	70	Ozon + UV	3,5
3	70	Ozon + UV + GAK	3,5
4	70	Ozon + UV	3,5
4	70	Ozon + UV + GAK	3,5

Vid provtagningsstillfälle 1 och 2 utvärderades även BAK filtret. Prover togs då före och efter filtret, se Tabell 4.

Tabell 4. Provtagningar genomförda på BAK filtret.

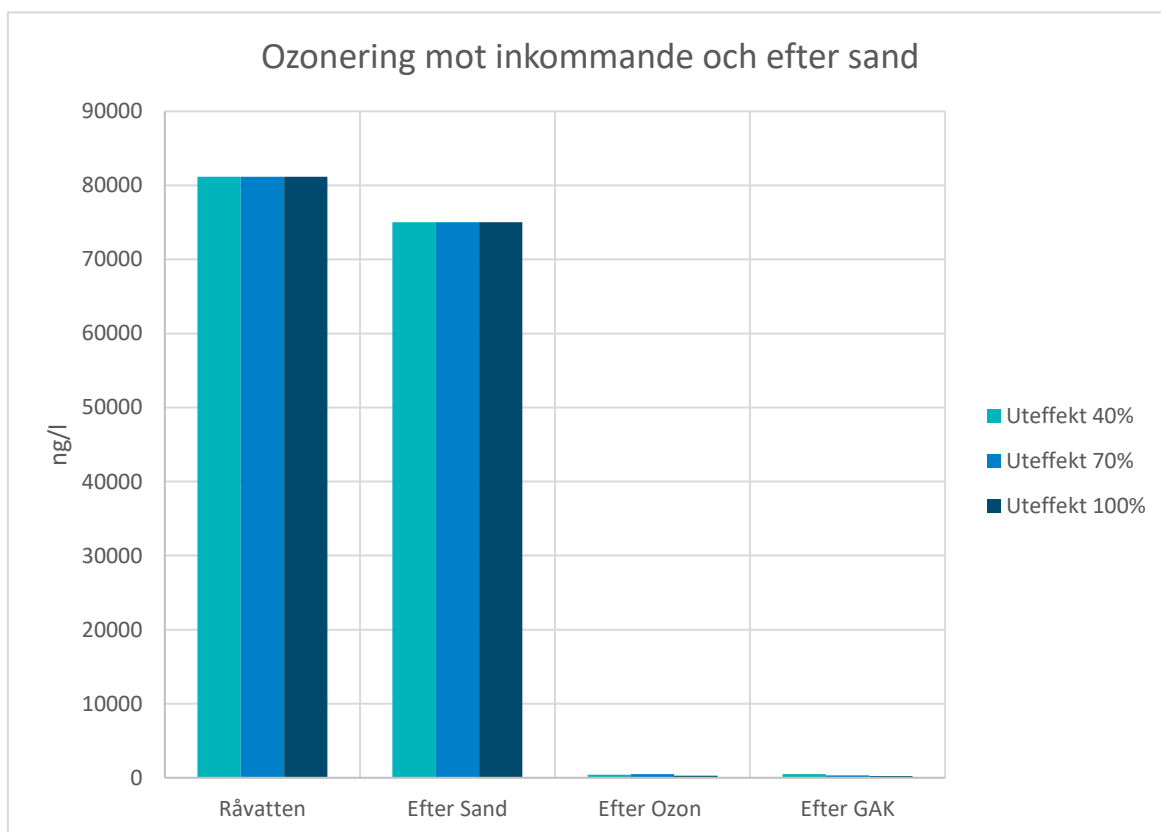
Provtagningsstillfälle	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
1	Sand	3,5
1	BAK	3,5
2	Sand	3,5
2	BAK	3,5

6. Resultat och diskussion

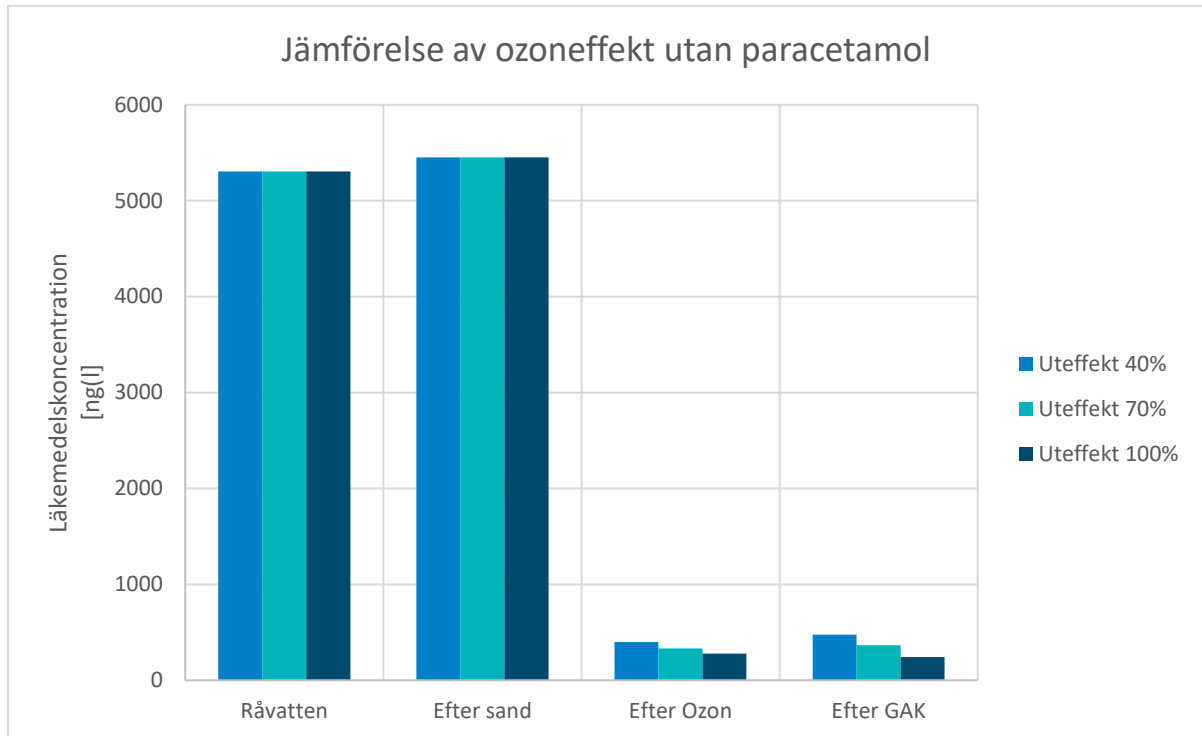
För att utvärdera reningsprocessen genomfördes fyra provtagningar. Vid Provtagningstillfälle 1 testades olika uteffekter för ozoneringssteget samt olika kombinationer av oxidationsprocesserna i AOP systemet. Provtagningstillfälle 2, 3 och 4 utformades som en utvärdering över längre tid där systemet kördes med konstanta inställningar från provtagning till provtagning.

6.1. Provtagningstillfälle 1 – Olika uteffekter ozon

Resultaten från provtagningstillfälle 1, när olika uteffekter ozon tillfördes vattenflödet, kan ses i Figur 17. Inkommande vatten hade en koncentration på 81 160 ng/l och 19 av 100 analyserade läkemedelssubstanser kunde detekteras. Efter sandfiltreringen reducerades halten läkemedelssubstanser till 75 023 ng/l. Efter ozonering med 40 %, 70 % resp. 100 % uteffekt var reduktionen av läkemedelssubstanser stor och koncentrationen sjönk till mellan 277-399ng/l med lägst reduktion för 40 % uteffekt och störst reduktion för 100 % uteffekt. Efter GAK-filtrering uppnåddes en ytterligare men knappt märkbar reduktion. Efter både ozonering och GAK-filtrering uppnåddes en reningsgrad på >99 % för samtliga prover och samtliga testade uteffekter.



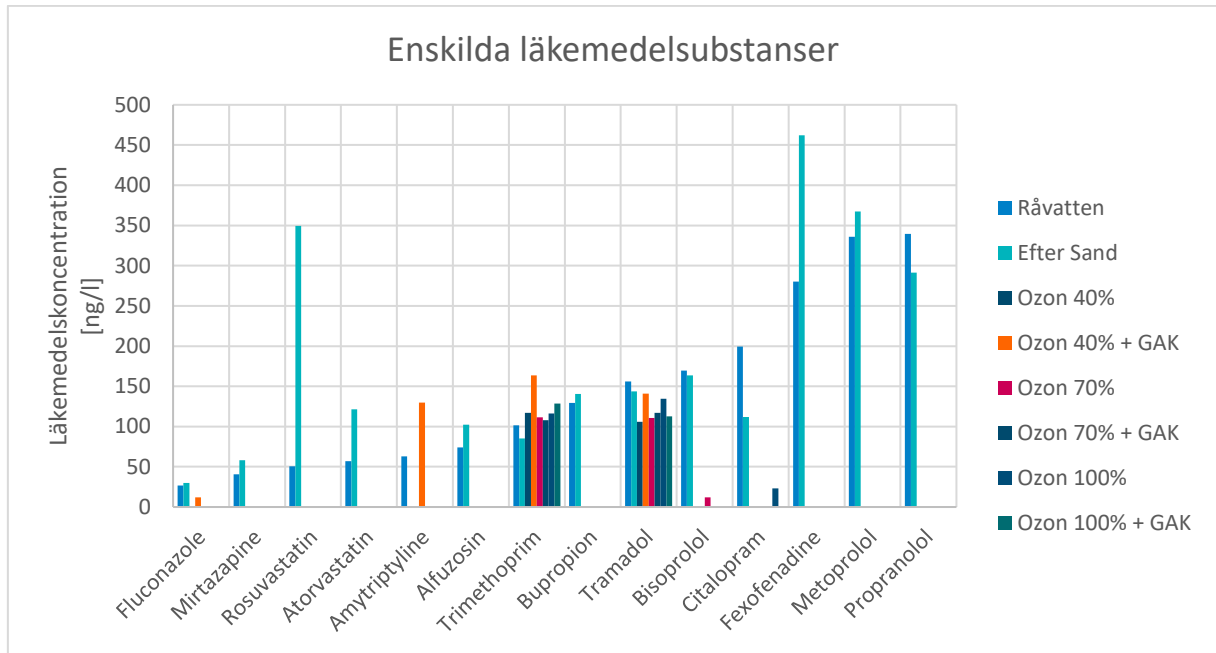
Figur 17. Resultat för prover behandlade med olika uteffekter på ozon. Efter samtliga ozonbehandlingar var reningsgraden nere på över 99%.



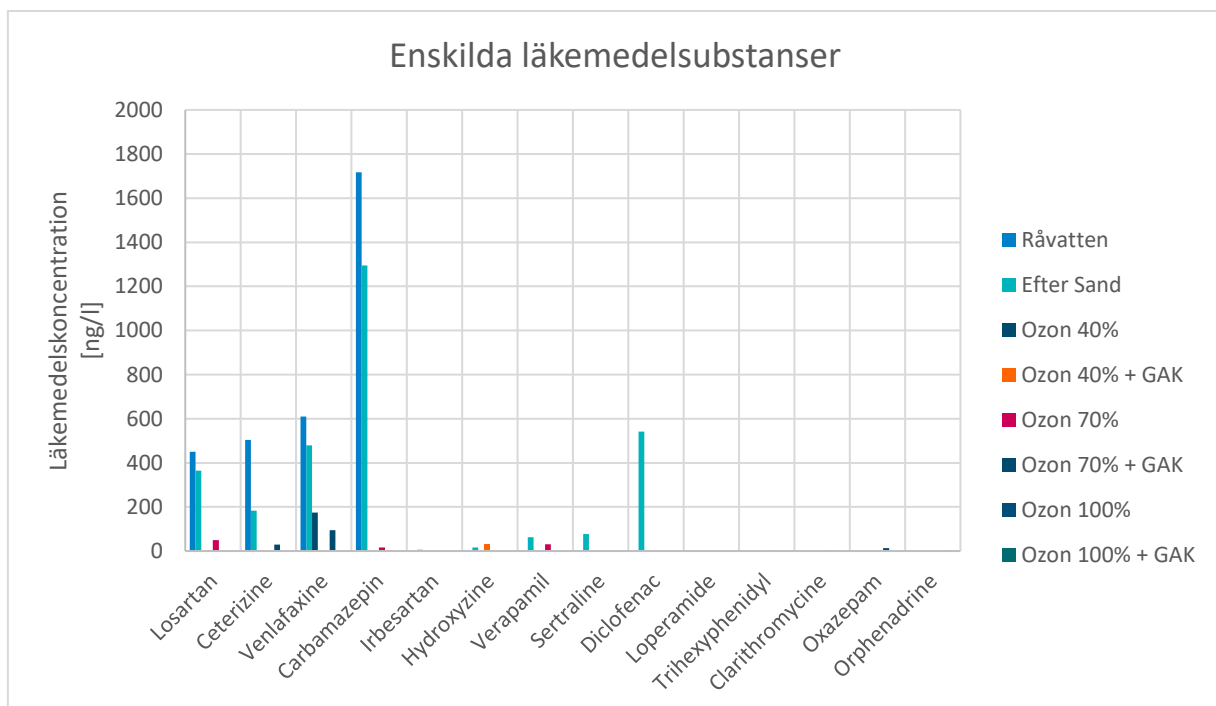
Figur 18. Resultat för prover behandlade med olika uteffekter av ozon där halten paracetamol har tagits bort från den totala koncentrationen.

Resultat för enskilda läkemedelssubstanser kan ses i Figur 19 och Figur 20. Läkemedelssubstansen med högst koncentration i vattnet var paracetamol, med en koncentration på 75 856 ng/l vid inkommande vatten till total reduktion efter ozonering med samtliga av de testade uteffekterna. Se Figur 21 för resultat beträffande paracetamol. Då paracetamol stod för den största delen av den totala mängden läkemedel i vattnet så presenteras den totala mängden läkemedel utan paracetamol i Figur 18, vilket visar en stor reduktion på 90 - 95 % även med paracetamol exkluderat.

Sid nr. : 23 (39)



Figur 19. Enskilda läkemedelssubstanser vid behandling med olika uteffekter av ozon, inkommande koncentration mellan 0-350ng/l.

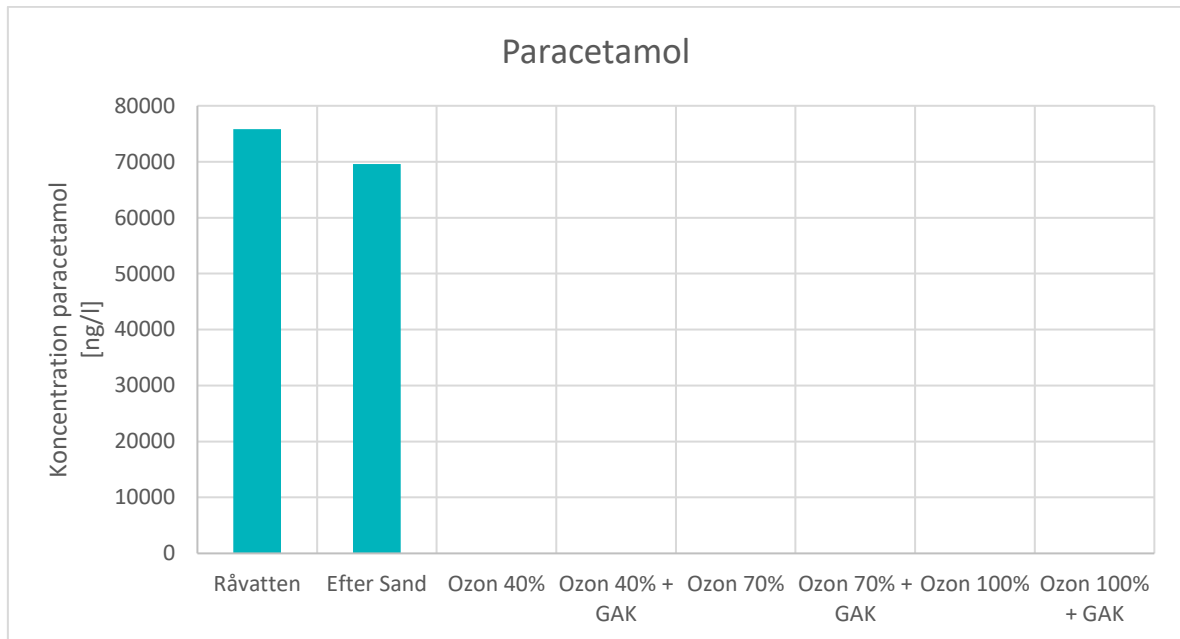


Figur 20. Enskilda läkemedelssubstanser vid behandling med olika uteffekter av ozon, koncentration mellan 350-1800ng/l.

Vid kartläggning av de båda avloppsreningsverken, Ön och Flurkmark, detekterades inte den aktiva läkemedelssubstansen paracetamol i vare sig inkommande eller utgående vatten från reningsverken. Under utvärderingen av reningsystemet som installerades vid Flurkmarks avloppsreningsverk så uppmättes höga halter av paracetamol i inkommande flöde till systemet. Därför är det stor sannolikhet att även

Sid nr. : 24 (39)

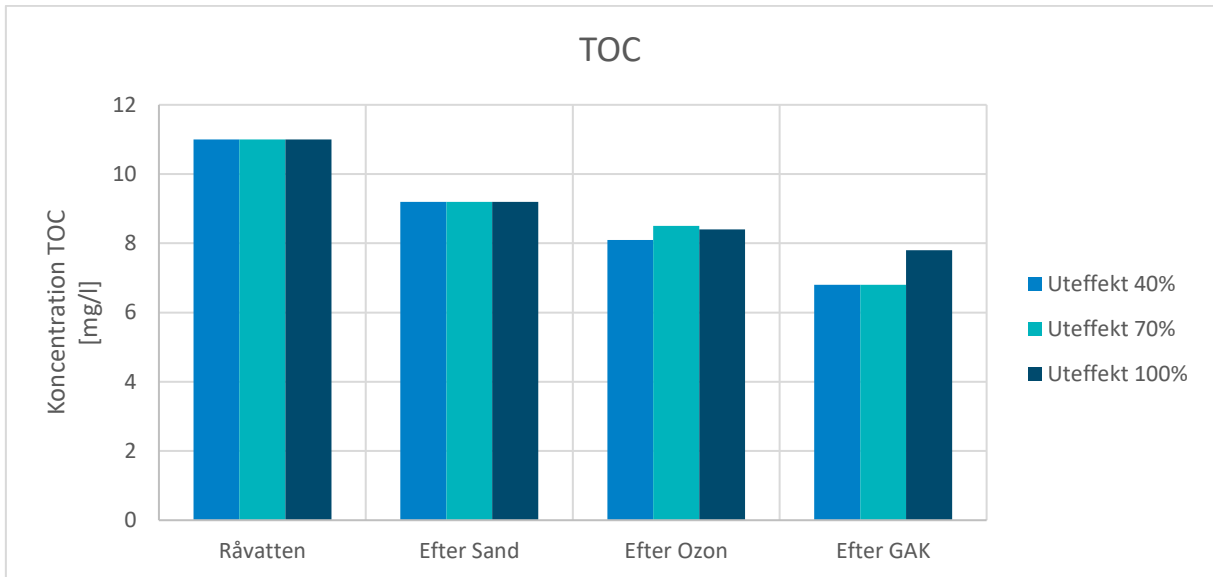
Öns avloppsreningsverk har högre halter av paracetamol i sitt inkommande flöde till reningsverket. Då Öns avloppsreningsverk har biologiskt reningssteg till skillnad från Flurkmark uppnås därmed en betydande reduktion av halten paracetamol vid Öns reningsverk. Utgående vatten från reningsverket är därför inte direkt jämförbart med Flurkmarks utgående vatten, då Flurkmark inte har något biologiskt reningssteg.



Figur 21. Koncentration för paracetamol vid olika uteffekter av ozon.

6.1.1. TOC, DOC och COD

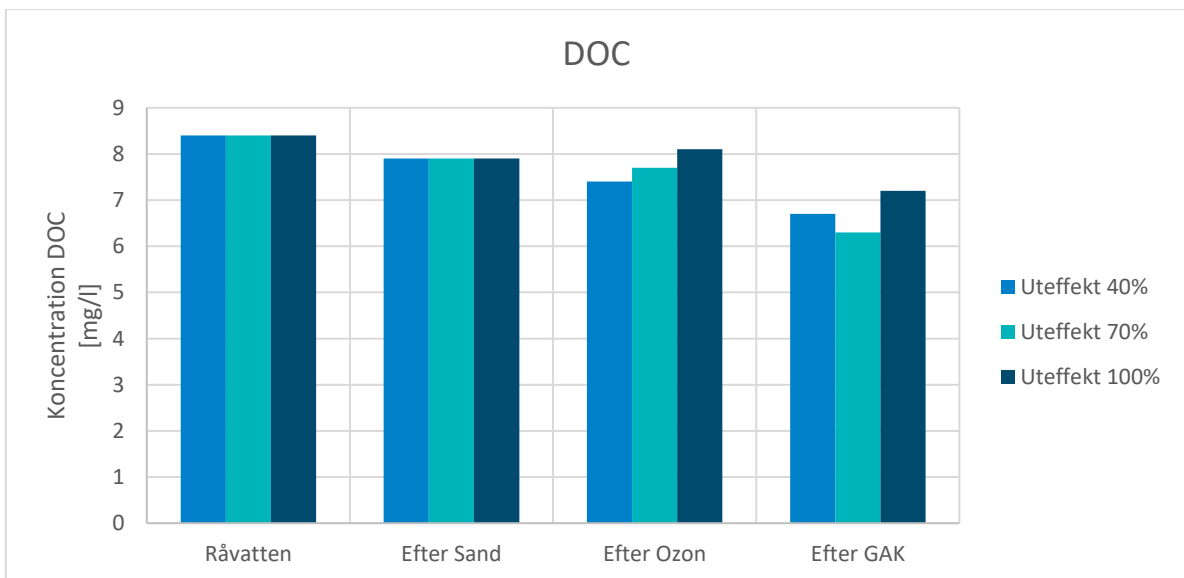
Utöver läkemedelsanalyser undersöktes även koncentration av TOC, DOC och COD för de olika reningsstegen i systemet. Inkommande vatten har en TOC koncentration på 11 mg/l. Koncentrationen TOC minskade sedan med 1 - 2 mg/l efter respektive reningssteg och utgående vatten från reningssystemet hade en koncentration på 7 - 8 mg/l för samtliga testade uteffekter av ozon.



Figur 22. Koncentration TOC vid olika uteffekter av ozon.

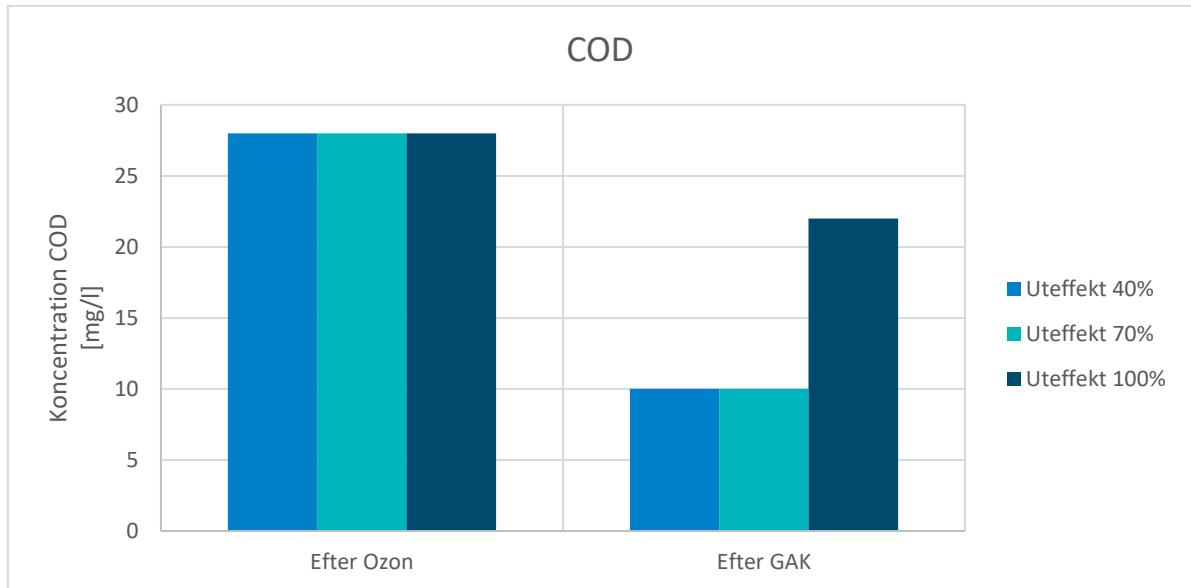
Resultaten för DOC visar att den huvudsakliga mängden organiskt material som förekommer i vattnet var i löst form och en mindre andel i fast. Inkommande vatten till reningssystemet hade en koncentration på 8,5 mg/L och utgående vatten hade en koncentration på 6,5 – 7,2mg/l.

Resultaten i figurerna 22 och 23 visar att icke löst organiskt material (TOC minus DOC) huvudsakligen reduceras i sandfiltret och löst organiskt material huvudsakligen reduceras av GAK.



Figur 23. Koncentration DOC vid olika uteffekter av ozon.

COD-resultat presenteras i Figur 24, där halten efter ozonering uppmättes till 28 mg/l och efter GAK reducerades till <20 - 22 mg/l.

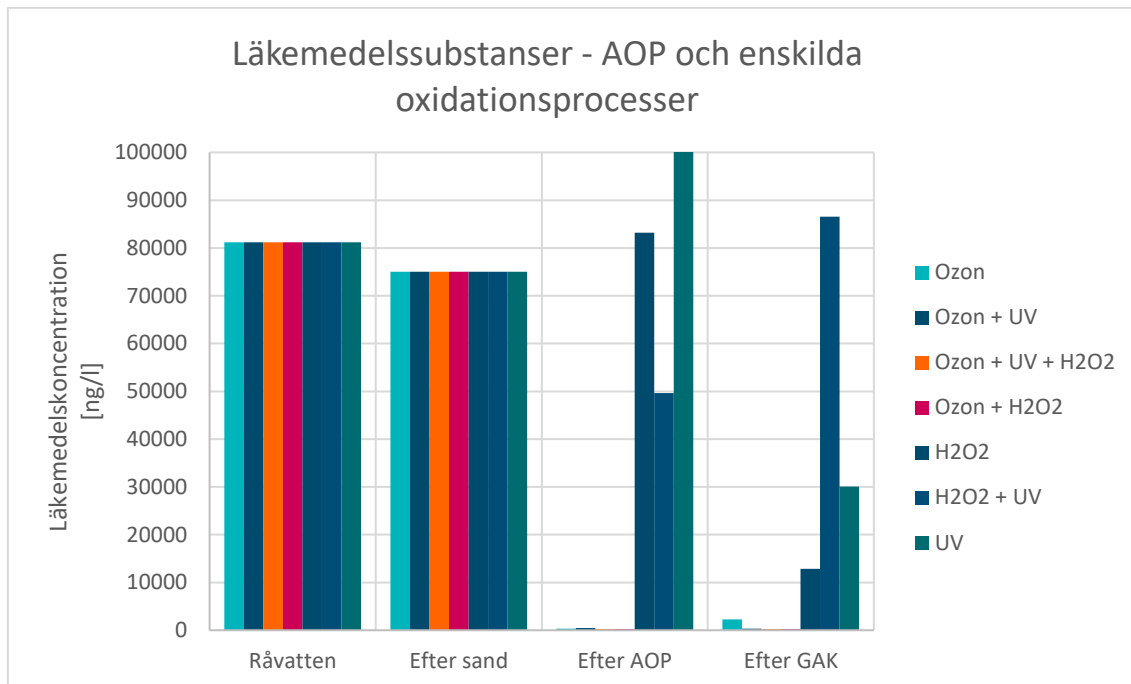


Figur 24. Koncentration COD vid olika uteffekter av ozon. Resultaten för ozonering med uteffekt på 40% respektive 70% så var de uppmätta COD koncentrationerna under rapporteringsgränsen (20mg/L) och resultatet för dessa prover är därför satt till hälften av rapporteringsgränsen, 10mg/L.

6.2. Provtagningstillfälle 1 – AOP och enskilda oxidationsprocesser

Vid provtagningstillfälle 1 (som inkluderade utvärdering av AOP och enskilda oxidationsprocesser) var ozon den mest effektiva oxidationsprocessen. Vid samtliga behandlingar innehållande ozonering reduceras koncentrationen läkemedelssubstanser med 99 %. Då ozonet i sig leder till en så betydande reduktion är det svårt att utvärdera synergieffekterna mellan de tre olika oxidationsprocesserna (ozon resp. UV och väteperoxid).

För övriga testade oxidationsprocesser visade resultaten att kombinationen UV och väteperoxid har en större läkemedelsreducerande effekt än behandling med UV och väteperoxid enskilt. För de enskilda oxidationsprocesserna (UV och väteperoxid) tycks koncentrationen av läkemedelssubstanser öka. Generellt för oxidationsprocesserna identifierades en återkommande trend där koncentrationen läkemedel först stiger innan reduktionen tar fart. Samma mönster erhöles från pilotstudien se Figur 10.

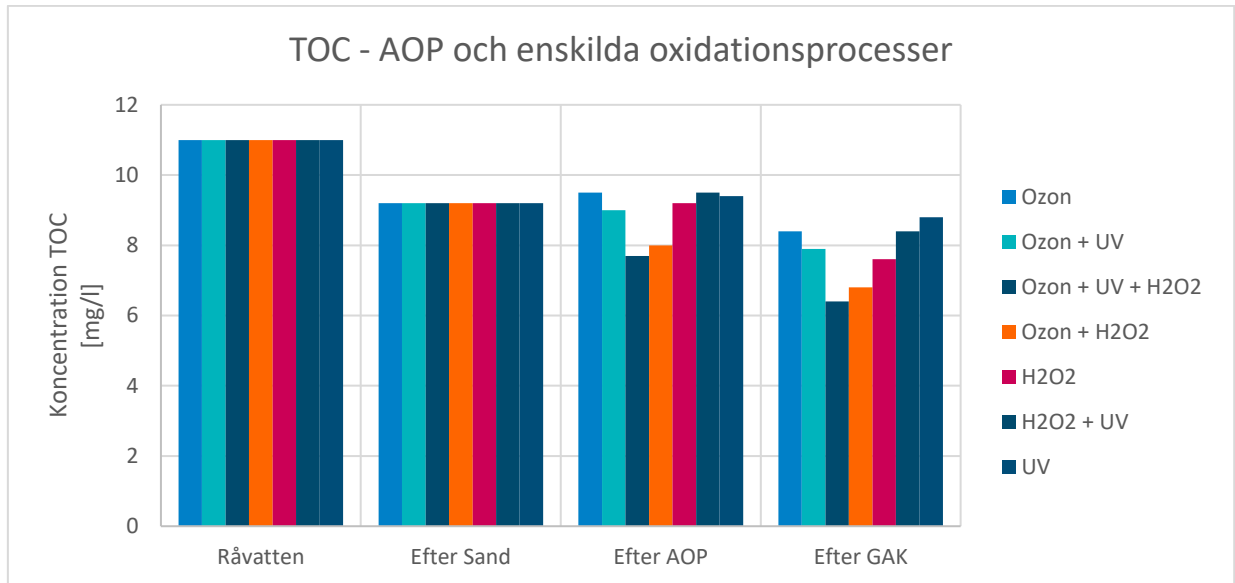


Figur 25. Resultat för prover behandlade med AOP och enskilda oxidationsprocesser.

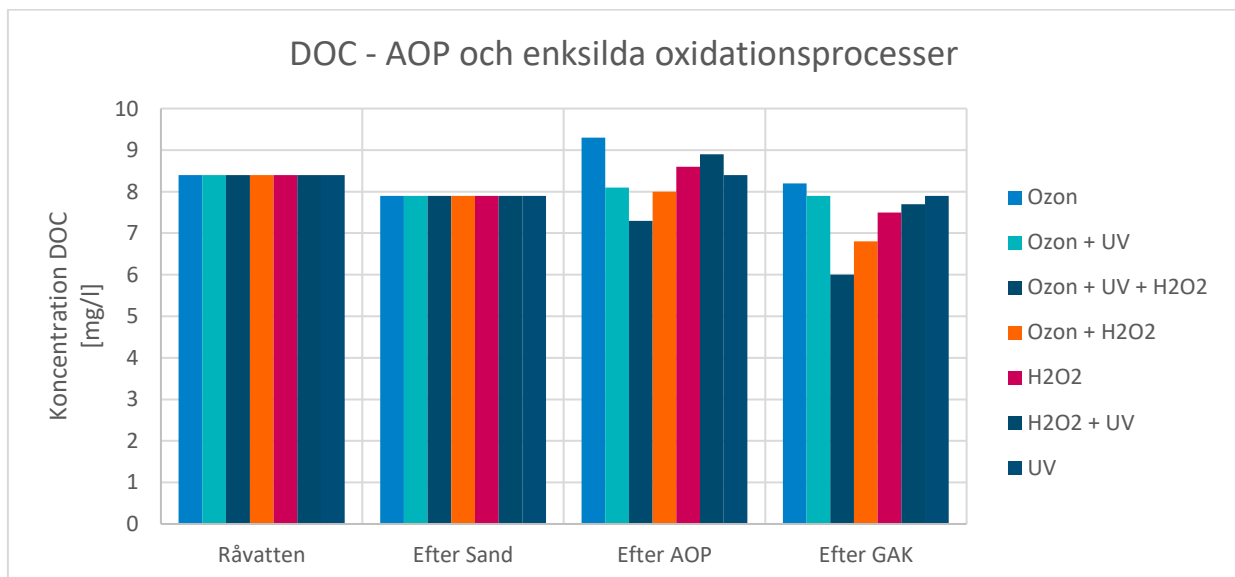
6.2.1. TOC, DOC och COD

Under utvärderingen av AOP analyserades även vattenprover för TOC, DOC och COD. Resultaten för TOC och DOC visade på en fortsatt stor andel löst organiskt material i vattnet där merparten av det icke lösta organiska materialet reduceras efter sandfiltrering.

AOP ger en viss reduktion av koncentrationen TOC och DOC, och här är det möjligt att se en synergieffekt mellan de olika oxidationsprocesserna. Då alla tre oxidationsprocesser används uppmäts de lägsta TOC- och DOC-halterna. Det som resultaten också visade var att mängden TOC och COD som minskades av både AOP och GAK var relativt låg i jämförelse med minskningen av mängden läkemedelssubstanser, se Figur 26 och Figur 27. En möjlig orsak till det kan vara att läkemedelssubstanserna generellt sett är mer mottagliga för oxidation jämfört med övrigt organiskt innehåll.

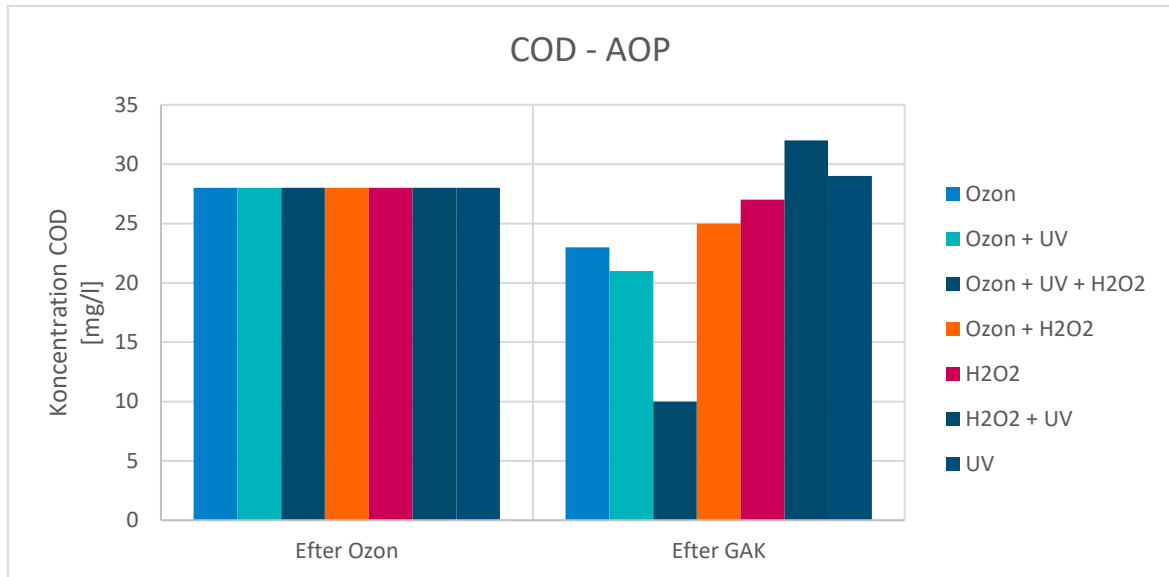


Figur 26. Koncentration TOC vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser.



Figur 27. Koncentration DOC vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser.

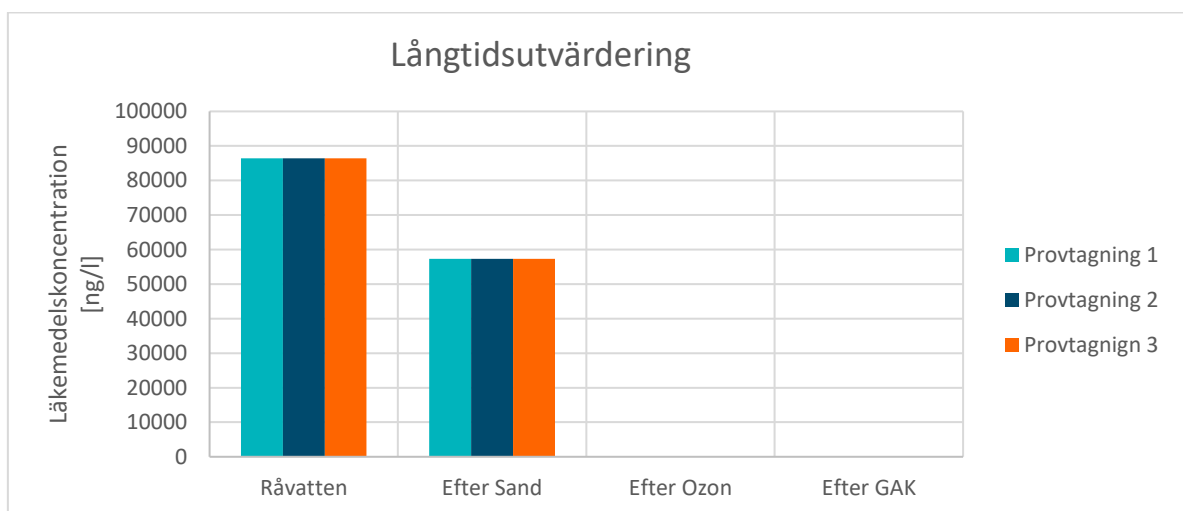
Resultaten för COD visade att ozon som enskild oxidationsprocess uppnådde högst reduktion av COD. Den AOP som uppnådde högst reduktion utgjordes av en kombination av samtliga tre oxidationsprocesser, se Figur 28. Halten i utgående vattenflöde efter AOP behandlingen var då under rapporteringsgränsen.



Figur 28. Koncentration COD vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser. Koncentrationen COD efter vattenbehandling med ozon, väteperoxid och UV tillsammans är under rapporteringsgränsen på 20 mg/L, där av är stapeln satt till 10.

6.3. Provtagningsstillfälle 2 – 4 (Långtidsutvärdering)

Provtagningsstillfälle 2, 3 och 4 utgör tillsammans en utvärdering av processen över längre tid och presenteras i figur 29. Vattnet behandlades genom ozonering med en uteffekt på 70 %, följt av GAK-filtrering. Inkommande vatten hade en koncentration på 86 415 ng/l som reducerades till 57 348 ng/l efter sandfiltrering. Efter ozonering uppnåddes en reduktion av läkemedel på 99 %. Efter GAK-filtrering reducerades inte halten ytterligare. Samtliga provtagningsstillfällen uppvisade liknande resultat vilket visar att processen kan leverera en hög reningsgrad under långtidsutvärderingens angivna tidsperiod.



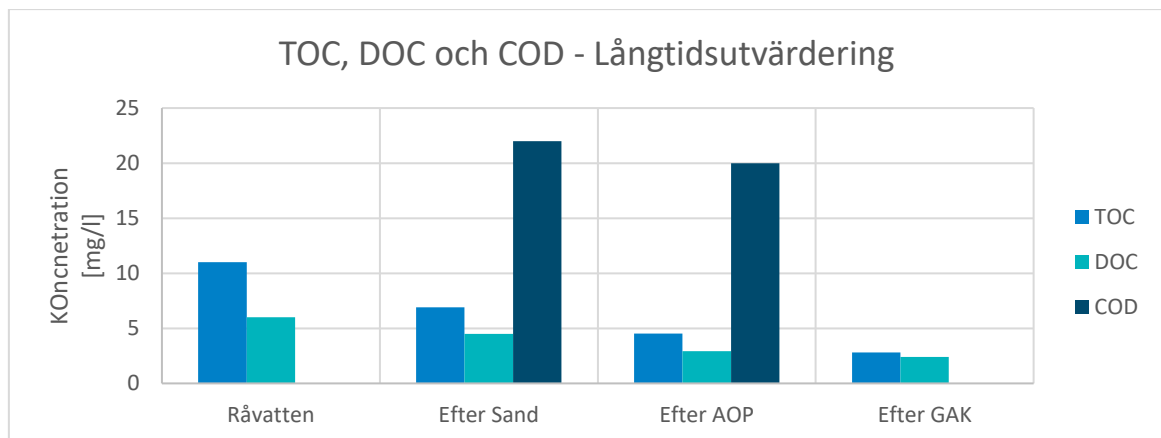
Figur 29. Resultat för prover under långtidsutvärdering.

6.3.1. TOC, DOC och COD

Under långtidsutvärderingen analyserades även TOC, DOC, och COD. Resultaten presenteras i figur 30. Koncentrationen TOC i vattnet var 11 mg/l och koncentrationen DOC 6 mg/l vilket tyder på en hög andel icke löst organiskt material i vattnet. Efter sandfiltrering är skillnaden mellan TOC och DOC betydligt mindre vilket visar att sandfiltrering reducerar icke löst organiska material. Efter AOP reducerades både koncentrationen TOC och DOC.

Koncentrationen COD uppmättes till 22 mg/L innan AOP behandling och 20 mg/l efter AOP behandlingen. Mätosäkerheten för vald analysmetod för COD är 10-25% vilket betyder att minskningen i COD från innan AOP till efter inte kan påvisas med säkerhet.

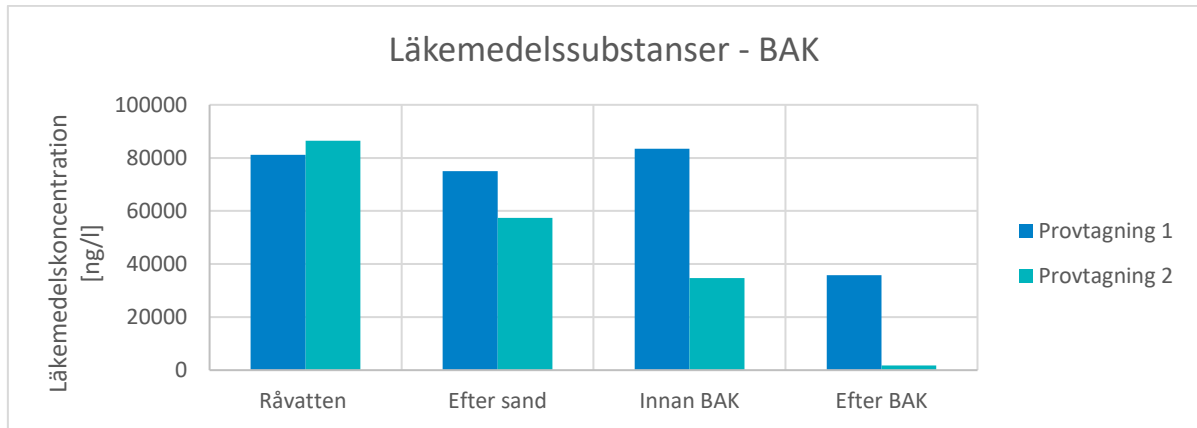
Efter att vattnet passerat över GAK filtret uppvisar resultaten inte någon signifikant skillnad i koncentration för TOC och DOC jämfört med innan GAK filtreringen.



Figur 30. Koncentration TOC, DOC och COD under långtidsutvärdering.

6.4. BAK-filtrering

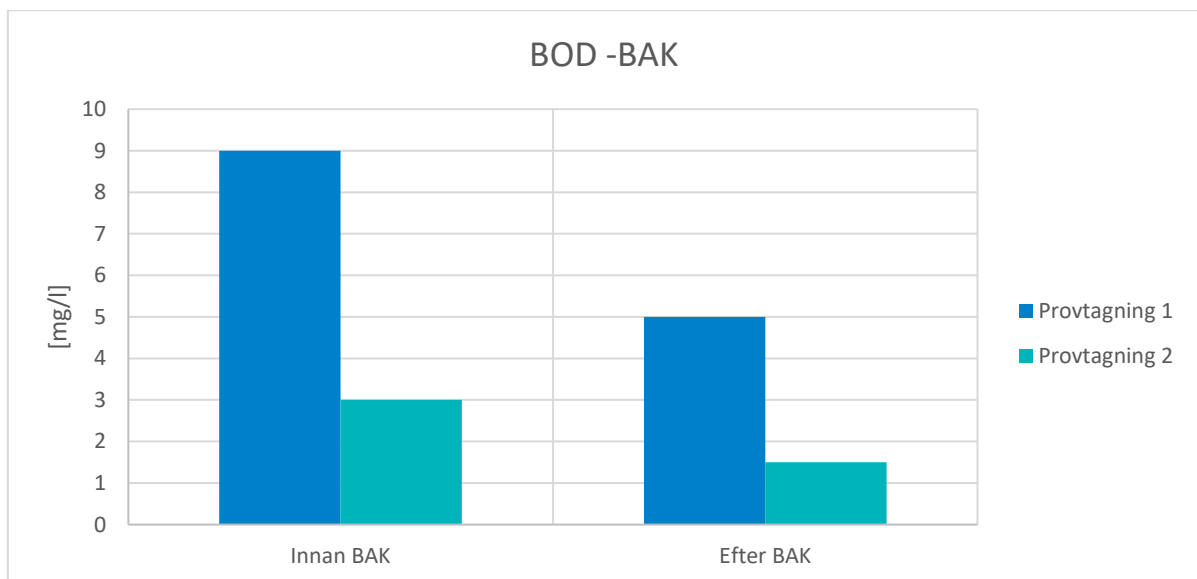
Vid provtagningstillfälle 1 och 2 togs även prover för utvärdering av BAK-filtret. Resultaten beträffande läkemedelssubstanser är presenterat i figur 31. Vid provtagning 1 uppnåddes en reduktion på 72 % av läkemedelssubstanserna efter BAK-filtret. Vid provtagning 2 uppnåddes en reduktion på 98 % av läkemedelssubstanserna efter BAK-filtret. Vid tillfälle 2 uppvisades dock även en högre reduktion över sandfiltreringssteget.



Figur 31 Läkemedelshalter vid BAK-filtrering.

6.4.1. BOD

Under utvärderingen av BAK-filtret analyserades även BOD före och efter BAK-filtret för att utvärdera etableringen av en eventuell mikrobiologi i kolbädden. Under båda provtagningstillfällena reducerades halten BOD vilket indikerar att mikrobiologi etablerats, minskningen kan även bero på adsorption.



Figur 32. BOD-halter vid BAK-filtrering. Koncentrationen BOD efter BAK-filtrering vid provtagning 2 var under rapporteringsgränsen (3mg/l).

6.5. Resulterande totala läkemedelshalter

19 av 100 analyserade läkemedelssubstanser återfanns i utloppsvattnet från Flurkmarks reningsverk vid första provtagningstillfället och medianvärdet av de detekterade läkemedelssubstanserna var 185 ng/L. Den läkemedelssubstans som detekterades med högst koncentration var paracetamol som stod för 94 % av den uppmätta koncentrationen.

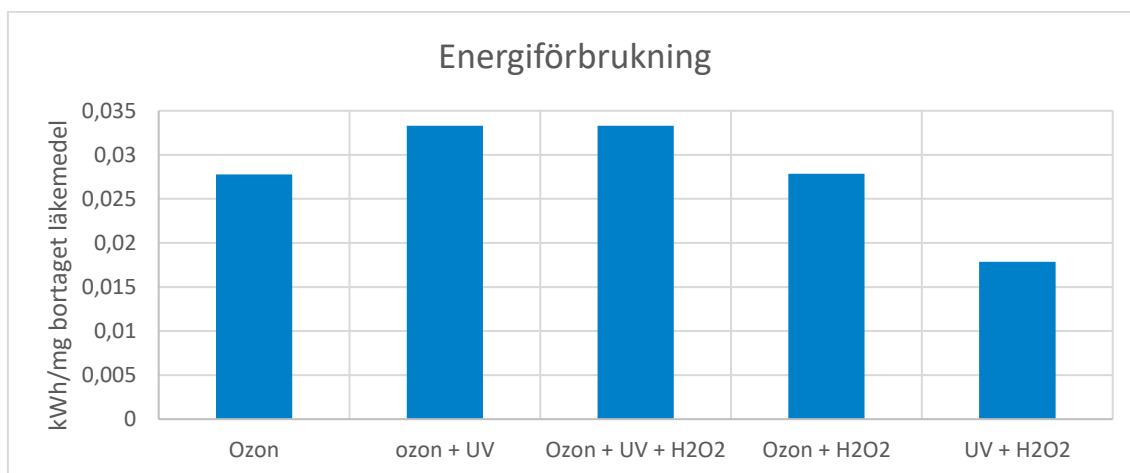
Tabell 5. Läkemedelssubstanser med högst uppmätta koncentrationer

Aktiv läkemedelssubstans	Användningsområde	Koncentration [ng/l]
Paracetamol	Smärtstillande	75 856
Karbamazepin	Epilepsibehandlingspreparat	1 717
Vanlafaxin	Antidepressivt	610
Caterizine	Allergimedcin	504
Losartan	Blodtrycksmedicin	450
Propanolol	Blodtrycksmedicin	399
Metroprolol	Hjärtrytmstabiliserande medicin	336

6.6. Energiförbrukning

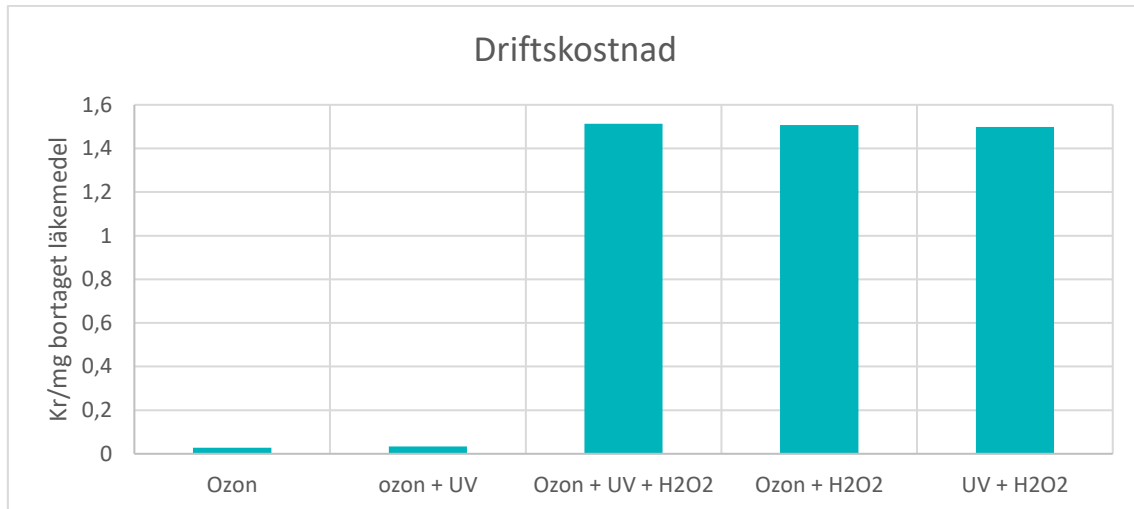
De olika oxidationsprocesserna har jämförts med avseende på energigång i relation till reducerad mängd läkemedel. Nedan presenteras elektrisk effekt per mg reducerad läkemedels substans för de olika implementerade teknologierna (se Figur 33).

Effektbehovet har beräknats genom att summera behovet för komponenter i systemet. Särskilt effektkrävande komponenter är syrgas- och ozongeneratorer, UV-reaktor, pumpar och kylsystem.



Figur 33. Energiförbrukning per mg reducerad läkemedels substans. Energiförbrukningen redovisas inte för väteperoxid och UV var för sig. Detta pga. att oxidationsprocesserna enskilt inte bidrog till någon rening av läkemedels substanser.

Det tillkommer även kemikaliekostnader för väteperoxidbehandlingens driftkostnad. Estimerad driftkostnad för respektive AOP och oxidationsprocess visas i Figur 34.



Figur 34. Driftskostnaden för de olika oxidationsprocesserna med avseende på mängd reducerade läkemedelssubstanser (elkostnad är satt till 1kr/kWh).

6.7. Nyckeltal

Nedan presenteras utvalda nyckeltal med reningsgraden för de olika oxidationsprocesserna.

Tabell 6. Beräknade nyckeltal för anläggningens olika processinställningar.

Processinställning	Reningsgrad [%]	kWh/m ³ [Renat vatten]	kWh/mg [Borttaget läkemedel]	Läkemedel/år [kg]
Ozon (70% uteffekt)	99%	2,25	0,027	2,5
Ozon (70% uteffekt) + UV	99%	2,69	0,033	2,5
Ozon (70% uteffekt) + UV + väteperoxid	99%	2,69	0,033	2,5
Ozon (70% uteffekt) + Väteperoxid	99%	2,25	0,027	2,5
Väteperoxid	-2%	0,12	-	
Väteperoxid + UV	39%	0,56	0,018	1
UV	-24%	0,56	-	

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 mätosäkerhet och varierande koncentrationer i det uppmätta flödet.

6.7.1. Effektbehov vid läkemedelsborttagning

Vid analys av nyckeltalet kWh/m³ behandlat vatten kan utläsas att det ökar allt eftersom effekten på anläggningen ökar. Det som dock ska tas i beaktning är att med

Sid nr. : 34 (39)

”renat vatten” så menas mängden vatten som passerar anläggningen men tar inte reningsgraden i beaktning.

6.7.2. Läkemedel som elimineras varje år

Erhållna resultat påvisar en effektiv reduktion av majoriteten mätbara läkemedelssubstanser som passerar genom Flurkmarks avloppsreningsverk. Det implementerade reningssystemet uppnår en estimerad läkemedelsreduktion på 2,5 kg/år vid ett vattenflöde på 3,5 m³/h. En motsvarande uppskalad process på Öns reningsverk med ett medelflöde på 35 000 m³/dygn ger en årlig estimerad läkemedelsreduktion på ca 1 ton. Dock reducerar Öns reningsverk redan halten paracetamol (vilken utgör merparten av uppmätta läkemedelssubstanser) i hög grad vilket skulle ge en estimerad läkemedelsreduktion på ca 50 – 100 kg per år för Öns verk för uppmätta substanser i denna studie. För Flurkmarks totala medelflöde på 4,5 m³/h skulle det innebära en årlig estimerad läkemedelsreduktion på 3,1 kg.

Det är dessutom troligt att den verkliga mängden är betydligt högre då urvalet endast omfattar ett knappt hundratal av de ca 3000 registrerade läkemedelssubstanser i EU (Hamrén, 2017).

7. Slutsatser och rekommendationer

Den mest effektiva av de utvärderade oxidationsprocesserna med avseende på reducerad halt läkemedelssubstanser visades vara ozonering. I samtliga provtagningar där vattnet behandlats med ozon var reningsgraden av >99 %. Då paracetamol exkluderas från resultaten så uppnås en rening på mellan 90–95%.

När det kommer till synergieffekter mellan olika oxidationsprocesser vid AOP är det svårt att dra slutsatser gällande vilken kombination av oxidationsprocesser som är mest effektiv. Anledningen till detta beror på den redan höga reduktionen orsakad av ozonering. En granskning av mängden reducerad TOC och DOC indikerar att ozon i kombination med väteperoxid troligen uppnår störst reduktion med avseende på generellt organiskt innehåll.

För att utvärdera systemet ytterligare med avseende på synergieffekterna mellan de olika oxidationsprocesserna hade det troligen varit fördelaktigt att genomföra provtagningar där uteffekten på ozon sänks till dess lägre spann.

I Figur 33 presenteras energiförbrukningen och indikerar att ozonering är det mest energikrävande reningssteget men även det mest effektiva med avseende på reduktion av läkemedelssubstanser. Det bör dock noteras att det tillkommer fler driftskostnader utöver energiförbrukning, exempel på det är kemikaliekostnader för väteperoxid. Det tillkommer även underhållskostnader för de olika reningsstegen.

Beträffande BAK-filtrering har en god reduktionsförmåga av läkemedelssubstanser påvisats, det är dock svårt att avgöra om det bildats en mikrobiologisk kultur i

kolbädden eller om reningssteget verkar som ett GAK-filter. Reningsgraden uppmättes till som mest 98 % vid provtagningstillfälle 2.

7.1. Kombinerade reningstekniker för ökad reningsgrad

Vid lägre reningsgrad i reningsprocesser före GAK-steget (exempelvis vid behandling med UV eller väteperoxid) har GAK-filtret uppvisat en god adsorptionsförmåga vilket kvalificerar reningstekniken som ett bra kompletterande reningssteg exempelvis vid ev. problem med uppströms reningssteg.

Resultaten i denna studie stödjer även att välfungerande oxidationssteg uppströms GAK-filter minskar halter av läkemedel och övriga organiska föroreningar i vattnet vilket ökar filtermediets livslängd. Därmed minskas även GAK-filtrets driftkostnader.

7.2. Rekommendationer för vidare drift

Resultaten från projektet var över förväntan och resultaten uppvisade hög reningsgrad på >99 % och 90–95% om paracetamol exkluderas för den utvärderade processen. För vidare drift av reningssystemet rekommenderas i första hand en kombination av ozonering och GAK-filtrering.

För framtida tester rekommenderas att undersöka kombinationseffekterna av de olika oxidationsprocesserna mer i detalj. Därutöver rekommenderas en mer ingående studie av BAK-filtret med avseende på tiden det tar för filtret att etablera mikrobiologi samt hur reningsförmågan påverkas över ett längre tidsspann.

8. Referenser

- Boverket. (den 16 Oktober 2017). *Riksintressen enligt kap 4 Miljöbalken*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/riksintressen/riksintressen-enligt-4-kap-mb/>
- Brodin T., F. J. (den 15 February 2013). Dilute Concentrations of a Psychiatric Drug alter Behavior of Fish from Natural Populations. *Science* 339, ss. 814-815.
- 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.
- Fick J., L. R.-L. (2011). *Results from the Swedish National Screening Programme 2010*. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.
- 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/>
- Johan Ahlström. (2020). *Tavelån*. Västerbotten: Länsstyrelsen.
- 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 miljökvalitetsnormer 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>

Sid nr. : 37 (39)

Pengkang, J., Xin, J., Xianbao, W., Yongning, F., & Xiaochang, W. C. (2013). Biological Activated Carbon Treatment Process for Advanced Water and Wastewater Treatment. i M. D. Matovic, *Biomass Now - Cultivation and Utilization*.

Pontén, J., Rönholm, G., & Skiöld, P. (2017). *PPRI Pharma Profile Sweden*. Stockholm: Dental and Pharmaceutical Benefits Agency.

Sehlén, R., Malmberg, 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. Bilaga 1

Tabell 7. 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	Stor användning, stor andel receptfritt, har hittats i ytvatten
Karbamazepin	Har hittats i dricksvatten och 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
Trimetoprim	Stor användning, har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam
Zolpidem	Har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam

10. Bilaga 2

Tabell 8. Analyserade läkemedelssubstanser med rapporteringsgräns.

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

 **MELLIFIQ**

Slutrapport Läkemedelsrening vid Flurkmarks avloppsreningsverk

Datum: 2021-11-16

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	4
2.	Bakgrund	5
2.1.	Negativa effekter av läkemedelsrester i naturen	5
2.2.	Läkemedelskonsumtion	5
2.3.	Recipient – Fällforsån.....	5
2.4.	Recipient - Umeälven	6
2.5.	Flurkmarks nuvarande reningsanläggning.....	6
2.6.	Samarbete med Mellifiq	7
2.7.	Eliminering av läkemedel genom oxidationsprocess, GAK och BAK.....	7
2.7.1.	Ozonering.....	8
2.7.2.	AOP (Advanced oxidations process)	8
2.7.3.	GAK (Granulärt aktivt kol).....	8
2.7.4.	BAK (biologiskt aktivt kol).....	9
2.7.5.	Sandfiltrering.....	9
3.	Förstudie	10
3.1.	Kartläggning av läkemedel Ön	10
3.2.	Kartläggning av läkemedel Flurkmark	12
3.3.	Pilottester hos Mellifiq	14
3.3.1.	Pilottest Ön	14
3.3.2.	Pilottest Flurkmark	15
3.3.3.	Val av behandlingssteg	15
4.	Installerat reningssteg	16
4.1.	Installerat reningsystem	16
4.2.	Sandfilter	16
4.3.	Ozonsystem - Ozonetech RENA Tellus.....	17
4.4.	GAK-filter (Granulärt aktivt kol)	17
5.	Metod.....	18
5.1.	Provtagning och uppehållstid.....	18
5.2.	Processparametrar och uteffekt.....	19
6.	Resultat och diskussion.....	21
6.1.	Provtagningstillfälle 1 – Olika uteffekter ozon.....	21

Sid nr. : 3 (39)

6.1.1.	TOC, DOC och COD.....	24
6.2.	Provtagningstillfälle 1 – AOP och enskilda oxidationsprocesser.....	26
6.2.1.	TOC, DOC och COD.....	27
6.3.	Provtagningstillfälle 2 – 4 (Långtidsutvärdering).....	29
6.3.1.	TOC, DOC och COD.....	30
6.4.	BAK-filtrering	30
6.4.1.	BOD	31
6.5.	Resulterade totala läkemedelshalter.....	31
6.6.	Energiförbrukning	32
6.7.	Nyckeltal.....	33
6.7.1.	Effektbehov vid läkemedelsborttagning.....	33
6.7.2.	Läkemedel som elimineras varje år.....	34
7.	Slutsatser och rekommendationer	34
7.1.	Kombinerade reningstekniker för ökad reningsgrad.....	35
7.2.	Rekommendationer för vidare drift.....	35
8.	Referenser	36
9.	Bilaga 1	38
10.	Bilaga 2	39

1. **Introduktion**

Vatten och avfallskompetens i norr, VAKIN, ansökte i maj 2019 Naturvårdsverkets anslag i syfte att genomföra läkemedelsrening vid Flurkmarks reningsverk. Projektet har utförts i samarbete med partner Mellifiq.

Projektets förstudie presenterade kartläggning av aktiva läkemedelssubstanser vid Flurkmark samt kommunens större reningsverk på Ön. Vidare utfördes ett labbskaleförsök med vatten från de två reningsverken. Utifrån dessa resultat har reningsanläggningen vid Flurkmarks reningsverk dimensionerats och installerats. Denna rapport presenterar resultaten från utvärdering av reningsanläggningen vid Flurkmark. Resultatet ligger till grund för en eventuell fullskalig implementering av läkemedelsrening vid Öns reningsverk.

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 lägre doser har utsläpp påvisats ha samverkande effekt då substanserna är bioackumulerande och ansamlar sig i näringskedjan.

En rapport från LäkeMedelsverket skriven 2015 (se bilaga 1) presenterar 22 läkemedelssubstanser som rekommenderas följas upp årligen för att representera den totala mängden läkemedel i svenska vattendrag (Mattson, Andersson, & Ovesjö, 2015). Som ett exempel 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 okända i dagsläget (Brodin T., 2013).

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. Läkemedelskonsumtion

Läkemedelskonsumtionen i samhället har ökat över tid och kommer att fortsätta att öka, därmed kommer även utsläpp att öka vilket påverkar närliggande naturområden och vattendrag (Hamrén, 2017). På grund av en ökad efterfrågan, introduceras årligen nya typer av mediciner och medicinska produkter. Under 2015 introducerades 68 nya läkemedelsorter (Pontén, Rönnholm, & Skiöld, 2017).

Det kan därför konstateras att av de 4 400 godkända läkemedel som får säljas i Sverige, kommer utsläppen att öka över tid och implementering av nya reningstekniker i syfte att reducera läkemedelsutsläppen är mycket aktuellt. Denna rapport kommer baseras på behandling av 100 utvalda aktiva läkemedelssubstanser, för lista på utvalda läkemedelssubstanser se Bilaga 2, Tabell 8.

2.3. Recipient – Fällforsån

Flurkmarks avloppsreningsverks främsta recipient är Fällforsån som nedströms mynnar ut i Taveljärden som till viss del är ett naturreservat. Se Figur 1 för geografisk placering av avloppsreningsverket och dess utsläppspunkt. Det finns ett svagt bestånd av Havsöring i Tavelån och Fällforsån samt stationär öring och harr. Det finns ett svagt bestånd av den rödlistade arten flodpärlmussla i Fällforsån. Dessa vattendrag är listade av Länsstyrelsen som åtgärdsområden (Johan Ahlström, 2020).



Figur 1 Geografisk placering av Flurmarks avloppsreningsverk med utsläppspunkten markerad med röd cirkel.

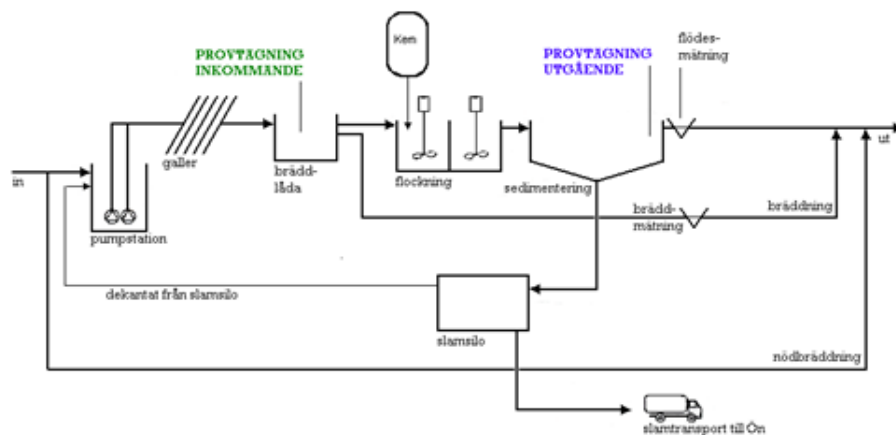
2.4. Recipient - Umeälven

Öns reningsverk behandlar merparten av avloppsvattnet i Umeå kommun. Reningsverket är geografiskt placerat på en Ö i Umeälven, i centrala Umeå. Utloppet från reningsverket leder till en Natura 2000-klassad del av Umeälven, vilken nedströms ansluter till vattendrag som är klassade som riksintresse för naturvård med laxbestånd som är klassade som mycket värdefulla men med svag laxföryngring. (Johan Ahlström, 2020)

2.5. Flurmarks nuvarande reningsanläggning

Avloppsreningsverket i Flurmark är ett mindre reningsverk där vattnet behandlas genom mekanisk och kemisk rening. Första reningssteget är i form av ett rensgaller. Efter den mekaniska reningen fortsätter vattnet till det kemiska reningssteget. Flockar bildas i två flockningsbassänger med hjälp av grindomrörare efter att polyaluminiumklorid blandats in i avloppsvattnet. Efter detta reningssteg leds vattnet till en cirkulär sedimenteringsbassäng, där vattnet rinner av längs en avdragsränna.

Slammet från reningssteget avskiljs och skickas till Öns reningsverk för fortsatt behandling. Övergripande bild på avloppsreningsverket Flurmark kan ses i Figur 2.

FLURKMARK AVLOPPSRENINGSVERK
flödesschema


Figur 2. Schematisk bild av Flurkmarks avloppsreningsverk

2.6. Samarbete med Mellifiq

VAKIN har genomfört implementationen av läkemedelsreningen tillsammans med dedikerad partner Mellifiq som besitter nödvändiga specialistkunskaper och erfarenheter inom läkemedelsrening.

Projektet startade i augusti 2019 och under denna tid har partner Mellifiq utformat ett reningssystem bestående av en avancerad oxidationsprocess (AOP), reaktionstank samt sand- och kolfilter. AOP processen består av oxidationsprocesser i form av ozonering, UV samt tillförsel av väteperoxid. Reningssystemet har sedan installerats och driftsatts av Mellifiq i samarbete med VAKIN.

Dimensioneringen av reningssystemet som implementerats på Flurkmarks avloppsreningsverk är baserat på en kartläggning över läkemedelshalter och övriga föroreningshalter (COD) efter respektive reningssteg i det befintliga avloppsreningsverket. Resultat och projektbeskrivning presenterades i delrapport från hösten 2019, där förstudien presenteras.

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

2.7. Eliminering av läkemedel genom oxidationsprocess, GAK och BAK

Reningssystem består av en avancerad oxidationsprocess (AOP) som huvudsaklig reningssätt. Oxidationsprocesserna som finns installerade i systemet är i form av ozonering, UV samt tillförsel av väteperoxid. De olika oxidationsprocesserna kan testas enskilt men även i kombination med varandra. AOP processen kompletteras med sandfiltrering uppströms och granulärt aktivt kolfilter nedströms från

Sid nr. : 8 (39)

ozoneringen. Utöver denna rening har ett biologiskt aktivt kolfilter som slutsteg från reningsverket utvärderats.

I korthet består den installerade reningsprocessen av två olika reningsystem med följande huvudsakliga processteg:

- 1) Pumpning av vatten från bassäng efter slutsedimentering till sandfiltrering. Efter sandfiltreringssteget delas flödet till följande steg:
 - a. Biologiskt aktivt kolfilter (BAK).
 - b. AOP (integrerad ozonering, UV-behandling, och väteperoxid-dosering) följt av slutpolering med granulärt aktivt kol (GAK).

Nedan beskrivs de olika reningsmetoderna kortfattat och hur de kan kombineras för att uppnå en högre reningsgrad med avseende på främst läkemedelsrester.

2.7.1. Ozonering

Rening genom oxidation med ozon är ett effektivt sätt att reducera organiskt innehåll och där ibland aktiva läkemedelssubstanser. Ozon är en stark oxidant, detta i kombination med att ett ozonsystem producerar det aktiva ämnet (ozon) in situ (på plats) med enbart tillförsel av omgivande luft och elektricitet skapar goda förutsättningar för implementering av miljövänlig processteknik.

Flertalet studier har visat att oxidation genom ozonering på ett effektivt sätt kan reducera halten läkemedelssubstanser från avloppsvatten (Johansson & Engberg, 2018). För installation i denna skala krävs högpresterande ozonsystem med syrgasmatade ozongeneratorer, inlösningsmekanismer, avancerad automation och väl beprövade säkerhetsfunktioner.

2.7.2. AOP (Advanced oxidations process)

AOP utgör en kategori reningsteknologier där flera oxidationsprocesser kombineras. Exempel på detta kan vara ozon och UV, ozon och väteperoxid, eller ozon, väteperoxid och UV.

Vid enbart ozonering sker oxidation antingen genom direkt eller indirekt reaktion. Den indirekta reaktionen sker genom bildning av hydroxylradikaler (med särskilt hög oxidationspotential) som i sin tur reagerar med oxiderbar förening. Den indirekta reaktionen kan främjas av UV och väteperoxid i kombination med ozon vilket i sin tur kan leda till en mer effektiv reningsprocess.

2.7.3. GAK (Granulärt aktivt kol)

Inom vattenreningsprocesser är adsorption genom filtrering med granulerat aktivt kol en etablerad process för reduktion av organiska föroreningar. En nackdel med GAK-filtrering är att adsorptionsförmågan försämras över tid och att filtermediet därför behöver bytas för att bibehålla samma reningskapacitet. För att förlänga kolets livstid

Sid nr. : 9 (39)

bör vattnet innan filtrering vara så rent som möjligt, och förbehandling i form av exempelvis ozonering kan vara ett alternativ för att uppnå detta (Naturvårdsverket, 2017).

Studier har visat att många läkemedel som inte elimineras genom ozonering, har en god adsorptionsförmåga och effektivt kan adsorberas i GAK-filtret (Cornel, Knopp, Prasse, & Ternes, 2016). Detta styrker användandet av en kombination av ozonering och GAK (Naturvårdsverket, 2017).

2.7.4. BAK (biologiskt aktivt kol)

Biologiskt aktivt kolfilter är ett aktivt kolfilter i vilket det över tid etableras en mikrobiologi. Mikroorganismerna i kolfiltret metaboliserar det adsorberade organiska materialet och kan på så sätt bidra till en minskad belastning på filtermediet och en ökad livslängd (Pengkang, Xin, Xianbao, Yongning, & Xiaochang, 2013).

2.7.5. Sandfiltrering

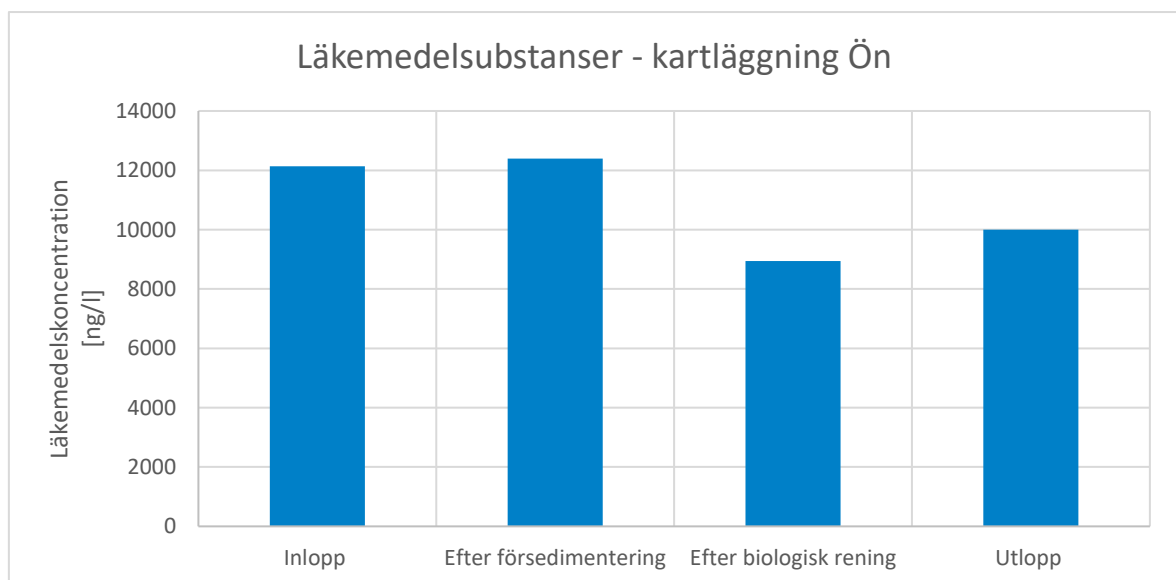
Sandfiltrering implementeras för att skydda nedströms reningssteg från oönskade partiklar och därmed minska risken för igensättning av kolfilter, och onödig belastning på oxidationsprocessen. Då inkommande vattenkvalitet till läkemedelssystemet kan variera beroende på lokala förutsättningar kan ett sandfilter hjälpa till att undvika eventuella driftstopp. Exempel på detta är underhållsarbete uppströms i reningsverkets mekaniska rening och utfällningssteg som leder till temporära förändringar i vattenkvaliteten.

3. Förstudie

Under hösten 2019 presenterades en förstudie bestående av en kartläggning av läkemedelshalterna i nuvarande avloppsreningsanläggning samt resultaten från en pilotstudie genomförd med partner Mellifiq.

3.1. Kartläggning av läkemedel Ön

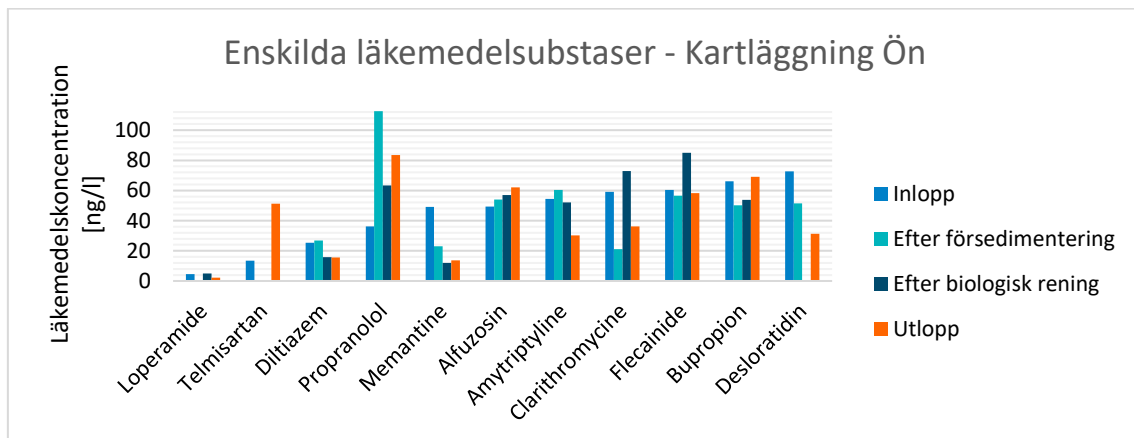
Resultaten från kartläggningen av läkemedelshalterna under förstudien uppvisade förekomst av totalt 36 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna och en koncentration på 12 137 ng/l vid inloppet till Öns avloppsreningsverk, en vanligt förekommande läkemedelssubstans som dock inte detekterats vid analysen var paracetamol. Detta trots tidigare studier som påvisat förekomst av paracetamol (Fick J., 2011). Efter försedimenteringen var koncentrationen av läkemedelssubstanser 12 396 ng/l och substanser som återfanns var 33 av 100. Den biologiska reningen har en reducerande effekt på läkemedelssubstanserna och koncentration sjönk till 8 946 ng/l, 31 av 100 substanser detekterades fortfarande. Vid utloppet från avloppsreningsverket var koncentrationen 10 000 ng/l och antalet detekterade läkemedelssubstanser 34 av 100. Se Figur 3 för diagram över koncentrationsförändringen av läkemedelssubstanser genom avloppsreningsverket. Anledningen till att antalet substanser som detekteras kan öka efter olika reningssteg i avloppsreningsverket kan bero på att tidigare bundna substanser som inte kunnat detekteras har löst sig och därmed blir detekterbara. Det kan även bero på att utgående vatten innehåller mindre föroreningar vilket ger en matris som är lättare att analysera.



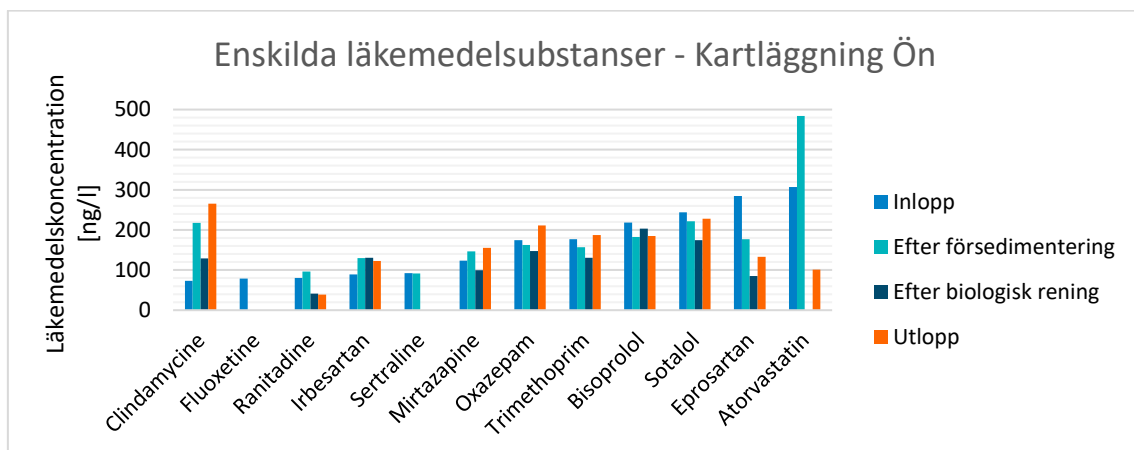
Figur 3. Diagram över koncentrationen av läkemedelssubstanser varierar genom Öns avloppsreningsverk.

Sid nr. : 11 (39)

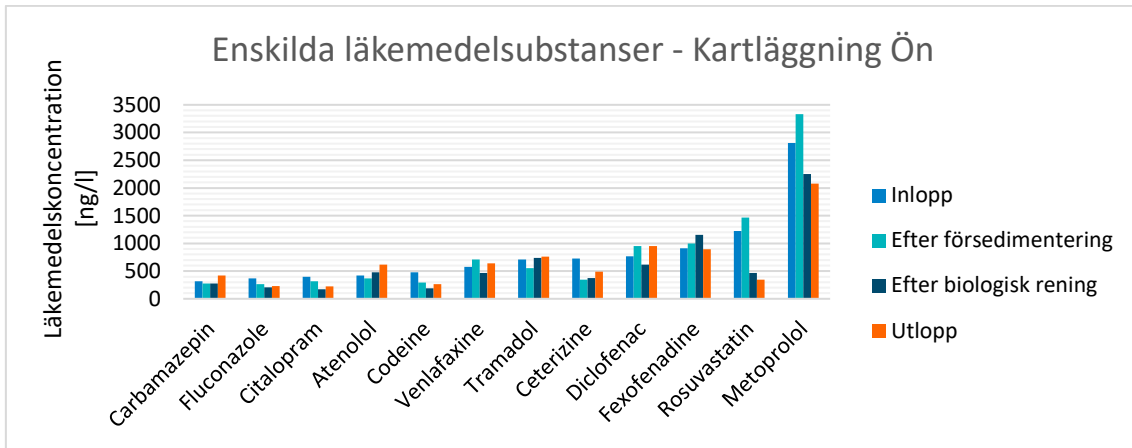
För att följa specifika läkemedel och dess reducering genom avloppsreningsverket se Figur 4, Figur 5 och Figur 6 där de detekterade enskilda substanserna presenteras för respektive provtagningspunkt.



Figur 4. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 0-73ng/l vid inloppet.



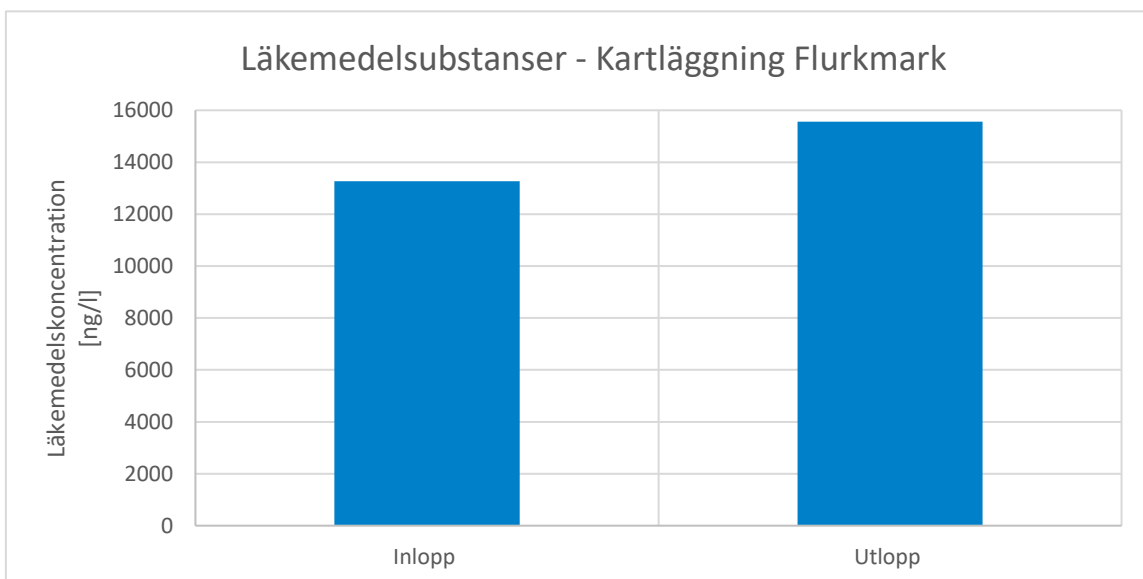
Figur 5. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 74-310ng/l vid inloppet.



Figur 6. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid inloppet, efter försedimentering, efter biologisk rening och utlopp med halter mellan 310-3000ng/l vid inloppet.

3.2. Kartläggning av läkemedel Flurkmark

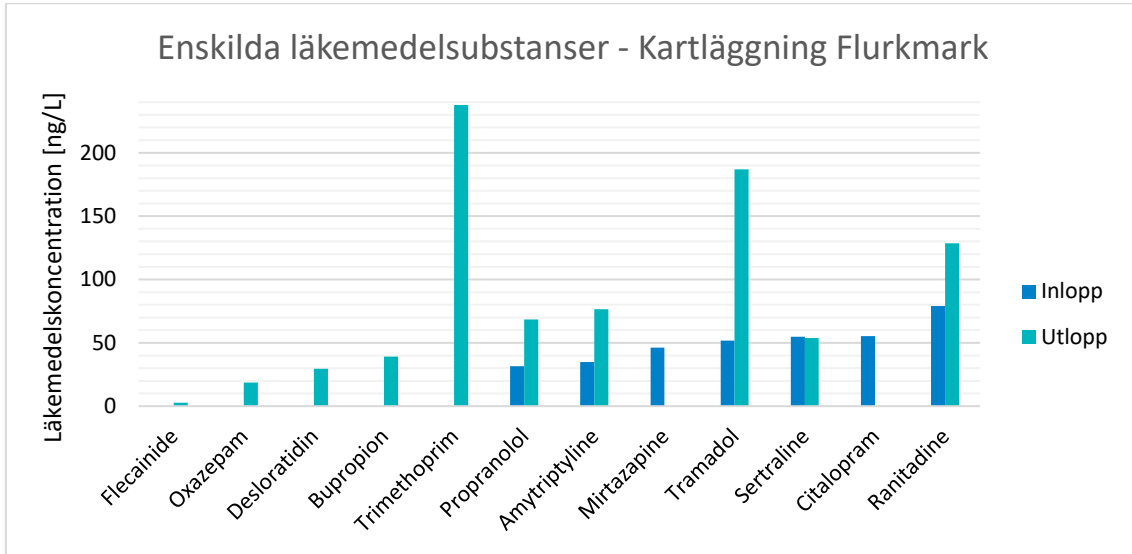
Resultaten från kartläggningen av läkemedelshalterna under förstudien visade att totalt 19 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna återfanns vid inloppet till Flurkmarks avloppsreningsverk och att inkommande koncentration var 13 263 ng/l. I utgående vatten från reningsverket detekterades totalt 22 av de 100 analyserade läkemedelssubstanserna och den totala koncentrationen av läkemedelssubstanser var 15 563ng/l. Se Figur 7. Vid kartläggning av Flurkmarks avloppsreningsverk så fanns inte paracetamol detekterad i vare sig inkommande eller utgående vatten från reningsverket trots att paracetamol anses vara en vanligt förekommande aktiv läkemedelssubstans.



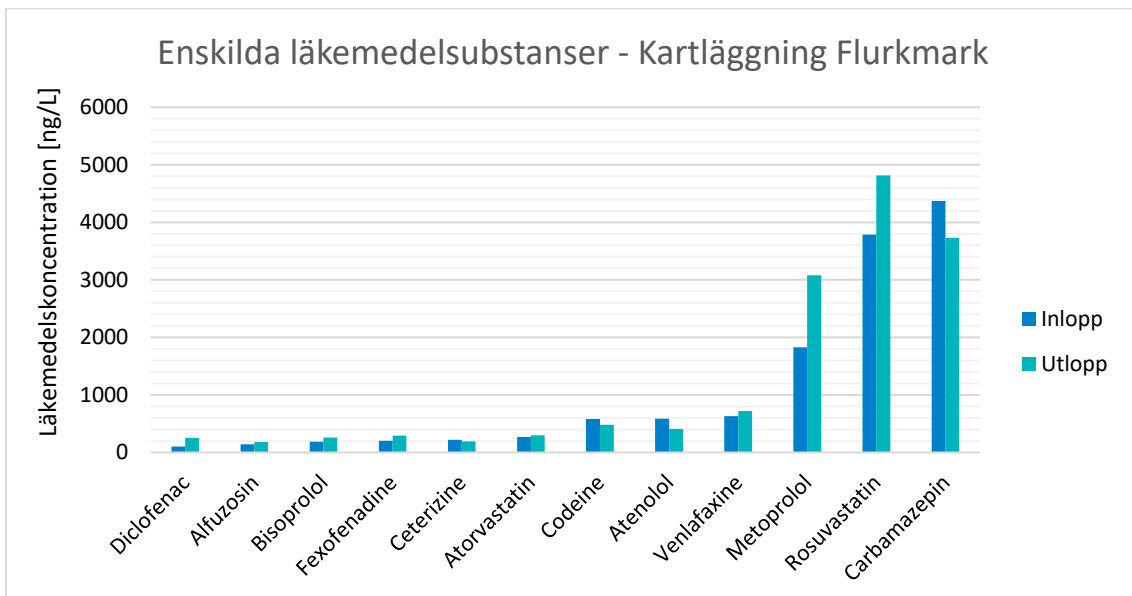
Figur 7. Diagram över koncentrationen läkemedelssubstanser i inkommande och utgående vatten från Flurkmarks avloppsreningsverk.

Sid nr. : 13 (39)

Halten efter slutsedimentering resulterar i att cirka 0,43 kg mätbara aktiva substanser (exkl. paracetamol) årligen släpps ut från Flurkmark reningsverk, beräknat på Flurkmarks medelflöde på 4,8 m³/h. Notera att den faktiska mängden aktiva läkemedelssubstanser troligen är något högre då bara en utvald fraktion av alla substanser mäts i dagsläget. Det är denna totala koncentration som det installerade systemet dimensionerades efter med vision om fullständig borttagning och en målsättning på 80 % reningsgrad vid drift i full skala. För koncentration gällande specifika halter se Figur 8 och Figur 9.



Figur 8. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid in- och utlopp med halter upp 0-100ng/l vid inloppet.



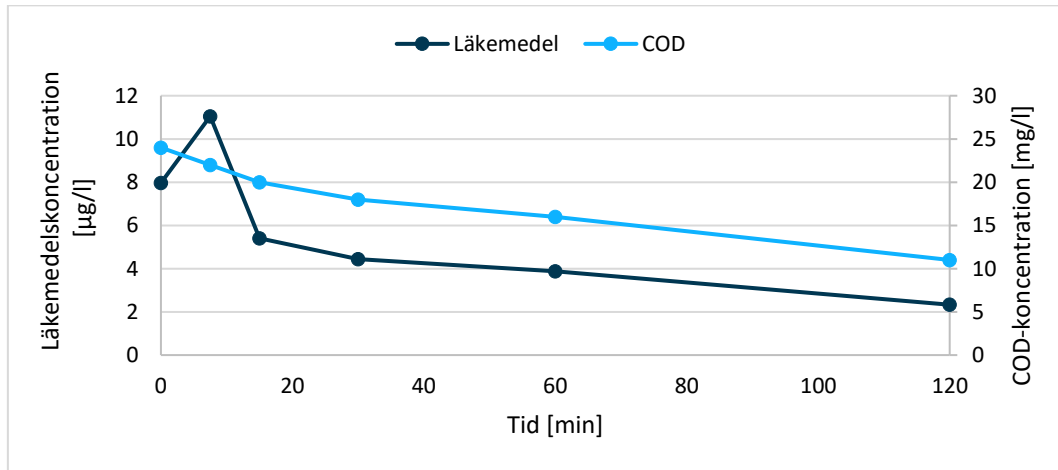
Figur 9. Specifika läkemedelssubstanser uppmätta vid in- och utlopp med halter mellan 100-4500ng/l vid inloppet.

3.3. Pilottester hos Mellifiq

Som ett komplement till den insamlade datan från kartläggning av reningsverken så genomfördes även laborativa tester där vatten från avloppsreningsverken fick behandlas med tänkta reningsprocesser i ett litet pilotsystem. Prover togs efter olika behandlingstider av AOP samt efter behandling med GAK filter, läs mer om AOP under kapitel 2.7.2.

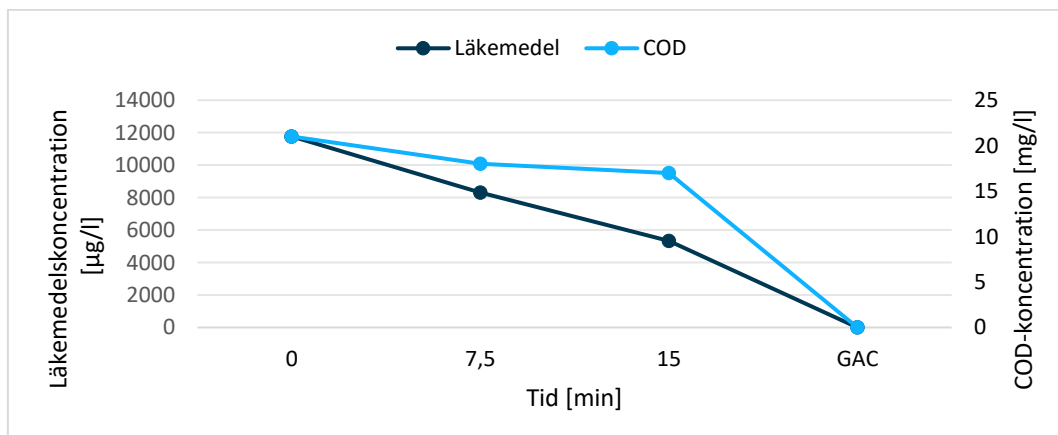
3.3.1. Pilottest Ön

För vattnet från Öns reningsverk kan utläsas en tydlig reduktion av både aktiva läkemedelssubstanser och COD. Halten Läkemedelsrester reduceras från 8 000 ng/l till 2 200 ng/l och koncentrationen COD reduceras från 24 mg/l ner till 11 mg/l. Se Figur 10.



Figur 10. Resultat från pilotstudie – ozonering, vattenprov från Öns ARV.

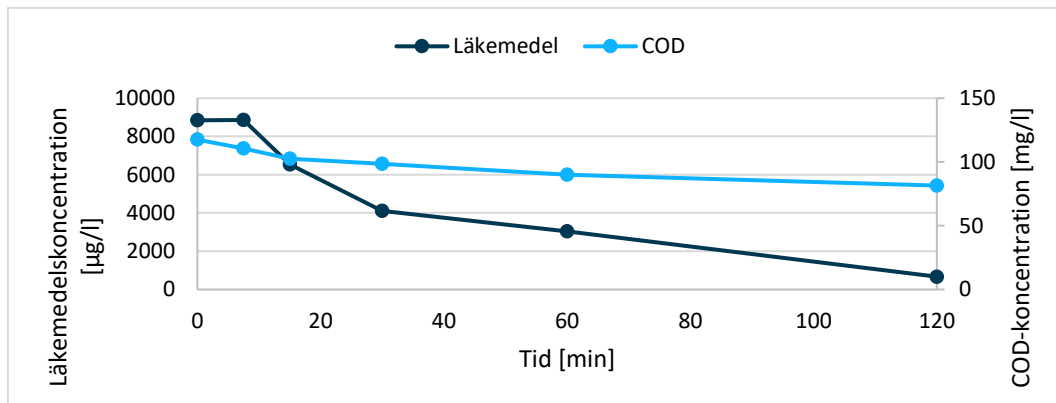
Då vattnet filtrerades genom GAK-filtret så minskade koncentrationen till under rapporteringsgränsen för både läkemedelssubstanser och för COD (6 mg/l). Se Figur 11.



Figur 11. Resultat från pilotstudie – GAK, vattenprov från Öns ARV.

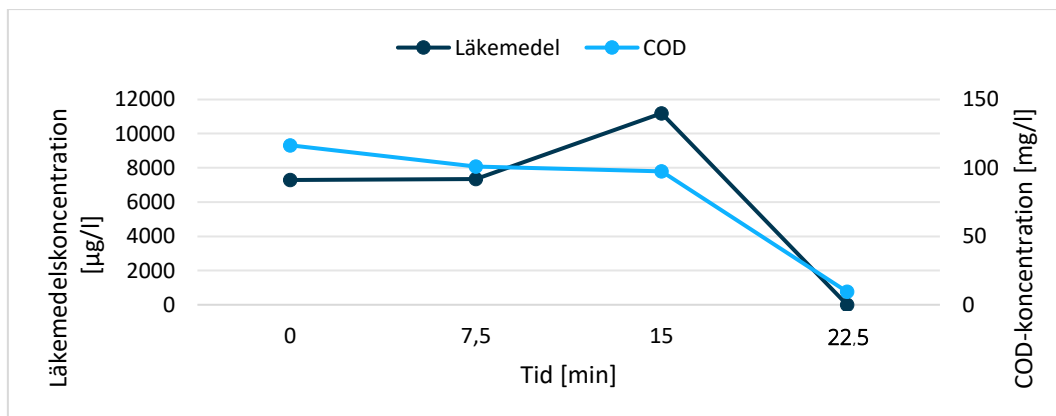
3.3.2. Pilottest Flurkmark

I vattnet från Flurkmarks reningsverk kan man se en tydlig reduktion av främst aktiva läkemedelssubstanser vid behandling med AOP. Inkommande vatten till pilotsystemet hade en koncentration på 8 844 ng/l läkemedelssubstanser och efter behandling med AOP i 120 minuter reducerades koncentrationen till 670 ng/l, se Figur 12. COD-reduktionen var mindre. Inkommande vatten hade en koncentration på 117 mg/l och sjönk till 81 mg/l efter 120 min behandling, se Figur 13.



Figur 12. Resultat från pilotstudie - ozonering, vattenprov från Flurkmarks ARV.

Genom att låta vattnet filtreras över GAK filter så reducerades koncentrationen läkemedelssubstanser till under rapporteringsgränsen och halten COD till 9,5 mg/l.



Figur 13. Resultat från pilotstudie - GAK, vattenprov från Flurkmarks ARV.

3.3.3. Val av behandlingssteg

Pilotprojekten visade på en fullständig läkemedelsreducering då vattnet behandlas med ozon följt av filtrering med GAK. Utöver detta projekterades även ett sandfiltersteg för att säkerställa att större partiklar inte passerar till läkemedelsreningsprocessen. Detta för att undvika driftproblem vid eventuella underhåll eller tillfällig bristfällig sedimentation uppströms i reningsverkets primär- eller slutsedimentering.

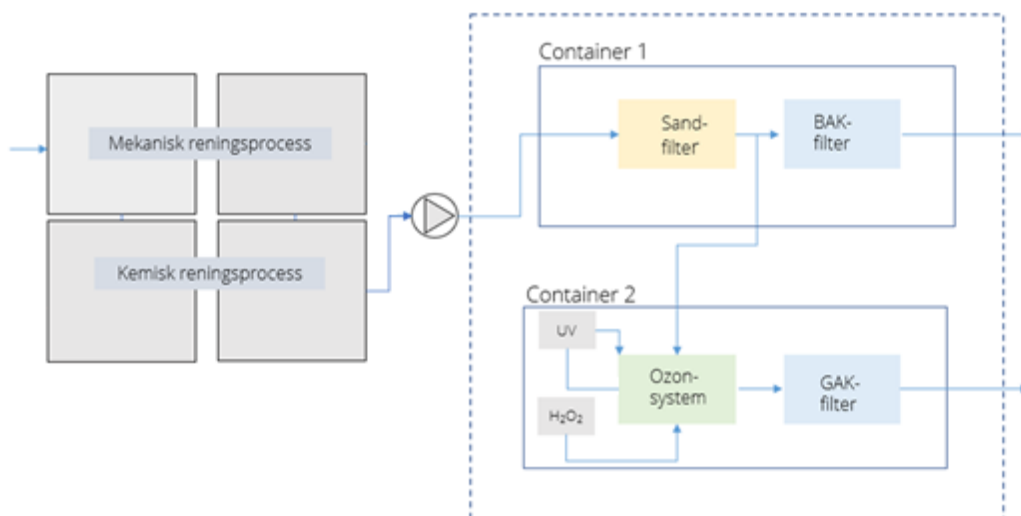
4. Installerat reningssteg

Mellifiq har levererat ett reningssystem i syfte att behandla läkemedelsresterna från Flurkmarks reningsverk. Den levererade anläggningen 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. Installerat reningssystem

Nedan i Figur 14 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 14. Schema över läkemedelsrening och dess integration med reningsverket, vattenflödet representeras av blåa pilar och systemgränser för Mellifiqs entreprenad streckad linje.

4.2. Sandfilter

Ett sandfiltersteg utgör anläggningens första reningssteg, vars syfte är att filtrera bort större partiklar för att möjliggöra en så stor reningsgrad som möjligt genom efterföljande reningssteg.

4.3. Ozonsystem – Ozonotech RENA Tellus

Mellifiq har levererat en containerbaserad Ozonotech RENA Tellus som är en skräddarsydd lösning för vattenrening. Samtliga parameterar kan anpassas och i detta fall har anläggningen dimensionerats efter förstudiens resultat vilket visade en total mätbar läkemedelsmängd på 0,5 kg/år vid 4,8 m³/h.



Figur 15. Levererat RENA Tellus system vid Flurkmarks avloppsreningsverk

4.4. GAK-filter (Granulärt aktivt kol)

Som poleringssteg har Mellifiq installerat ett GAK-filter vars huvudsakliga funktion är att verka som skyddsnet för att se till att de läkemedel som inte brutits ned och nedbrytningsprodukter som bildas under oxidationssteget adsorberas innan vattnet släpps till recipient.

Filtrering med GAK är en väletablerad reningsmetod för organiskt innehåll men kräver samtidigt regelbundna byten av filtermedia beroende på vattnets organiska innehåll. GAK-filter kan adsorbera och därav reducera en stor andel läkemedelssubstanser utan AOP som försteg. GAK-filtrering uppnår generellt hög reningsgrad av läkemedelssubstanser utan ozonering men ett ozoneringssteg innan GAK kan möjliggöra en längre livstid för kolfiltret vilket i så fall ger en anläggning med lägre driftkostnad och underhållsbehov.

5. Metod

Under juni 2021 utfördes en utvärdering av det installerade reningssystemet med partner Mellifiq som tog prover tillsammans med VAKIN. Under augusti 2021 genomfördes även en långtidsutvärdering av det installerade reningssystemet där personal från VAKIN genomförde provtagning vid tre olika tillfällen. Vattenproverna skickades sedan till extern part för analys av:

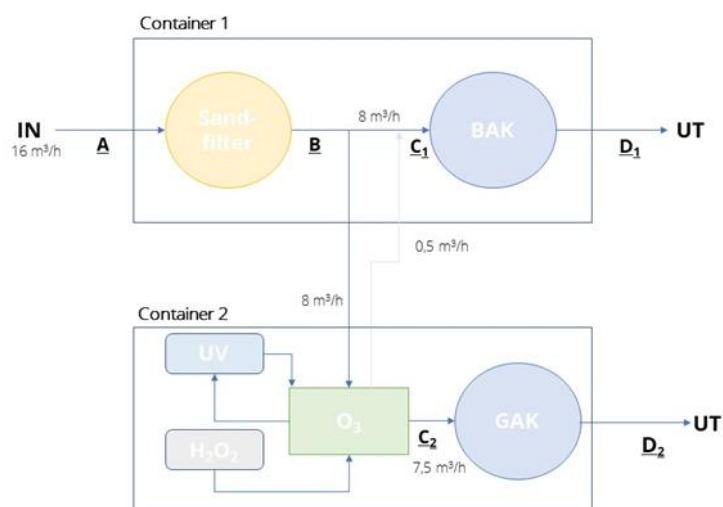
- TOC
- COD
- DOC
- BOD
- Läkemedelshalter

Läkemedelsproverna analyserades med avseende på 100 aktiva läkemedelssubstanser. Alla läkemedel som mäts och deras rapporteringsgränser presenteras i Bilaga 2.

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

5.1. Provtagning och uppehållstid

Det installerade reningssystemet vid Flurkmarks avloppsreningsverk är utrustat med sex olika provtagningspunkter märkta A, B, C1, C2, D1 och D2. Hela vattenflödet till systemet passerar provpunkt A och B. Efter Provpunkt B delas flödet för att antingen passera provplats C1 och D1, alternativt C2 och D2. Om vattnet passerar provpunkt C1 och D1 filtreras vattnet genom BAK filter. Om vattnet i stället passerar C2 och D2, så passerar vattnet AOP systemet och filtreras sedan genom GAK filter. Se Figur 16 för övergripande bild av systemet.



Figur 16. Schematisk bild över reningssystemet

Sid nr. : 19 (39)

Vid samtliga provtagningstillfällen beräknades uppehållstiden mellan varje provtagningsplats i syfte att ta proverna från samma vattenvolym. Proverna togs även med upprepning i syfte att minimera påverkan av eventuella koncentrationsfluktuationer i vattenflödet. Upphållstiden baserades på flödet vid respektive provtagningstillfälle.

Tabell 1 Upphållstider mellan provtagningsplatser, vid vattenflöde på 3,5m³/h.

Provplats	Upphållstid (min)
A-B	3
B-C ₂	5
C ₂ -D ₂	8
C ₁ -D ₁	7
A-D ₁	9
A-D ₂	15

5.2. Processparametrar och uteffekt

Vid första provtagningstillfället testades olika uteffekter av ozon (40 %, 70 %, och 100 %) i syfte att se hur mängden tillförd ozon påverkar reningsgraden i vattnet. Under samma provtagningstillfälle utvärderades även AOP systemet, där samtliga oxidationsprocesser testades enskilt och i kombination.

Vattenflödet behölls konstant vid 3,5 m³/h. Detta var ett lägre flöde än det dimensionerade flödet pga. en oväntat låg pumpkapacitet på utflödet från reningsverket.

Tabell 2. Prover tagna vid provtagningstillfälle 1

Ozoneffekt [%]	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
40	Ozon	3,5
40	Ozon + GAK	3,5
70	Ozon	3,5
70	Ozon + GAK	3,5
100	Ozon	3,5
100	Ozon + GAK	3,5
70	Ozon + UV	3,5
70	Ozon + UV + GAK	3,5
70	Ozon + UV + H ₂ O ₂	3,5
70	Ozon + UV + H ₂ O ₂ + GAK	3,5

Sid nr. : 20 (39)

70	Ozon + H ₂ O ₂	3,5
70	Ozon + H ₂ O ₂ + GAK	3,5
0	H ₂ O ₂ + UV	3,5
0	H ₂ O ₂ + UV + GAK	3,5
0	UV	3,5
0	UV + GAK	3,5

Provtagningsstillfälle 2, 3 och 4 utgjorde en långtidsutvärdering där processparametrarna hölls konstanta och utvärderades vid tre olika tillfällen.

Tabell 3. Prover tagna vid provtagningsstillfälle 2, 3 och 4

Provtagningsstillfälle	Ozoneffekt [%]	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
2	70	Ozon + UV	3,5
2	70	Ozon + UV + GAK	3,5
3	70	Ozon + UV	3,5
3	70	Ozon + UV + GAK	3,5
4	70	Ozon + UV	3,5
4	70	Ozon + UV + GAK	3,5

Vid provtagningsstillfälle 1 och 2 utvärderades även BAK filtret. Prover togs då före och efter filtret, se Tabell 4.

Tabell 4. Provtagningar genomförda på BAK filtret.

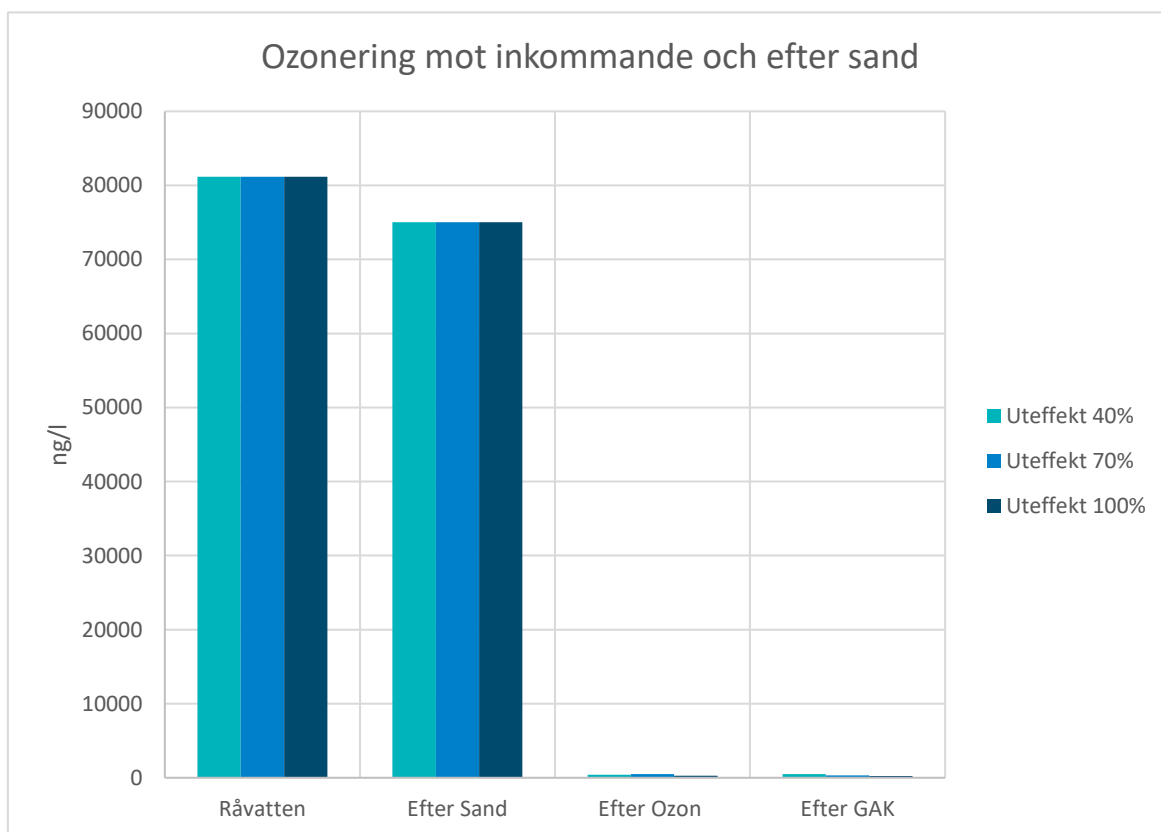
Provtagningsstillfälle	Behandling	Vattenflöde [m ³ /h]
1	Sand	3,5
1	BAK	3,5
2	Sand	3,5
2	BAK	3,5

6. Resultat och diskussion

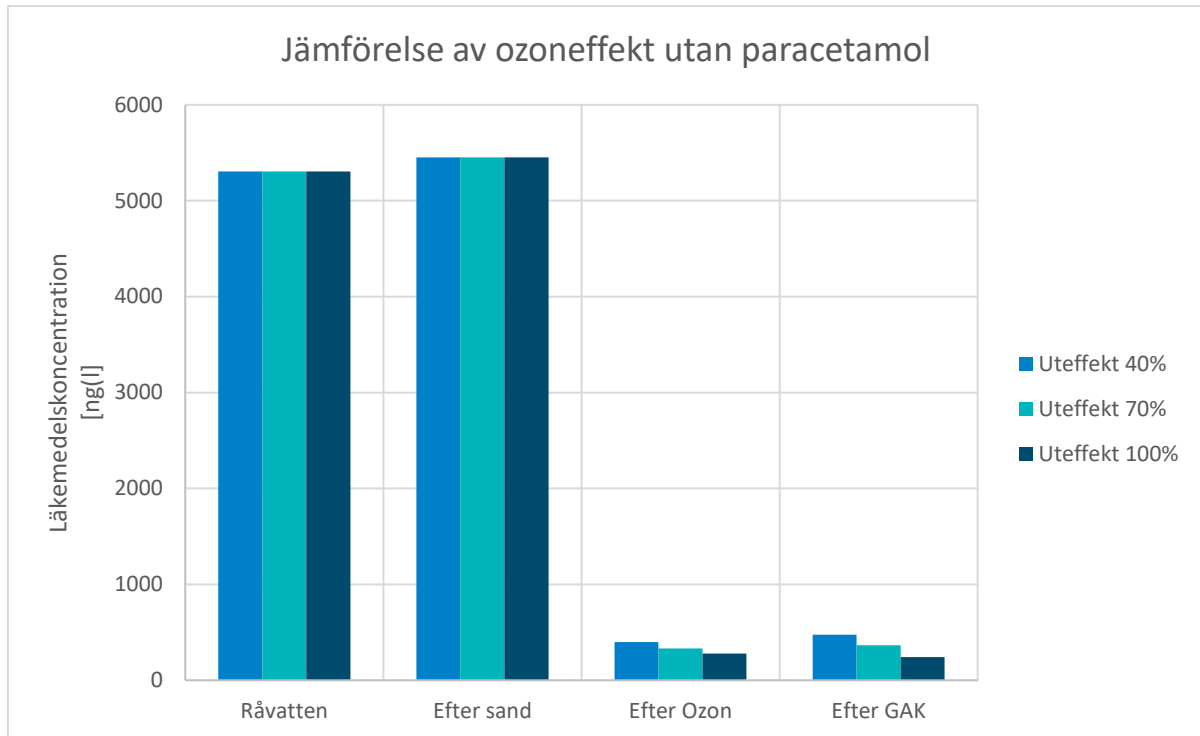
För att utvärdera reningsprocessen genomfördes fyra provtagningar. Vid Provtagningstillfälle 1 testades olika uteffekter för ozoneringssteget samt olika kombinationer av oxidationsprocesserna i AOP systemet. Provtagningstillfälle 2, 3 och 4 utformades som en utvärdering över längre tid där systemet kördes med konstanta inställningar från provtagning till provtagning.

6.1. Provtagningstillfälle 1 – Olika uteffekter ozon

Resultaten från provtagningstillfälle 1, när olika uteffekter ozon tillfördes vattenflödet, kan ses i Figur 17. Inkommande vatten hade en koncentration på 81 160 ng/l och 19 av 100 analyserade läkemedelssubstanser kunde detekteras. Efter sandfiltreringen reducerades halten läkemedelssubstanser till 75 023 ng/l. Efter ozonering med 40 %, 70 % resp. 100 % uteffekt var reduktionen av läkemedelssubstanser stor och koncentrationen sjönk till mellan 277-399ng/l med lägst reduktion för 40 % uteffekt och störst reduktion för 100 % uteffekt. Efter GAK-filtrering uppnåddes en ytterligare men knappt märkbar reduktion. Efter både ozonering och GAK-filtrering uppnåddes en reningsgrad på >99 % för samtliga prover och samtliga testade uteffekter.



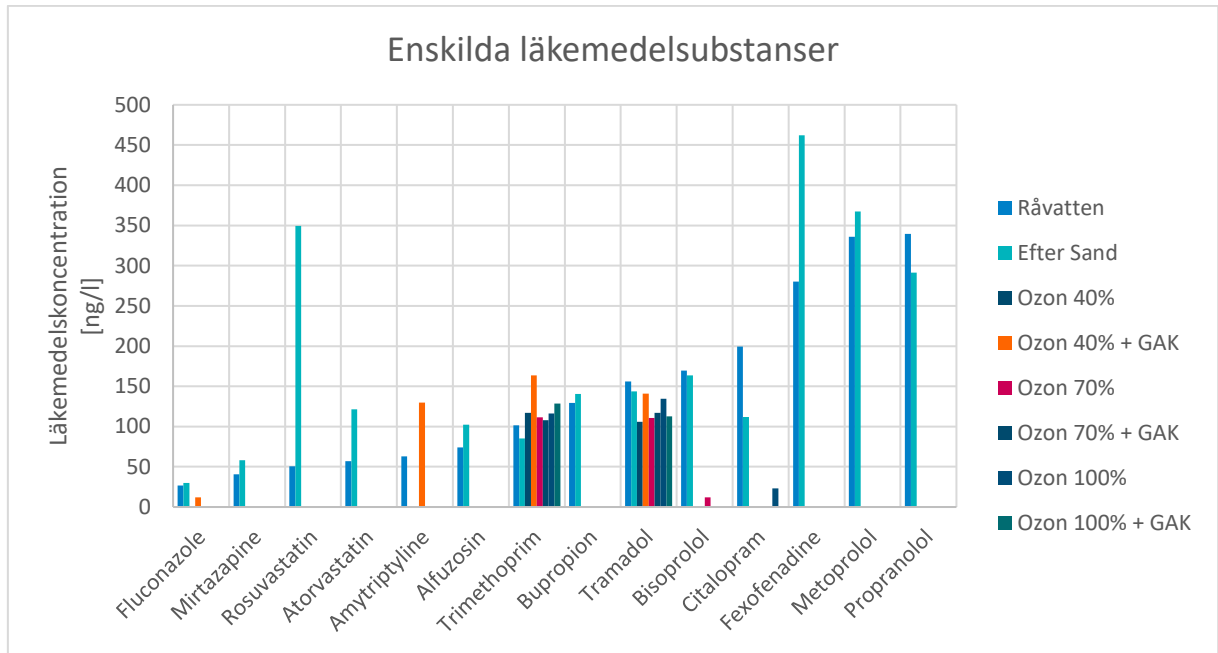
Figur 17. Resultat för prover behandlade med olika uteffekter på ozon. Efter samtliga ozonbehandlingar var reningsgraden nere på över 99%.



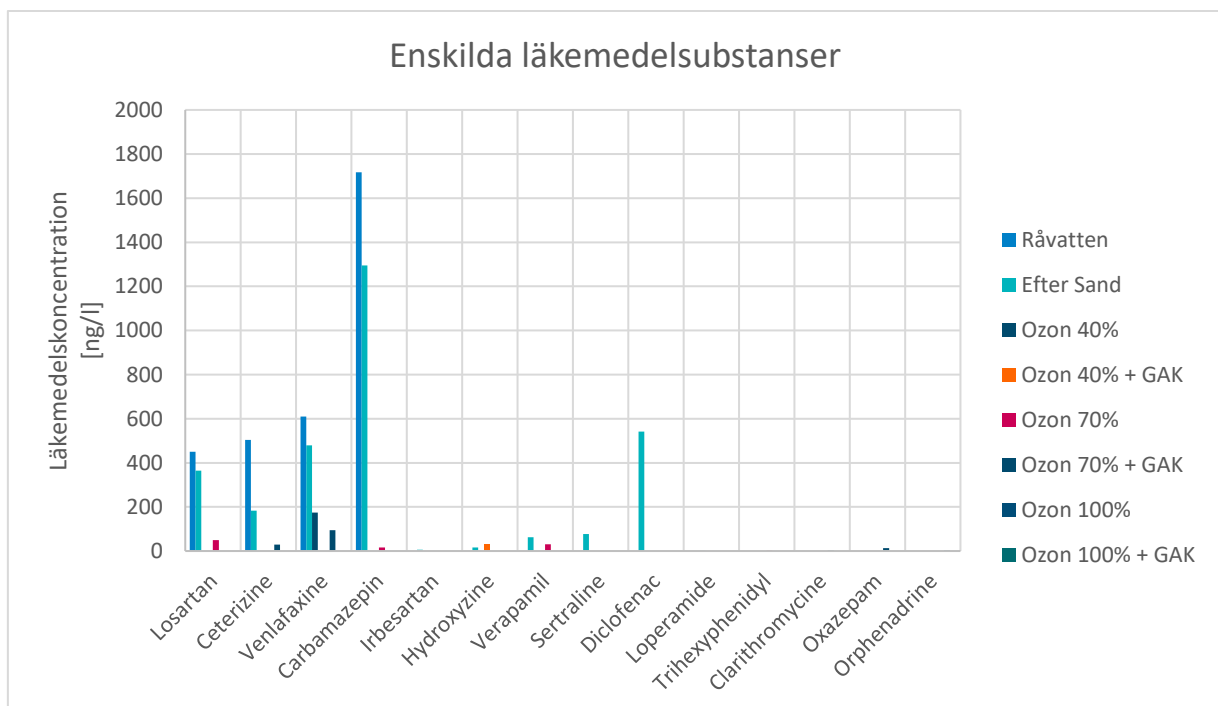
Figur 18. Resultat för prover behandlade med olika uteffekter av ozon där halten paracetamol har tagits bort från den totala koncentrationen.

Resultat för enskilda läkemedelssubstanser kan ses i Figur 19 och Figur 20. Läkemedelssubstansen med högst koncentration i vattnet var paracetamol, med en koncentration på 75 856 ng/l vid inkommande vatten till total reduktion efter ozonering med samtliga av de testade uteffekterna. Se Figur 21 för resultat beträffande paracetamol. Då paracetamol stod för den största delen av den totala mängden läkemedel i vattnet så presenteras den totala mängden läkemedel utan paracetamol i Figur 18, vilket visar en stor reduktion på 90 - 95 % även med paracetamol exkluderat.

Sid nr. : 23 (39)



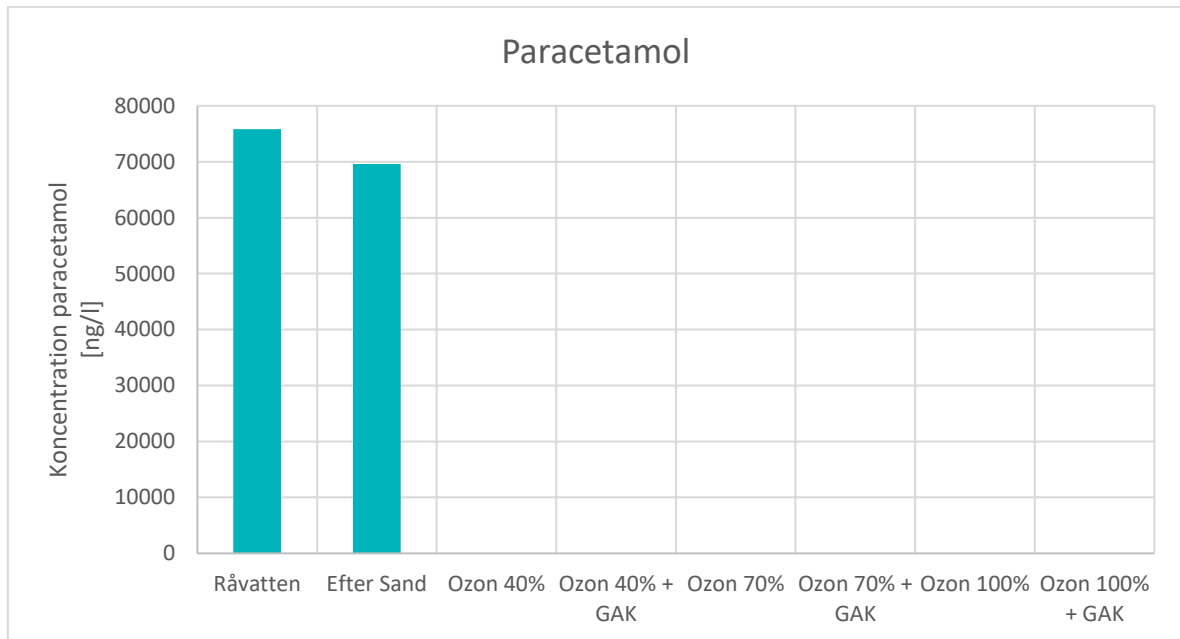
Figur 19. Enskilda läkemedelssubstanser vid behandling med olika uteffekter av ozon, inkommande koncentration mellan 0-350ng/l.



Figur 20. Enskilda läkemedelssubstanser vid behandling med olika uteffekter av ozon, koncentration mellan 350-1800ng/l.

Vid kartläggning av de båda avloppsreningsverken, Ön och Flurkmark, detekterades inte den aktiva läkemedelssubstansen paracetamol i vare sig inkommande eller utgående vatten från reningsverken. Under utvärderingen av reningsystemet som installerades vid Flurkmarks avloppsreningsverk så uppmättes höga halter av paracetamol i inkommande flöde till systemet. Därför är det stor sannolikhet att även

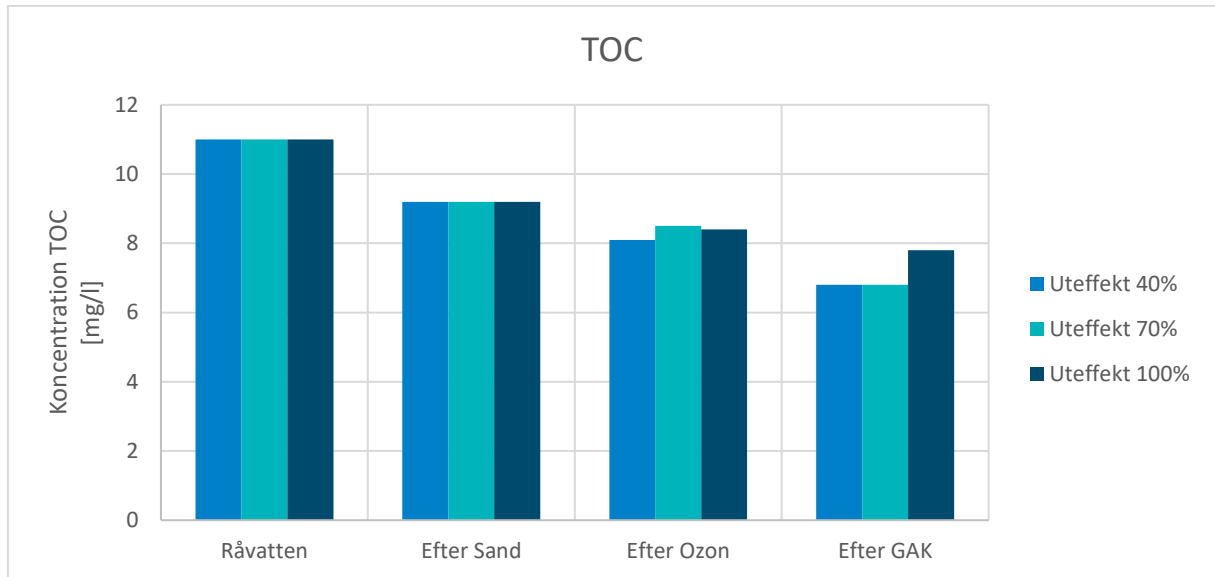
Öns avloppsreningsverk har högre halter av paracetamol i sitt inkommande flöde till reningsverket. Då Öns avloppsreningsverk har biologiskt reningssteg till skillnad från Flurkmark uppnås därmed en betydande reduktion av halten paracetamol vid Öns reningsverk. Utgående vatten från reningsverket är därför inte direkt jämförbart med Flurkmarks utgående vatten, då Flurkmark inte har något biologiskt reningssteg.



Figur 21. Koncentration för paracetamol vid olika uteffekter av ozon.

6.1.1. TOC, DOC och COD

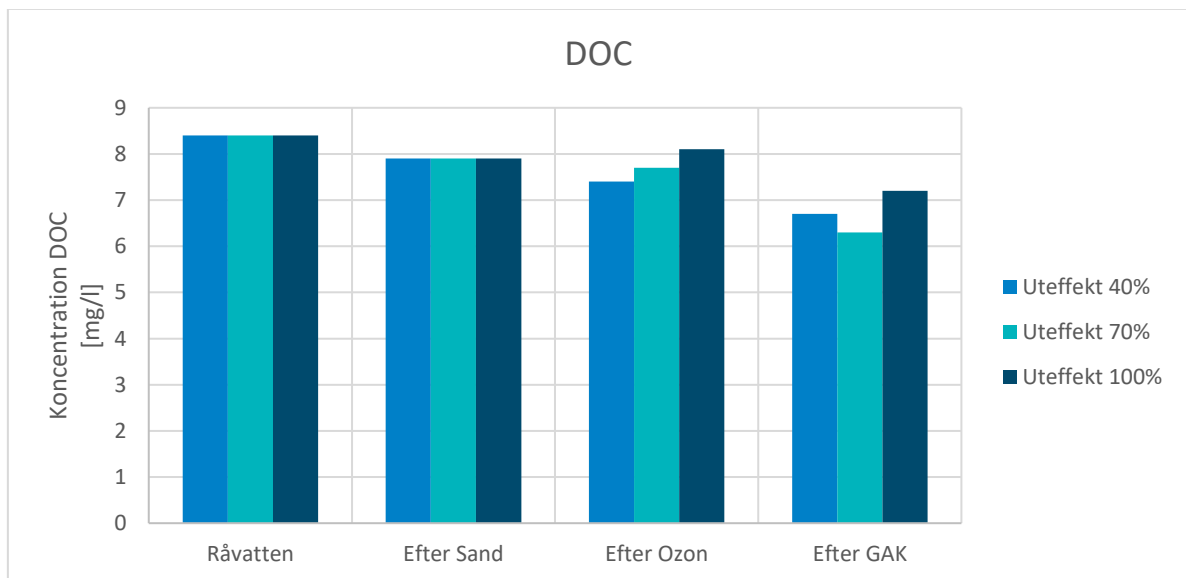
Utöver läkemedelsanalyser undersöktes även koncentration av TOC, DOC och COD för de olika reningsstegen i systemet. Inkommande vatten har en TOC koncentration på 11 mg/l. Koncentrationen TOC minskade sedan med 1 - 2 mg/l efter respektive reningssteg och utgående vatten från reningssystemet hade en koncentration på 7 - 8 mg/l för samtliga testade uteffekter av ozon.



Figur 22. Koncentration TOC vid olika uteffekter av ozon.

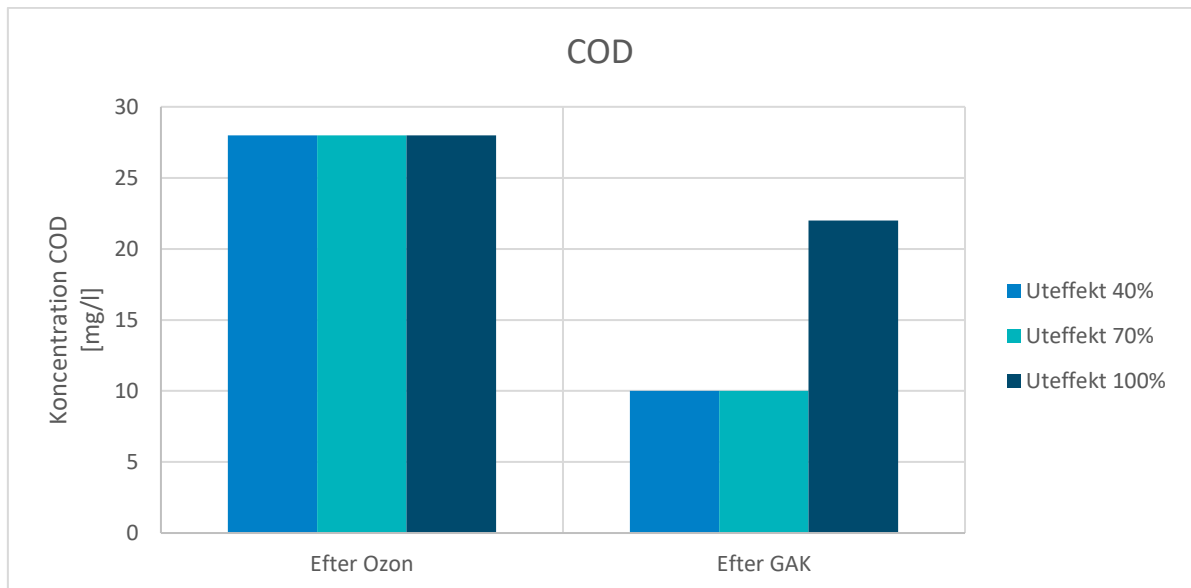
Resultaten för DOC visar att den huvudsakliga mängden organiskt material som förekommer i vattnet var i löst form och en mindre andel i fast. Inkommande vatten till reningssystemet hade en koncentration på 8,5 mg/L och utgående vatten hade en koncentration på 6,5 – 7,2mg/l.

Resultaten i figurerna 22 och 23 visar att icke löst organiskt material (TOC minus DOC) huvudsakligen reduceras i sandfiltret och löst organiskt material huvudsakligen reduceras av GAK.



Figur 23. Koncentration DOC vid olika uteffekter av ozon.

COD-resultat presenteras i Figur 24, där halten efter ozonering uppmättes till 28 mg/l och efter GAK reducerades till <20 - 22 mg/l.

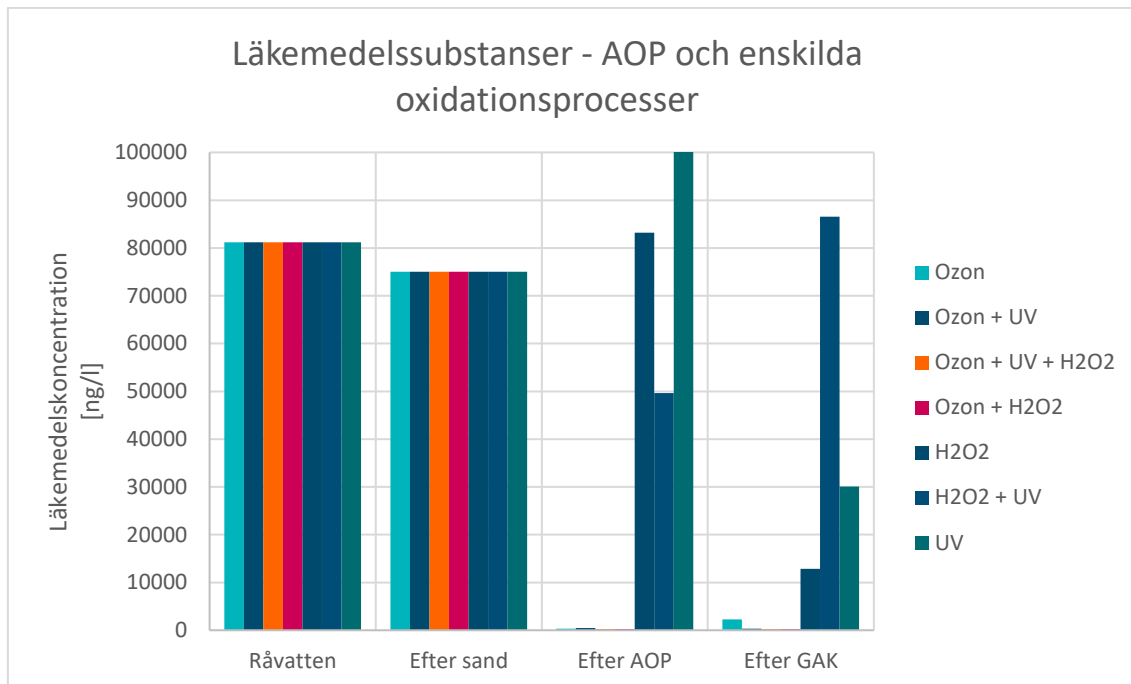


Figur 24. Koncentration COD vid olika uteffekter av ozon. Resultaten för ozonering med uteffekt på 40% respektive 70% så var de uppmätta COD koncentrationerna under rapporteringsgränsen (20mg/L) och resultatet för dessa prover är därför satt till hälften av rapporteringsgränsen, 10mg/L.

6.2. Provtagningstillfälle 1 – AOP och enskilda oxidationsprocesser

Vid provtagningstillfälle 1 (som inkluderade utvärdering av AOP och enskilda oxidationsprocesser) var ozon den mest effektiva oxidationsprocessen. Vid samtliga behandlingar innehållande ozonering reduceras koncentrationen läkemedelssubstanser med 99 %. Då ozonet i sig leder till en så betydande reduktion är det svårt att utvärdera synergieffekterna mellan de tre olika oxidationsprocesserna (ozon resp. UV och väteperoxid).

För övriga testade oxidationsprocesser visade resultaten att kombinationen UV och väteperoxid har en större läkemedelsreducerande effekt än behandling med UV och väteperoxid enskilt. För de enskilda oxidationsprocesserna (UV och väteperoxid) tycks koncentrationen av läkemedelssubstanser öka. Generellt för oxidationsprocesserna identifierades en återkommande trend där koncentrationen läkemedel först stiger innan reduktionen tar fart. Samma mönster erhöles från pilotstudien se Figur 10.

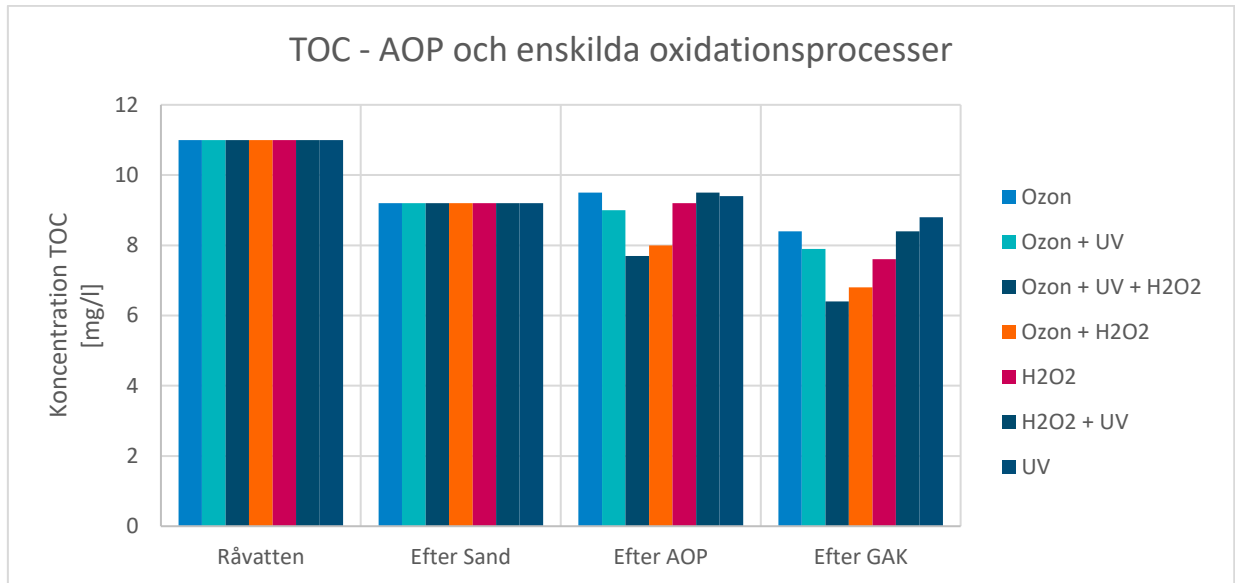


Figur 25. Resultat för prover behandlade med AOP och enskilda oxidationsprocesser.

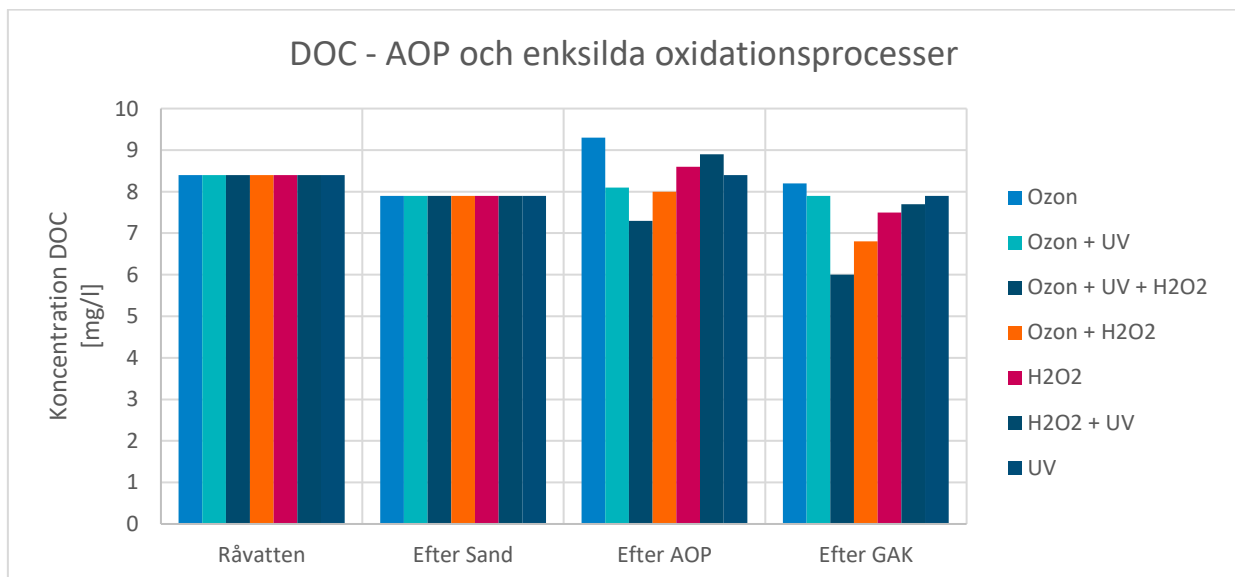
6.2.1. TOC, DOC och COD

Under utvärderingen av AOP analyserades även vattenprover för TOC, DOC och COD. Resultaten för TOC och DOC visade på en fortsatt stor andel löst organiskt material i vattnet där merparten av det icke lösta organiska materialet reduceras efter sandfiltrering.

AOP ger en viss reduktion av koncentrationen TOC och DOC, och här är det möjligt att se en synergieffekt mellan de olika oxidationsprocesserna. Då alla tre oxidationsprocesser används uppmäts de lägsta TOC- och DOC-halterna. Det som resultaten också visade var att mängden TOC och COD som minskades av både AOP och GAK var relativt låg i jämförelse med minskningen av mängden läkemedelssubstanser, se Figur 26 och Figur 27. En möjlig orsak till det kan vara att läkemedelssubstanserna generellt sett är mer mottagliga för oxidation jämfört med övrigt organiskt innehåll.

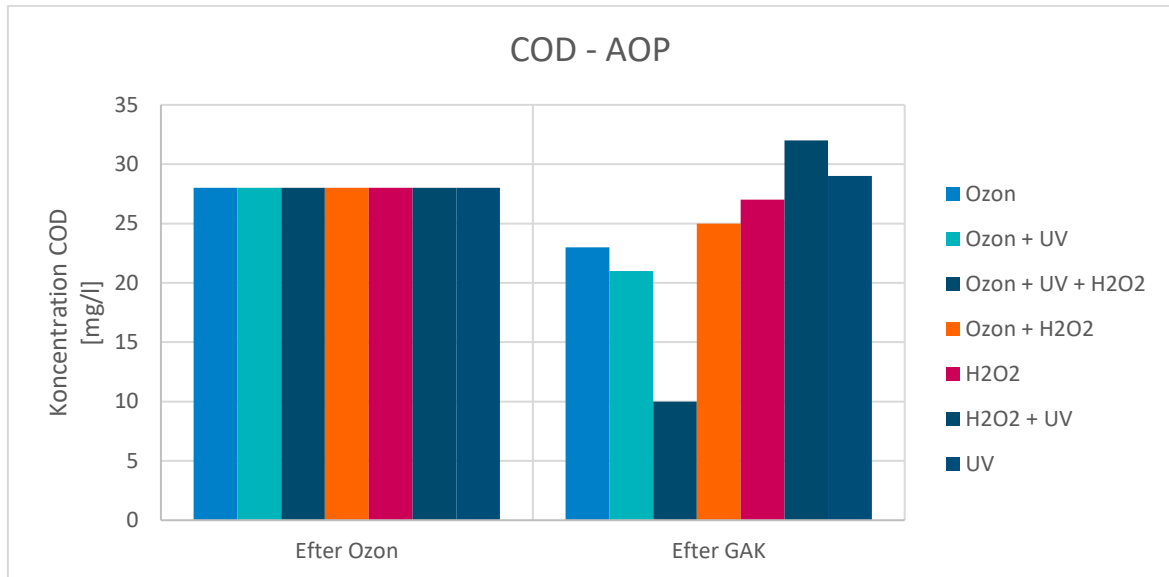


Figur 26. Koncentration TOC vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser.



Figur 27. Koncentration DOC vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser.

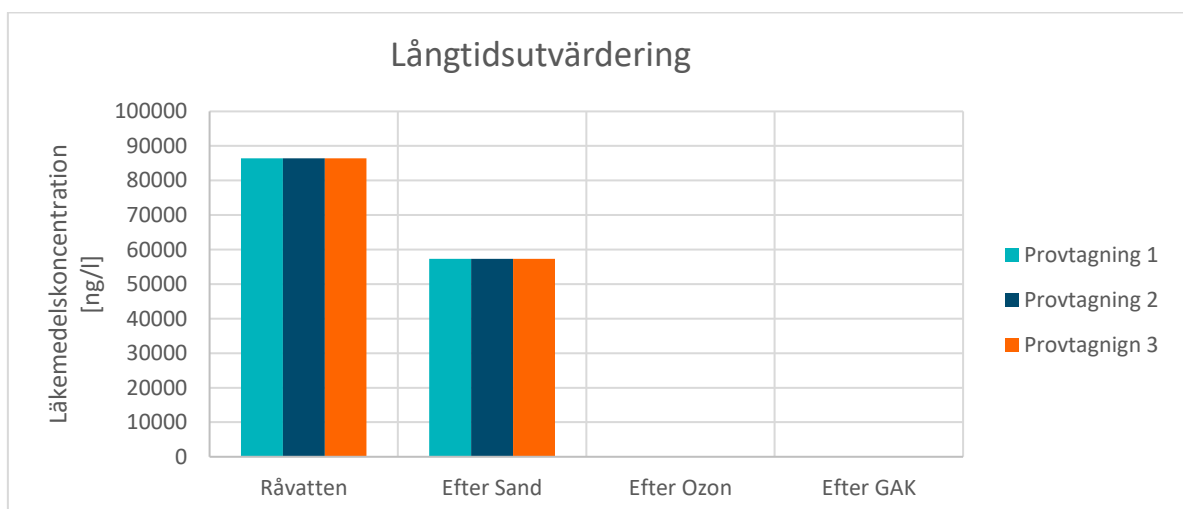
Resultaten för COD visade att ozon som enskild oxidationsprocess uppnådde högst reduktion av COD. Den AOP som uppnådde högst reduktion utgjordes av en kombination av samtliga tre oxidationsprocesser, se Figur 28. Halten i utgående vattenflöde efter AOP behandlingen var då under rapporteringsgränsen.



Figur 28. Koncentration COD vid behandling med AOP och enskilda oxidationsprocesser. Koncentrationen COD efter vattenbehandling med ozon, väteperoxid och UV tillsammans är under rapporteringsgränsen på 20 mg/L, där av är stapeln satt till 10.

6.3. Provtagningsstillfälle 2 – 4 (Långtidsutvärdering)

Provtagningsstillfälle 2, 3 och 4 utgör tillsammans en utvärdering av processen över längre tid och presenteras i figur 29. Vattnet behandlades genom ozonering med en uteffekt på 70 %, följt av GAK-filtrering. Inkommande vatten hade en koncentration på 86 415 ng/l som reducerades till 57 348 ng/l efter sandfiltrering. Efter ozonering uppnåddes en reduktion av läkemedel på 99 %. Efter GAK-filtrering reducerades inte halten ytterligare. Samtliga provtagningsstillfällen uppvisade liknande resultat vilket visar att processen kan leverera en hög reningsgrad under långtidsutvärderingens angivna tidsperiod.



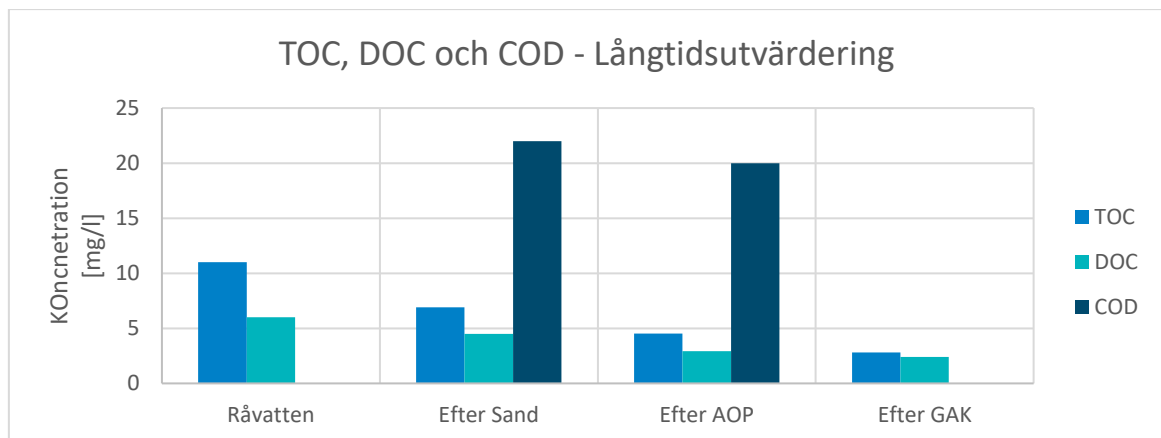
Figur 29. Resultat för prover under långtidsutvärdering.

6.3.1. TOC, DOC och COD

Under långtidsutvärderingen analyserades även TOC, DOC, och COD. Resultaten presenteras i figur 30. Koncentrationen TOC i vattnet var 11 mg/l och koncentrationen DOC 6 mg/l vilket tyder på en hög andel icke löst organiskt material i vattnet. Efter sandfiltrering är skillnaden mellan TOC och DOC betydligt mindre vilket visar att sandfiltrering reducerar icke löst organiska material. Efter AOP reducerades både koncentrationen TOC och DOC.

Koncentrationen COD uppmättes till 22 mg/L innan AOP behandling och 20 mg/l efter AOP behandlingen. Mätosäkerheten för vald analysmetod för COD är 10-25% vilket betyder att minskningen i COD från innan AOP till efter inte kan påvisas med säkerhet.

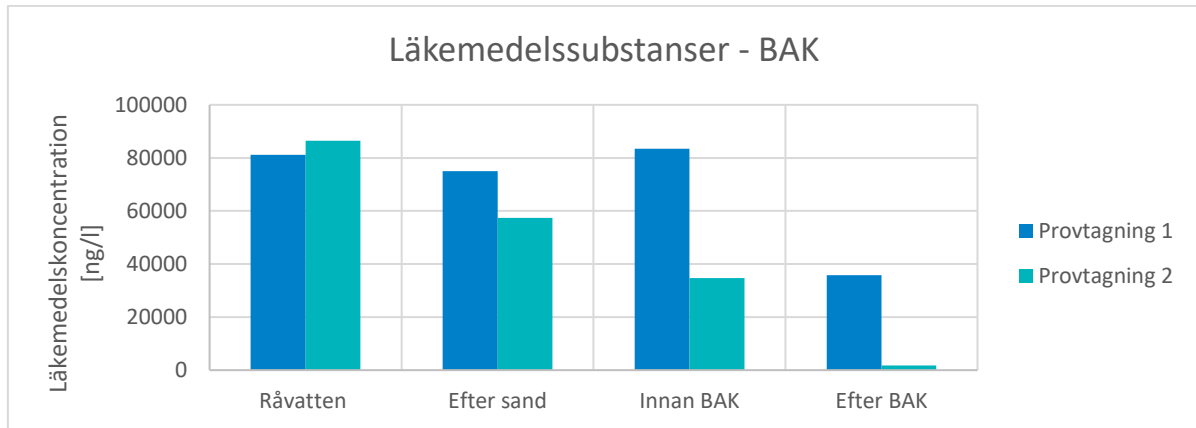
Efter att vattnet passerat över GAK filtret uppvisar resultaten inte någon signifikant skillnad i koncentration för TOC och DOC jämfört med innan GAK filtreringen.



Figur 30. Koncentration TOC, DOC och COD under långtidsutvärdering.

6.4. BAK-filtrering

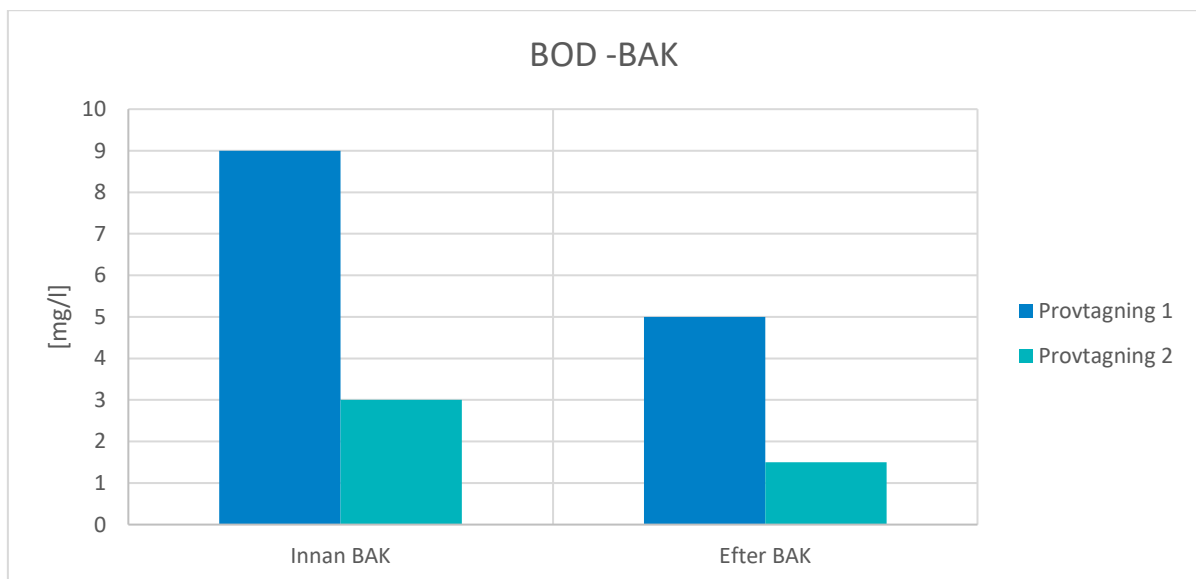
Vid provtagningstillfälle 1 och 2 togs även prover för utvärdering av BAK-filtret. Resultaten beträffande läkemedelssubstanser är presenterat i figur 31. Vid provtagning 1 uppnåddes en reduktion på 72 % av läkemedelssubstanserna efter BAK-filtret. Vid provtagning 2 uppnåddes en reduktion på 98 % av läkemedelssubstanserna efter BAK-filtret. Vid tillfälle 2 uppvisades dock även en högre reduktion över sandfiltreringssteget.



Figur 31 Läkemedelshalter vid BAK-filtrering.

6.4.1. BOD

Under utvärderingen av BAK-filtret analyserades även BOD före och efter BAK-filtret för att utvärdera etableringen av en eventuell mikrobiologi i kolbädden. Under båda provtagningstillfällena reducerades halten BOD vilket indikerar att mikrobiologi etablerats, minskningen kan även bero på adsorption.



Figur 32. BOD-halter vid BAK-filtrering. Koncentrationen BOD efter BAK-filtrering vid provtagning 2 var under rapporteringsgränsen (3mg/l).

6.5. Resulterande totala läkemedelshalter

19 av 100 analyserade läkemedelssubstanser återfanns i utloppsvattnet från Flurkmarks reningsverk vid första provtagningstillfället och medianvärdet av de detekterade läkemedelssubstanserna var 185 ng/L. Den läkemedelssubstans som detekterades med högst koncentration var paracetamol som stod för 94 % av den uppmätta koncentrationen.

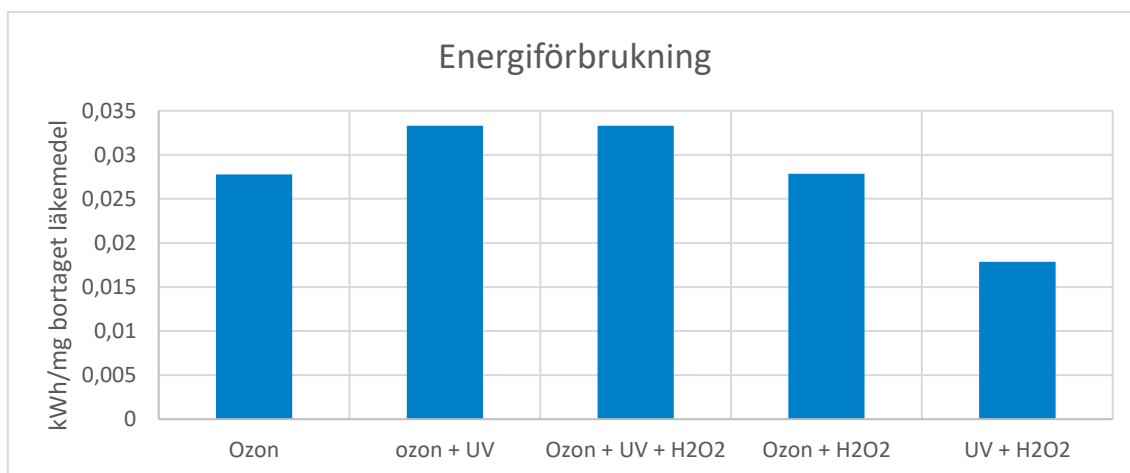
Tabell 5. Läkemedelssubstanser med högst uppmätta koncentrationer

Aktiv läkemedelssubstans	Användningsområde	Koncentration [ng/l]
Paracetamol	Smärtstillande	75 856
Karbamazepin	Epilepsibehandlingspreparat	1 717
Vanlafaxin	Antidepressivt	610
Caterizine	Allergimedcin	504
Losartan	Blodtrycksmedicin	450
Propanolol	Blodtrycksmedicin	399
Metroprolol	Hjärtrytmstabiliserande medicin	336

6.6. Energiförbrukning

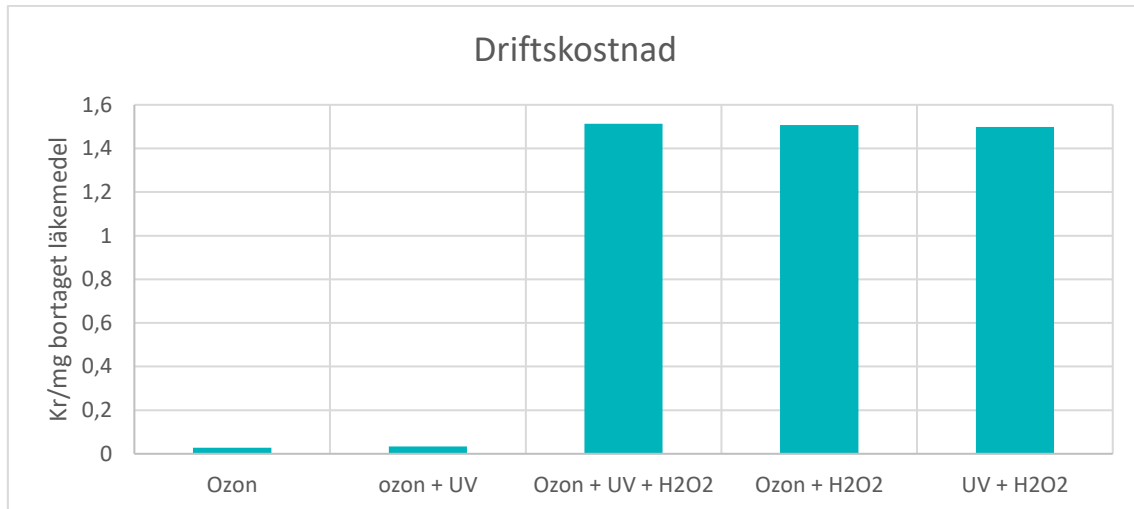
De olika oxidationsprocesserna har jämförts med avseende på energigång i relation till reducerad mängd läkemedel. Nedan presenteras elektrisk effekt per mg reducerad läkemedelsubstans för de olika implementerade teknologierna (se Figur 33).

Effektbehovet har beräknats genom att summera behovet för komponenter i systemet. Särskilt effektkrävande komponenter är syrgas- och ozongeneratorer, UV-reaktor, pumpar och kylsystem.



Figur 33. Energiförbrukning per mg reducerad läkemedelsubstans. Energiförbrukningen redovisas inte för väteperoxid och UV var för sig. Detta pga. att oxidationsprocesserna enskilt inte bidrog till någon rening av läkemedelssubstanser.

Det tillkommer även kemikaliekostnader för väteperoxidbehandlingens driftkostnad. Estimerad driftkostnad för respektive AOP och oxidationsprocess visas i Figur 34.



Figur 34. Driftskostnaden för de olika oxidationsprocesserna med avseende på mängd reducerade läkemedelssubstanser (elkostnad är satt till 1kr/kWh).

6.7. Nyckeltal

Nedan presenteras utvalda nyckeltal med reningsgraden för de olika oxidationsprocesserna.

Tabell 6. Beräknade nyckeltal för anläggningens olika processinställningar.

Processinställning	Reningsgrad [%]	kWh/m ³ [Renat vatten]	kWh/mg [Borttaget läkemedel]	Läkemedel/år [kg]
Ozon (70% uteffekt)	99%	2,25	0,027	2,5
Ozon (70% uteffekt) + UV	99%	2,69	0,033	2,5
Ozon (70% uteffekt) + UV + väteperoxid	99%	2,69	0,033	2,5
Ozon (70% uteffekt) + Väteperoxid	99%	2,25	0,027	2,5
Väteperoxid	-2%	0,12	-	
Väteperoxid + UV	39%	0,56	0,018	1
UV	-24%	0,56	-	

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 mätosäkerhet och varierande koncentrationer i det uppmätta flödet.

6.7.1. Effektbehov vid läkemedelsborttagning

Vid analys av nyckeltalet kWh/m³ behandlat vatten kan utläsas att det ökar allt eftersom effekten på anläggningen ökar. Det som dock ska tas i beaktning är att med

Sid nr. : 34 (39)

”renat vatten” så menas mängden vatten som passerar anläggningen men tar inte reningsgraden i beaktning.

6.7.2. Läkemedel som elimineras varje år

Erhållna resultat påvisar en effektiv reduktion av majoriteten mätbara läkemedelssubstanser som passerar genom Flurkmarks avloppsreningsverk. Det implementerade reningssystemet uppnår en estimerad läkemedelsreduktion på 2,5 kg/år vid ett vattenflöde på 3,5 m³/h. En motsvarande uppskalad process på Öns reningsverk med ett medelflöde på 35 000 m³/dygn ger en årlig estimerad läkemedelsreduktion på ca 1 ton. Dock reducerar Öns reningsverk redan halten paracetamol (vilken utgör merparten av uppmätta läkemedelssubstanser) i hög grad vilket skulle ge en estimerad läkemedelsreduktion på ca 50 – 100 kg per år för Öns verk för uppmätta substanser i denna studie. För Flurkmarks totala medelflöde på 4,5 m³/h skulle det innebära en årlig estimerad läkemedelsreduktion på 3,1 kg.

Det är dessutom troligt att den verkliga mängden är betydligt högre då urvalet endast omfattar ett knappt hundratal av de ca 3000 registrerade läkemedelssubstanser i EU (Hamrén, 2017).

7. Slutsatser och rekommendationer

Den mest effektiva av de utvärderade oxidationsprocesserna med avseende på reducerad halt läkemedelssubstanser visades vara ozonering. I samtliga provtagningar där vattnet behandlats med ozon var reningsgraden av >99 %. Då paracetamol exkluderas från resultaten så uppnås en rening på mellan 90–95%.

När det kommer till synergieffekter mellan olika oxidationsprocesser vid AOP är det svårt att dra slutsatser gällande vilken kombination av oxidationsprocesser som är mest effektiv. Anledningen till detta beror på den redan höga reduktionen orsakad av ozonering. En granskning av mängden reducerad TOC och DOC indikerar att ozon i kombination med väteperoxid troligen uppnår störst reduktion med avseende på generellt organiskt innehåll.

För att utvärdera systemet ytterligare med avseende på synergieffekterna mellan de olika oxidationsprocesserna hade det troligen varit fördelaktigt att genomföra provtagningar där uteffekten på ozon sänks till dess lägre spann.

I Figur 33 presenteras energiförbrukningen och indikerar att ozonering är det mest energikrävande reningssteget men även det mest effektiva med avseende på reduktion av läkemedelssubstanser. Det bör dock noteras att det tillkommer fler driftskostnader utöver energiförbrukning, exempel på det är kemikaliekostnader för väteperoxid. Det tillkommer även underhållskostnader för de olika reningsstegen.

Beträffande BAK-filtrering har en god reduktionsförmåga av läkemedelssubstanser påvisats, det är dock svårt att avgöra om det bildats en mikrobiologisk kultur i

kolbädden eller om reningssteget verkar som ett GAK-filter. Reningsgraden uppmättes till som mest 98 % vid provtagningstillfälle 2.

7.1. Kombinerade reningstekniker för ökad reningsgrad

Vid lägre reningsgrad i reningsprocesser före GAK-steget (exempelvis vid behandling med UV eller väteperoxid) har GAK-filtret uppvisat en god adsorptionsförmåga vilket kvalificerar reningstekniken som ett bra kompletterande reningssteg exempelvis vid ev. problem med uppströms reningssteg.

Resultaten i denna studie stödjer även att välfungerande oxidationssteg uppströms GAK-filter minskar halter av läkemedel och övriga organiska föroreningar i vattnet vilket ökar filtermediets livslängd. Därmed minskas även GAK-filtrets driftkostnader.

7.2. Rekommendationer för vidare drift

Resultaten från projektet var över förväntan och resultaten uppvisade hög reningsgrad på >99 % och 90–95% om paracetamol exkluderas för den utvärderade processen. För vidare drift av reningssystemet rekommenderas i första hand en kombination av ozonering och GAK-filtrering.

För framtida tester rekommenderas att undersöka kombinationseffekterna av de olika oxidationsprocesserna mer i detalj. Därutöver rekommenderas en mer ingående studie av BAK-filtret med avseende på tiden det tar för filtret att etablera mikrobiologi samt hur reningsförmågan påverkas över ett längre tidsspann.

8. Referenser

- 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/>
- Brodin T., F. J. (den 15 February 2013). Dilute Concentrations of a Psychiatric Drug alter Behavior of Fish from Natural Populations. *Science* 339, ss. 814-815.
- 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.
- Fick J., L. R.-L. (2011). *Results from the Swedish National Screening Programme 2010*. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.
- 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/>
- Johan Ahlström. (2020). *Tavelån*. Västerbotten: Länsstyrelsen.
- 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>

Sid nr. : 37 (39)

Pengkang, J., Xin, J., Xianbao, W., Yongning, F., & Xiaochang, W. C. (2013). Biological Activated Carbon Treatment Process for Advanced Water and Wastewater Treatment. i M. D. Matovic, *Biomass Now - Cultivation and Utilization*.

Pontén, J., Rönholm, G., & Skiöld, P. (2017). *PPRI Pharma Profile Sweden*. Stockholm: Dental and Pharmaceutical Benefits Agency.

Sehlén, R., Malmberg, 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. Bilaga 1

Tabell 7. 22 läkemedel som miljöindikationer

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	Stor användning, stor andel receptfritt, har hittats i ytvatten
Karbamazepin	Har hittats i dricksvatten och 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
Trimetoprim	Stor användning, har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam
Zolpidem	Har hittats i dricksvatten, ytvatten och slam

10. Bilaga 2

Tabell 8. Analyserade läkemedelssubstanser med rapporteringsgräns.

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