



**VILHELMINA
KOMMUN**
VUALTJEREN TJÆLTE

MELLIFIQ

Slutrapport – Läkemedelsrening vid Vilhelmina avloppsreningsverk



Innehåll

1.	Bakgrund	3
1.1.	Läkemedel och dess miljöpåverkan	3
1.2.	Målsättning	4
1.3.	Omfattning	4
1.4.	Regelverk.....	5
1.5.	Närmiljö och recipient.....	6
1.6.	Vilhelmina avloppsreningsverk	7
1.7.	Utsedd reningsteknik	9
1.8.	Förstudie.....	12
2.	Implementering	18
2.1.	Reningsystem	19
2.2.	Container-integration	25
2.3.	Integration med befintlig avloppsrening	29
3.	Utvärdering	35
3.1.	Provtagning.....	35
3.2.	Reningseffekt.....	37
3.3.	Energiförbrukning och miljöpåverkan.....	43
3.4.	Diskussion & rekommendationer.....	44
4.	Referenser	48
	Bilaga 1 – Uppmätta läkemedelsämnen vid förstudie (93st).....	50
	Bilaga 2 – Uppmätta läkemedelsämnen vid utvärdering (104st).....	51



1. Bakgrund

Vilhelmina kommun har de senaste åren utökat sitt aktiva arbete med förbättringsåtgärder för miljön och naturen. Den satsning kommunen bedriver med ett grönt fokus finns väl beskrivet i den sedan 2018 antagna översiktsplanen *Grön Översiktsplan Vilhelmina kommun – med sikte på 2030*. (Vilhelmina Kommun, 2018) / *denna går* kommunens vision och långsiktiga mål väl i linje med EU:s miljö kvalitetsmål. Ett globalt förhållningssätt och nya verktyg för att hantera den expansion av bostäder och tillväxt som kommunen strävar efter. Vilhelmina kommun har tidigare agerat pilotkommun i den forskningssatsning *Storslagen fjällmiljö* som bedrivits med bidrag från Naturvårdsverket, i Grön översiktsplanering i fjällen har en process för landskapsplanering och miljöförbättrande åtgärder utvärderats. (Storslagen Fjällmiljö, 2023) Vilhelmina kommun vill fortsätta detta utvecklingsarbete och genomför därför insatser för en minskad miljöbelastning på kommunens reglerade sjöar och vattendrag.

I en ytterligare satsning för att utvidga miljöarbetet ansökte Vilhelmina kommun i början av 2021 till Naturvårdsverket om bidrag för förstudie- eller investeringsprojekt för att utöka avloppsvattenreningen med avseende på läkemedelsrening. Under sommaren 2021 beviljades ansökan av Naturvårdsverket för ett investeringsprojekt, och kort därefter inleddes projektet i samarbete med Mellifiq.

1.1. Läkemedel och dess miljöpåverkan

Många läkemedelssubstanser är bekräftade miljöhot. Ett exempel på det är det halvsyntetiska östrogenet etinylestradiol, som ingår i vissa preventivmedel och försvagar reproduktionsförmågan hos fiskar. Det finns även exempel på ekotoxikologiska effekter på bakterier och alger orsakade av antibiotika, och det antidepressiva läkemedlet oxazepam har bekräftats orsaka förändrade beteendemönster på den europeiska abborren. Ett annat känt exempel är den radikala populationsminskningen av gamar i Indien, orsakat av den smärtstillande substansen diklofenak. (BIO Intelligence Service, 2013)

Inom EU är den största bidragande faktorn till emissioner av läkemedelssubstanser till miljön genom konsumtion och inkorrekt hantering av överblivna läkemedel. För orala doser passerar mellan 30 och 90 % av den aktiva läkemedelssubstansen människor och djur, och tar sig ut ur kroppen genom urinet. (BIO Intelligence Service, 2013) Läkemedelssubstanser som inkommer till konventionella reningsverk passerar ofta utan att degraderas, men vissa substanser bryts ned helt eller delvis under reningsprocessen.

I Sverige har Region Stockholm publicerat en förteckning över miljöbelastande läkemedelssubstanser, som består av 25 substanser vars miljöutsläpp bör följas upp. Listan är baserad på både data gällande koncentration i ytvattentäkter och i vissa fall



även fiskar, samt vattenövervakning enligt EU:s vattenlagstiftning. Bland dessa ingår bland annat substanser som har detekterats i fisk nära eller vid terapeutiska nivåer för människa, har en toxicitet vid relevanta halter, och substanser som riskerar att selektera för antibiotikaresistenta bakterier. (Region Stockholm, 2022)

Med ökad läkemedelskonsumtion i samhället följer även ökade utsläpp till miljön, vilket påverkar närliggande naturområden och vattendrag (Hamrén, 2017). Varje år introduceras nya typer av mediciner och medicinska produkter inom nya områden. Under endast 2015 introducerades exempelvis 68 nya substanser (Pontén, Rönholm, & Skiöld, 2017). Implementering av ny reningsteknik är därför avgörande för att minska utsläppsnivåerna till naturen.

1.2. Målsättning

Målsättningen har varit att installera en fullskalig reningsanläggning med syftet att rena bort läkemedelsrester vid Vilhelmina avloppsreningsverk. Detta för att över tid uppnå en minskad belastning på miljön och specifikt Volgsjön. Vilhelmina kommun hoppas även kunna inspirera närliggande kommuner till liknande arbete med läkemedelsrening och miljöarbete i allmänhet.

1.3. Omfattning

Projektet påbörjades med en förstudie för att utvärdera status på avloppsreningsverket med provtagning och framtagning av relevant data med avseende på nuvarande halter av läkemedelssubstanser. Resultaten från förstudien redovisas som ett delavsnitt i denna rapport. Efter förstudien genomfördes dimensionering och projektering av ett fullskaligt läkemedelsreningssystem som sedan installerades och utvärderades genom insamling av vattenprover från olika delar av reningsprocessen.

Med bakgrund mot tidigare framgångsrika läkemedelsreningssystem hade ett reningssystem baserat på reningsteknikerna sandfiltrering, ozonering, och kolfiltrering utsetts till projektet. (Tierps Energi & Miljö AB, 2020) (Baresel, Ek, & Ejhed, 2017) Då tillräckligt utrymme inte fanns tillgängligt för en ny reningsanläggning inne i befintligt reningsverk utsågs en plats med stora tillgängliga ytor i närheten av reningsverket, i anslutning till byggnaden för det gamla reningsverket. På avsedd yta placerades ett containerbaserat reningssystem som anslöts till utgående avloppsvattenflöde från Vilhelmina ARV.

1.4. Regelverk

Europeiska unionens (EU:s) avloppsdirektiv (The Urban Waste Water Directive, UWWTD) reglerar miljöemissioner till vatten för att skydda vattenmiljön från urbana källor och industrier. Direktivet kräver att alla medlemsländer inom EU måste hantera avloppsvatten från agglomerationer över 2000 invånare till en minimumstandard. Avloppsdirektivet 91/271/EEC från 1991 omfattar rening av biokemisk syreförbrukning (BOD), kemisk syreförbrukning (COD) och suspenderade partiklar (Total Suspended Solids, TSS), samt även Tot-Poch totalt kväve där recipienten klassas som känslig för eutrofiering. (Council Directive 91/271/EEC, 1991)

Under hösten 2022 gick Europeiska Kommissionen ut med ett förslag för revision av avloppsdirektivet. I revideringen föreslås inte bara skärpta krav gällande näringsämnen men även införande av kvartenär rening, det vill säga rening av mikroföroreningar i form av läkemedelsrester. I förslaget nämns en lista på ett antal indikatorsubstanser som kan förorena vatten vid förekomst i låga koncentrationer. Listan består av två kategorier enligt tabellen nedan, där den första kategorin är substanser som enkelt kan behandlas och den andra kategorin är substanser som enkelt kan separeras bort. (Directorate-General for Environment, 2022)

Tabell 1, Lista på indikatorsubstanser aktuella för kvartenär rening i EU kommissionens förslag för revision av avloppsdirektivet. (Directorate-General for Environment, 2022)

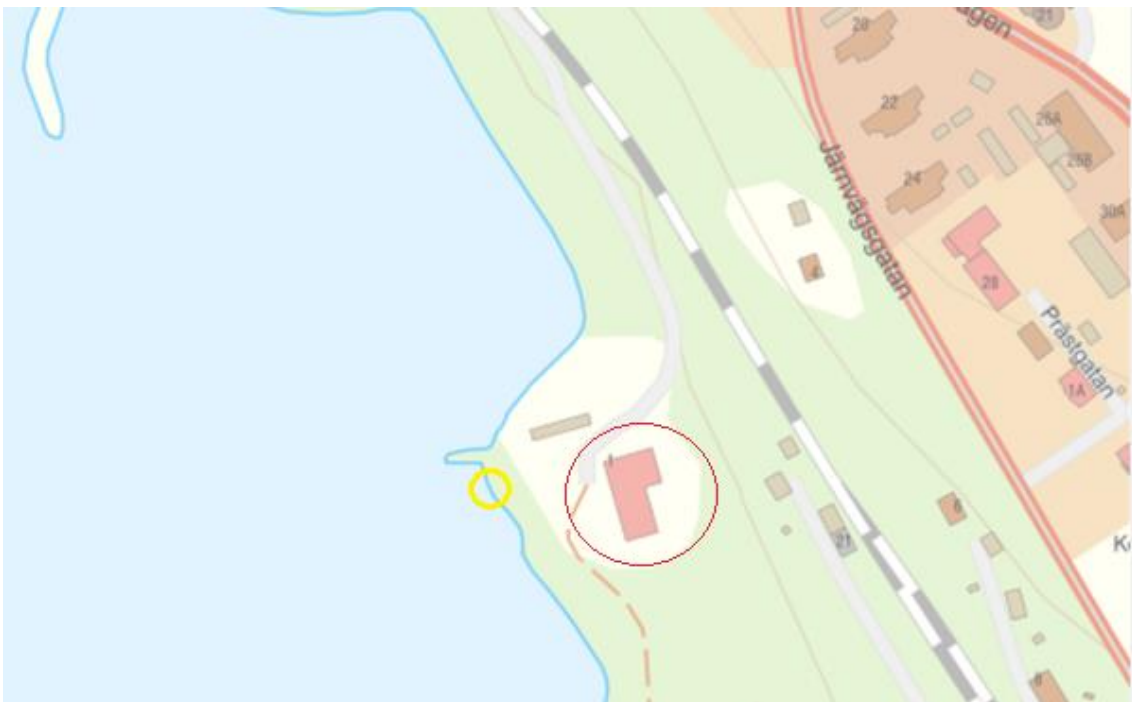
Kategori 1	Kategori 2
Amisulprid	Benzotriazole
Carbamazepine	Candesartan
Citalopram	Irbesartan
Clarithromycin	4-Methylbenzotriazole
Diclofenac	6-Methylbenzotriazole
Hydrochlorothiazide	
Metoprolol	
Venlafaxine	

I kommissionens förslag föreslås en reningsgrad om minst 80 % av indikatorsubstanserna, där procentsatsen ska baseras på minst sex substanser i listan och antalet substanser i kategori 1 är det dubbla antalet av substanser i kategori 2. Reningsgraden beräknas som ett medelvärde av totalkoncentrationen av läkemedelsämnena, där koncentrationen ingående till reningsverket jämförs med den utgående koncentrationen. (Directorate-General for Environment, 2022)



1.5. Närmiljö och recipient

Från Vilhelmina ARV pumpas vatten till Volgsjön som primär recipient enligt figuren nedan. Volgsjön är en viktig knutpunkt bland kommunens invånare, och används flitigt för fiske, bad och allmänna vinteraktiviteter. Volgsjön utgör en buffertvolym innan vattenflödet når Ångermanälven. Sjön ingår i Ångermanälvens huvudavrinningsområde, som klassificeras som Sveriges tredje vattenrikaste älv. Volgsjön är hem åt flertalet känsliga arter, så som flodkräfta, flodpärlmussla, elritsa och öring. Sjön uppnår ej kemiskt god status och har en otillfredsställande ekologisk potential. Detta enligt samlad information från övervakningsstationer kring sjön beskrivet i VISS - Vatteninformation.



Figur 1, Vilhelmina avloppsreningsverk markerat i rött och utsläppspunkten till Volgsjön markerat i gult.

Reningsverket ligger precis vid mynningen till Vojmån som är direkt ansluten till Volgsjön, vilket kan ses i Figur 2.. Reningsverket är listat som en direkt påverkanskälla, och är även utsatt för höjda nivåer av PFOS p.g.a. en närliggande brandövningsplats. Det finns därav anledning att anta att en miljönytta kan uppnås genom att implementera fler reningssteg efter nuvarande avloppsvattenrening, framför allt då reningsverket inte har ett biologiskt steg idag.



Figur 2, Volgsjön är ett centralt vattendrag i området med nordlig och sydlig till- och frånflöden via angränsande ytvatten.

1.6. Vilhelmina avloppsreningsverk

Vilhelmina avloppsreningsverk är kommunens största reningsverk och är centralt beläget med direkt närhet till Volgsjön. Det togs i drift 1975 i sin nuvarande utformning med mekanisk och kemisk rening med fällningskemikalie. Avskilt slam från processen behandlas med förtjockning och slutavattning i en dekantercentrifug.

Avloppsreningsverket behandlar avloppsvatten från Vilhelmina tätort sam byn Lövliden. Reningsverket är placerat vid stranden av Vojmåns utlopp till Volgsjön för att utnyttja självfall så mycket som möjligt och minimera pumpning. Verket är dimensionerat för 5 000 personer samt ytterligare 220 m³/d industriavloppsvatten från mejeri och slakteri, som fanns när reningsverket byggdes.

Reningsverket renoverades för ett antal år sedan men innehåller idag inget biologiskt steg, vilket innebär att reningsverket före projektets genomförande har haft särskilt begränsade förutsättningar att uppnå reduktion med avseende på inkommande läkemedelsrester.



I korthet består reningsverket av följande steg:

Mekanisk rening – 2 st renessilar av fabrikat HUBER med håldim 2 mm är placerade före försedimenteringsbassängen och avskiljer fasta föroreningar från inkommande vatten. 1st renessil med håldim 6 mm, för externslammottagning, och ev. mottagning av bräddvatten från mottagssilarna. Renset från silarna komprimeras till ca 40 - 50% TS-halt som sedan förpackas i plaststrumpor, för senare transport till förbränning i Umeå. Rejektvattnet leds till pumpsump för inkommande avloppsvatten.

Försedimentering – Primärslammet avskiljs genom sedimentering i försedimenteringsbassängen. Det sedimenterade slammet och det tillförda kemslammet skrapas med hjälp av en linskrapa till slamfickor belägna i inloppsändan.

Bräddning med motordriven bräddningslucka – I försedimenteringsbassängens utloppsände finns en tvärgående samlingsränna från vilkens ena ände avloppsvattnet rinner genom en öppning till det första flockningssteget, I samlingsrännans andra ände finns en motordriven bräddningslucka som styrs av ett ekolod, så att ett flöde på högst 2 gånger dimensionerat flöde leds till det kemiska fällningssteget.

Flockningsbassänger – Just före det första flockningssteget tillsätts fällningskemikalie, vilket inblandas i vattnet från försedimenteringen. Inblandningen sker i första flockningssteget, varefter vattnet leds till de två övriga, i serie, kopplade flockningsstegen. Härvid bildas en kemisk flock. Tillsättningen av fällningskemikalie styrs av utgående flödesmätare alternativt slamhaltsmätare. I de andra flockningsstegen förbättras den bildade flocken genom långsam omröring med flockningspaddlar. Genom absorption och adsorption binder flockarna större delen av vattnets innehåll av lösta och fasta föroreningar såsom fosfor och syreförbrukande ämnen. Flockningspaddlarna skall arbeta kontinuerligt varför automatisk styrning saknas.

Eftersedimenteringsbassänger – I två parallella sedimenteringsbassänger avskiljs den kemiska flocken, varefter det färdigbehandlade vattnet leds via mätskibord till utloppsledningen och recipienten. Det i eftersedimenteringsbassängerna avskilda slammet skrapas av linskrapor till slamfickor belägna i inloppsändan av varje bassäng. Slammet pumpas intermittent tillbaka till försedimenteringen. Återpumpning av kemslam till första fällningssteget görs för att utnyttja eventuellt kvarvarande aktiv fällningskemikalie optimalt samt för att slamförtjockarna skall fungera effektivare. I dessa bassänger finns även kollektorslangen för värmeåtervinning.

I nedan figur presenteras ortofoto på reningsverket.



Figur 3, Ortofoto av Vilhelmina ARV.

1.7. Utsedd reningsteknik

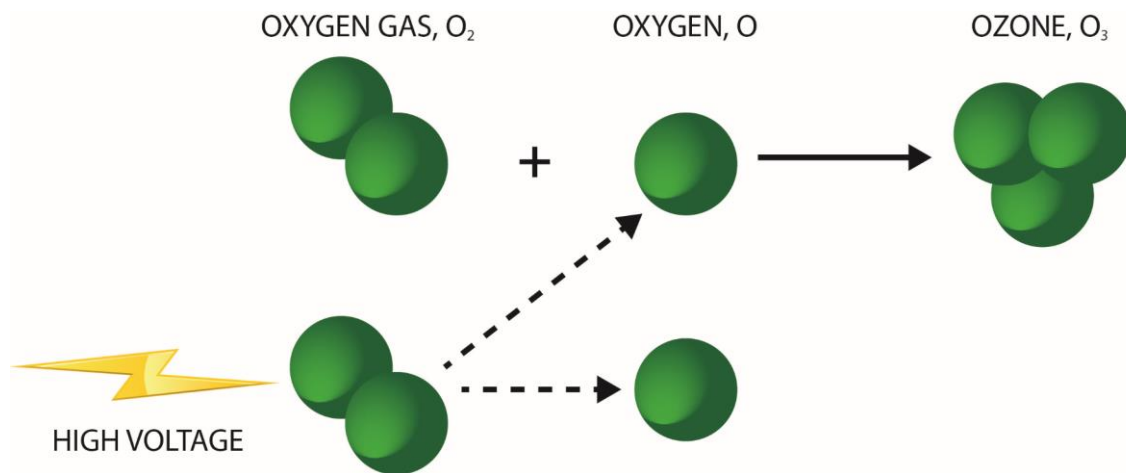
En seriell kombination av de tre olika reningsteknikerna sandfiltrering, oxidation med ozonteknik, samt adsorptionsfilter med aktivt kol har projekterats och installerats för att komplettera reningsprocessen vid Vilhelmina ARV. Tidigare studier har påvisat positiva synergieffekter mellan de olika teknikerna (Baresel, Ek, & Ejhed, 2017) och förhoppningen har i detta projekt varit att detta ska leda till en kostnadseffektiv reningsprocess med hög reningsgrad. Utöver läkemedelsrening kan dessa tekniker även anses utgöra ett tertiärt reningssteg med partikelavskiljning, desinfektion, och reducerad organisk belastning.

1.7.1. Partikelavskiljning med sandfilter

Ett sandfilter som första reningssteg avlastar nedströms reningssteg genom avskiljning av partiklar. Ett högt partikelinnehåll innebär bl.a. en högre organisk belastning på oxidationsprocessen vid ozonering och filtreringssteget med aktivt kol. Det ökar även risken för igensättning av kolfilter och eventuell annan känslig apparatur. Implementation av ett förfiltreringssteg gör i sin tur att risken för eventuella driftproblem reduceras, särskilt vid plötsliga störningar i reningsverkets mekaniska rening och utfällningssteg som skulle kunna leda till försämrade utgående vattenkvalitet. Ett förfiltreringssteg är dessutom särskilt viktigt i detta projekt då det befintliga reningsverket inte inkluderar ett biologiskt reningssteg.

1.7.2. Oxidation med ozonering

Oxidation med ozonering är reningssystemets primära steg vad gäller avskiljning av läkemedelssubstanser. Mikroföroreningar som läkemedelsrester i avloppsvatten kan brytas ned genom oxidation. Ozon är ett starkt oxidationsmedel och kan användas för reningprocessen med enbart luft och elektricitet som råmaterial. Processen sker genom att högkoncentrerad ozongas ($> 130 \text{ g/Nm}^3$) framställs och löses in i vattnet vid specifika flödes- och tryckparametrar. Den högkoncentrerade ozongasen framställs i en ozongenerator, och kräver torr syrgas från en syrgasgenerator eller flytande syrgas från tub(er). Det inlösta ozonet har en hög oxidationspotential och reagerar med kontaminanter i vattnet, däribland läkemedelsrester. Ozonframställningen kan illustreras enligt figuren nedan.



Figur 4, Konceptuell grafisk representation av framställande av ozongas genom elektrisk högsäpänningsurladdning där syrgas (O_2) sönderdelas för att skapa en ozonmolekyl, O_3 .

För en väl fungerande ozoneringsprocess krävs följande komponenter:

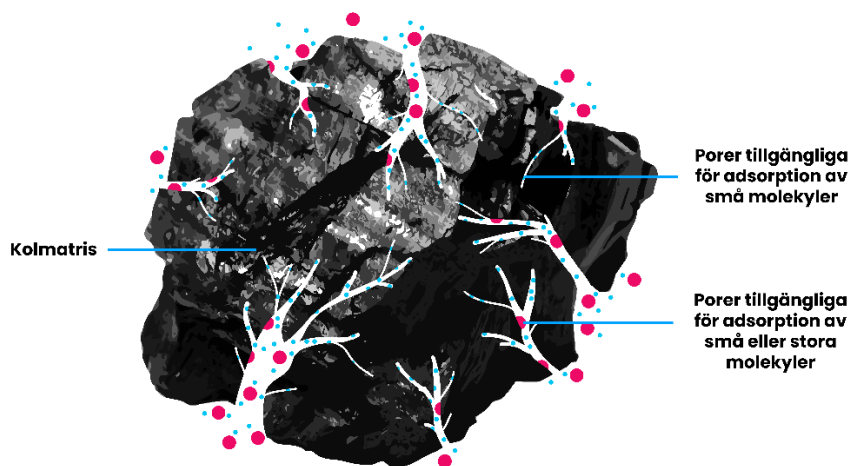
- Användning av syrgasmatade ozongeneratorer för att förlänga livslängden och reducera miljöpåverkan av ozonproduktionen,
- Reglering av flöde och tryck för optimal inlösning av ozongas i vattnet,
- Tillräcklig avblödningsfunktion från inlösningprocessen, där avblödningsgasen innehållande ozon leds till katalytiska ozondestrukturer, och
- Fullständiga säkerhetsfunktioner med automatiska avstängningsfunktioner vid detektion av ozongas.

Rening av mikroföroreningar med ozon inaktiverar de aktiva läkemedelssubstanserna och driver kemiska reaktioner mot slutprodukten vatten och koldioxid. Ozonet angriper primärt kovalenta dubbel- och trippelbindningar i molekylstrukturer, och reagerar så att de bryts ned till mindre molekyler. Nedbrytningsgraden genom ozonering beror på faktorer som reaktionstid, hydrauliskt tryck över reaktionstanken som påverkar inlösningensgraden och massöverföringen, samt den generella vattenkvaliteten i avloppsvattnet.

1.7.3. Adsorption med aktivt kol

Adsorption med aktivt kol är en etablerad reningsmetod för att avskilja organiskt innehåll från såväl vätske- som luftflöden. Adsorption är den process som sker då t.ex. organiskt material kommer i kontakt med och binder svagt till aktivt kol. Då aktivt kol generellt sett har en stor yta för dessa typer av bindningar kan en relativt stor mängd organiskt material fångas upp per massenhet aktivt kol.

Den tillgängliga ytan för adsorption är däremot ändlig och filtret blir med tiden mättat och dess förmåga att reducera mikroföroreningar minskar. Med jämna mellanrum måste därför filtermassan bytas ut eller regenereras och återanvändas. Med detta följer även kostnader och därför är åtgärder som ökar livslängden på det aktiva kolet av största intresse. Tiden det tar för aktivt kol-filtret att mättas beror på mängden organiska mikroföroreningar som tillförs filtret. Filtrets livslängd påverkas även av bl.a. vilken typ av föroreningar som tillförs filtret. (Harker, Backhurst, & Richardson, 2002)



Figur 5, Konceptuell grafisk representation av funktionen hos aktivt kol som adsorptionsmedia.

I det läkemedelsreningsystem som tagits fram som kompletterande reningssteg för Vilhelmina ARV utgör adsorptionssteget med aktivt kol ett sista steg för att fånga upp kvarvarande läkemedelsinnehåll efter oxidationssteget.



1.8. Förstudie

Som en första del av projektet efter godkänd ansökan utfördes under sommaren 2021 en förstudie för att undersöka befintliga läkemedelshalter vid respektive reningssteg i Vilhelmina ARV. Under förstudien samlades således vattenprover in och analyserades med avseende på läkemedelshalter, TOC, COD samt DOC.

1.8.1. Analys

Läkemedelsproverna skickades till en extern part för läkemedelsanalys med HPLC-MS för detektion och mätning med avseende på 101 olika aktiva läkemedelssubstanser. Detta för att få en översikt av förekomst och halter av läkemedelssubstanser generellt sett. Se bilaga 1 för samtliga läkemedel som mäts och deras detektionsgränser.

Vattenprover analyserades även med avseende på organiskt innehåll, mer specifikt COD (chemical oxygen demand), DOC (dissolved organic carbon), samt TOC (total organic carbon). Detta för att få en uppfattning om det organiska innehållet i vattnet och vilken typ av organiskt innehåll som förekommer.

1.8.2. Provtagning

I nedan figur presenteras en översikt över de huvudsakliga reningsstegen vid Vilhelminas avloppsreningsverk och vid vilka punkter som prover samlades in. Prover samlades in vid fyra punkter i processen enligt nedan figur; inkommande avloppsvatten till ARV (punkt A), efter mekaniskt reningssteg (B), efter kemiskt reningssteg (C), och till sist i recipient (D).



Figur 6, Schematisk bild Vilhelmina ARV och provpunkter vid förstudie.

Vid provtagningen beaktades uppehållstiderna mellan de olika reningsstegen i reningsverket. De hydrauliska uppehållstiderna bestämdes baserat på bassängernas storlek och dygnsflödet. Baserat på detta togs prover vid varje reningssteg, se Tabell 2 nedan.

Tabell 2, Provtagningschema vid förstudie.

Provpunkt	Provtagningsplats	Tidpunkt
A	Inflöde	07:20
B	Efter mekaniskt reningssteg	12:44
C	Utflöde efter kemiskt reningssteg	21:32
D	Recipient Volgsjön	13:00

Vattenprover om 200 ml togs för analys av COD, DOC och TOC. Vidare togs 40 ml i provrör för analys av specifika läkemedel. Vattenprover togs med hjälp av provtagare vid provpunkt A - D. Samma typ av provtagare användes vid varje provtagningspunkt.

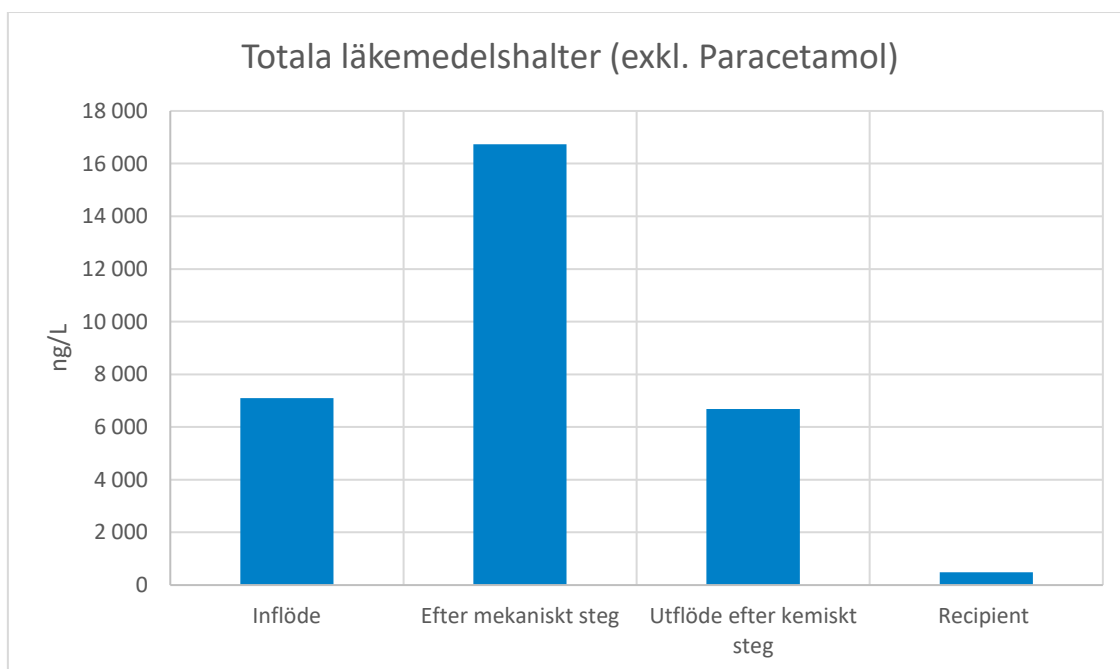


Figur 7, Provtagare vid Vilhelmina avloppsreningsverk.

1.8.3. Resultat

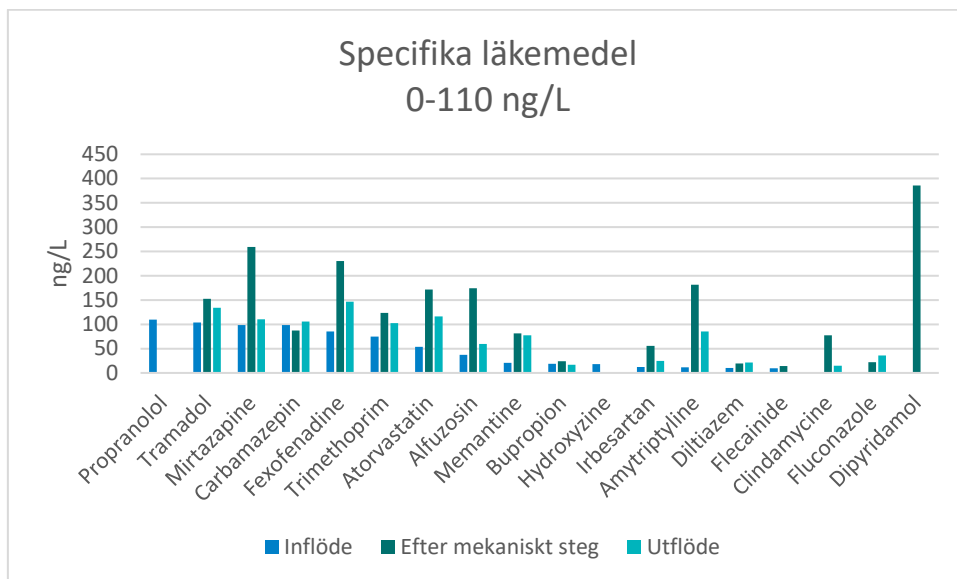
Totalt detekterades 29 av de 101 analyserade läkemedelssubstanserna. Den totala mängden vid inloppet var 85 788 ng/L, där Paracetamol stod för 78 695 ng/L av denna mängd. Vid utloppet från reningsverket var mängden högre än vid inloppet, 100 196 ng/L.

I nedan figurer presenteras resultaten från provtagningarna uppdelat i total uppmätt koncentration läkemedelssubstanser respektive uppmätta resultat för specifika substanser. Vidare har resultaten delats upp i olika figurer av hänsyn till de stora koncentrationsskillnaderna mellan olika substanser. Resultaten för Paracetamol presenteras separat, även detta pga. den stora koncentrationsskillnaden i förhållande till övriga substanser.

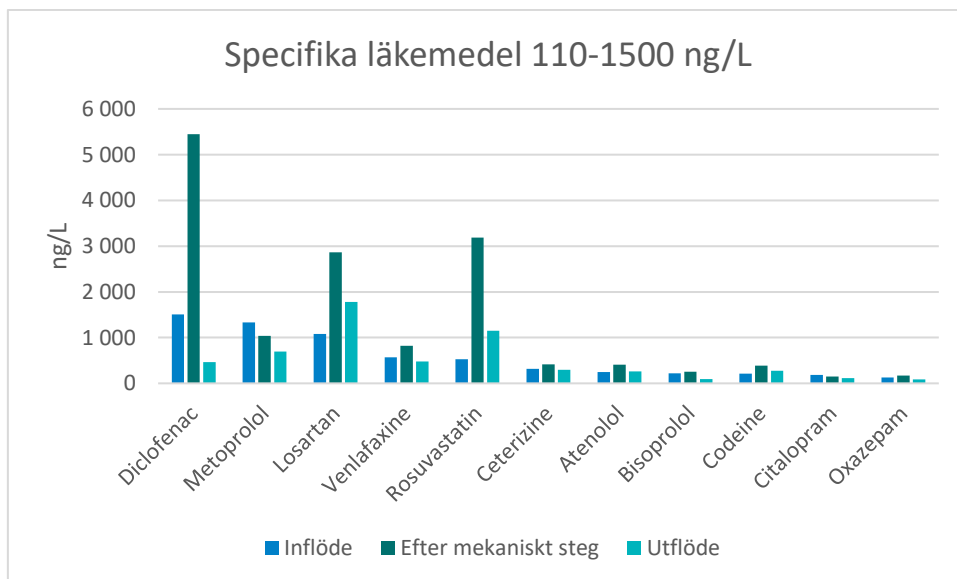


Figur 8, Total mängd läkemedel

I recipienten uppmättes en total läkemedelshalt på 486 ng/L och 4 substanser kunde detekteras: Diclofenac, Citalopram, Tramadol samt Trimetroprim.

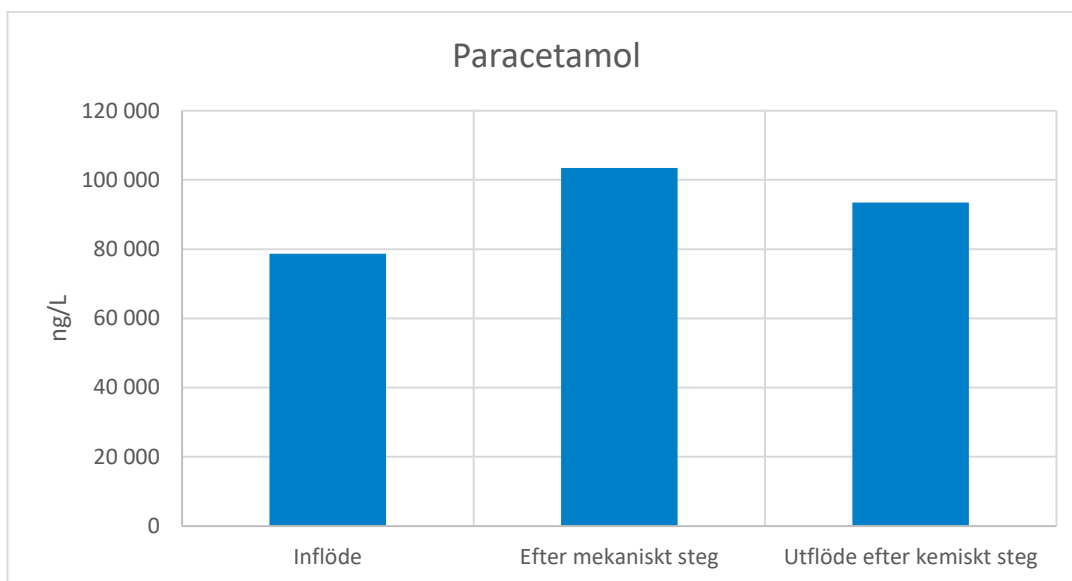


Figur 9, Specifika läkemedel. Läkemedel med inflödeshalt på 0–110 ng/L



Figur 10, Specifika läkemedel. Läkemedel med inflödeshalt på 110–1500 ng/L

De läkemedel med högst halt som identifierades, bortsett från Paracetamol, var Diclofenac, Metoprolol och Losartan. Dessa stod för 55 % av den totala inflödeshalten. Samtliga av dessa substanser kvarstod vid reningsverkets utflöde, men minskade med 41 % vid reningsverkets befintliga processteg.

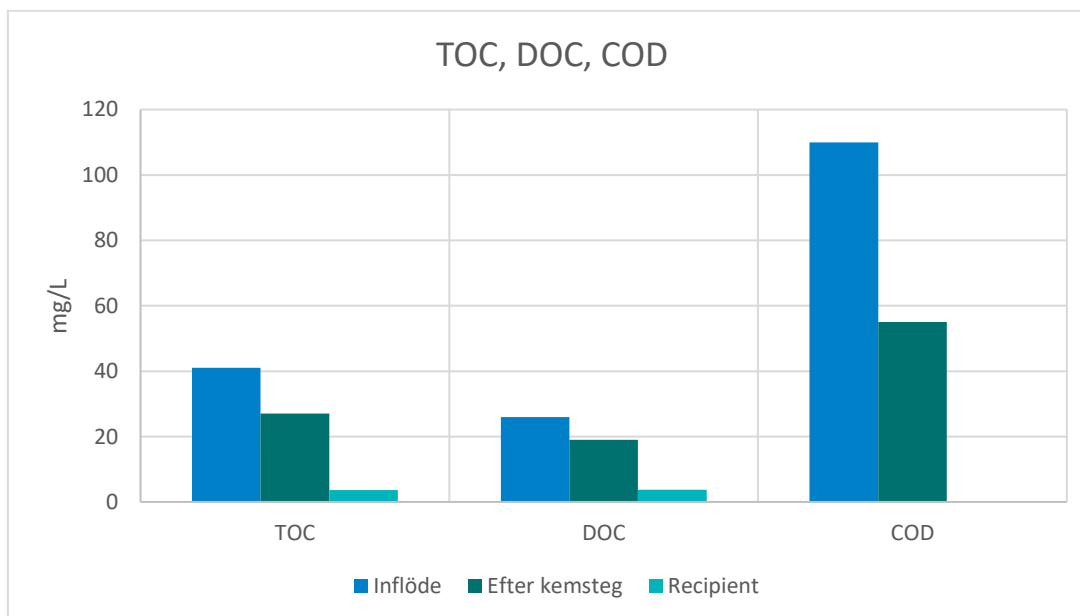


Figur 11, Koncentrationen av Paracetamol vid reningsverkets befintliga reningssteg

Mängden Paracetamol ökade i reningsverket, vid inflödet var mängden Paracetamol 78 695 ng/L och vid utflödet 93 458 ng/L, vilket är en ökning på 18 %.

1.8.3.1. Övriga mätparametrar

Nedan presenteras TOC, DOC, samt COD-nivåer vid inflöde, efter kemiskt steg och i recipient. Provtagningskärlet med vatten från efter mekaniska reningssteget gick tyvärr förlorat vid transport till laboratorium.



Figur 12, Koncentrationen TOC, DOC och COD uppmätt vid reningsverkets befintliga reningssteg.



1.8.4. Diskussion förstudie

Analysresultaten från provtagningarna utgör ett underlag från ett enskilt mätillfälle men ger en bild av befintliga läkemedelshalter som passerar de olika reningsstegen i Vilhelmina ARV. Det är troligt att halterna kan variera utifrån de uppmätta värdena beroende på inkommande flödesvolym och samhällets påverkan.

Baserat på mätresultaten, och med ett medelflöde på 69 m³/h, flödar cirka 60,5 kg läkemedel obehandlat från reningsverket till recipienten varje år. Hur de utsläppta substanserna påverkar miljön, späds ut, eller metaboliseras i naturen har inte undersökts i studien men halterna som kunde uppmätas var betydligt lägre i recipient än i det utgående flödet. Det är även viktigt att notera att de uppmätta läkemedelssubstanserna utgör ett urval av vanligt förekommande substanser, vilket i sin tur innebär att den verkliga totala halten kan vara flera gånger högre och även antalet förekommande substanser kan vara högre. Att halten paracetamol reducerats till under detektionsgränsen i recipient kan bero på utspädningseffekter men även på att substansen brutits ned i naturmiljön, i linje med tidigare studier där Paracetamol visats reduceras betydligt i det biologiska reningssteget på avloppsreningsverk.

Mätningarna uppvisade en koncentrationsökning genom reningsverkets reningssteg. Anledningen till koncentrationsökningen är ej närmare undersökt men skulle kunna bero på mätosäkerheter i analysen eller att partikelbundna läkemedel löses upp i reningsverkets befintliga steg.

Sammantaget visade resultaten att totalt 100 145 ng/L läkemedel passerar reningsverket i dagsläget med medelflöde på cirka 69 m³/h. Vid en extrapolering av dessa siffror leder det till en total utsläppsmängd om ca 60 kg läkemedel till recipienten från Vilhelmina ARV varje år. Mängden läkemedelsrester är hög jämfört med tidigare kartläggningar och projekt gjorda av Mellifiq, exempelvis Alingsås 6 500 ng/L, Sorsele 4 500 ng/L och Tierp 5 000 ng/L. En anledning till de högre halterna är troligen att Vilhelmina reningsverk saknar ett biologiskt reningssteg.

Med bakgrund mot resultaten bedöms förutsättningarna för införandet av ytterligare reningssteg för läkemedelsreduktion vara goda och skapa stor miljönytta i och med de relativt höga utgående halterna.



2. Implementering

Efter genomförd förstudie påbörjades dimensionering och projektering av ett reningssystem och inkluderad apparatur. Under hösten 2021 var effekterna på världsekonomin från Covid-pandemin fortfarande högst påtagliga och målsättningen var därför från ett tidigt stadium att säkra leveranser av kritisk utrustning för reningssystemet.

Det befintliga reningsverket bedömdes i ett tidigt skede inte ha tillräckliga ytor tillgängliga för att installera ytterligare reningssteg i befintlig byggnad. Av praktiska och tekniska skäl bedömdes sedan inte heller en utbyggnad av befintlig reningsverksbyggnad vara passande. Ett reningssystem projekterades därför först med utgångspunkten att en ny byggnad skulle uppföras på en markyta i anslutning till Vilhelmina ARV. I slutet av 2021 påbörjades sedan projektering av byggnad för de tillkommande reningsstegen.

I samband med planering av byggprojektet för den nya byggnaden under våren 2022 beslutades sedan (bl.a. av kostnadsskäl) att ett containerbaserat reningssystem skulle implementeras. Detta bl.a. för att minimera risken att exponeras för oväntade kostnader i samband med en husbyggnation. Från sommaren 2022 fortsatte därför projekteringen av en containerbaserad lösning. Under hösten 2022 kunde sedan beställningar göras på containrar och utrustning för ett containerbaserat reningssystem. I detta skede hade även effekterna från kriget i Ukraina slagit igenom på marknaden med fördyrande och fördröjande effekt på råmaterial och komponenter.

Efter att levererad utrustning erhållits påbörjades invändiga montagearbeten av containersystemet under våren 2023. Parallellt med detta påbörjades även förberedande markarbeten och VA-installationer. Containersystemet levererades sedan på plats efter sommaruppehållet i september 2023, varvid arbete med anslutningar och integration mot Vilhelmina ARV kunde påbörjas. Under oktober genomfördes funktionskontroll och utvärdering av reningssystemet m.a.p. läkemedelsrening.

I följande avsnitt presenteras de huvudsakliga stegen i arbetet med att implementera kompletterande läkemedelsreningssteg till Vilhelmina ARV.



2.1. Reningsssystem

Ett reningsssystem med tre reningssteg utformades och installerades bestående av; partikelavskiljning med sandfilter, oxidation med ozonering, och adsorption med aktivt kol. Samtlig reningsutrustning anpassades och integrerades till ett containerbaserat system bestående av 2st 40-fots containers.

2.1.1. Utformning

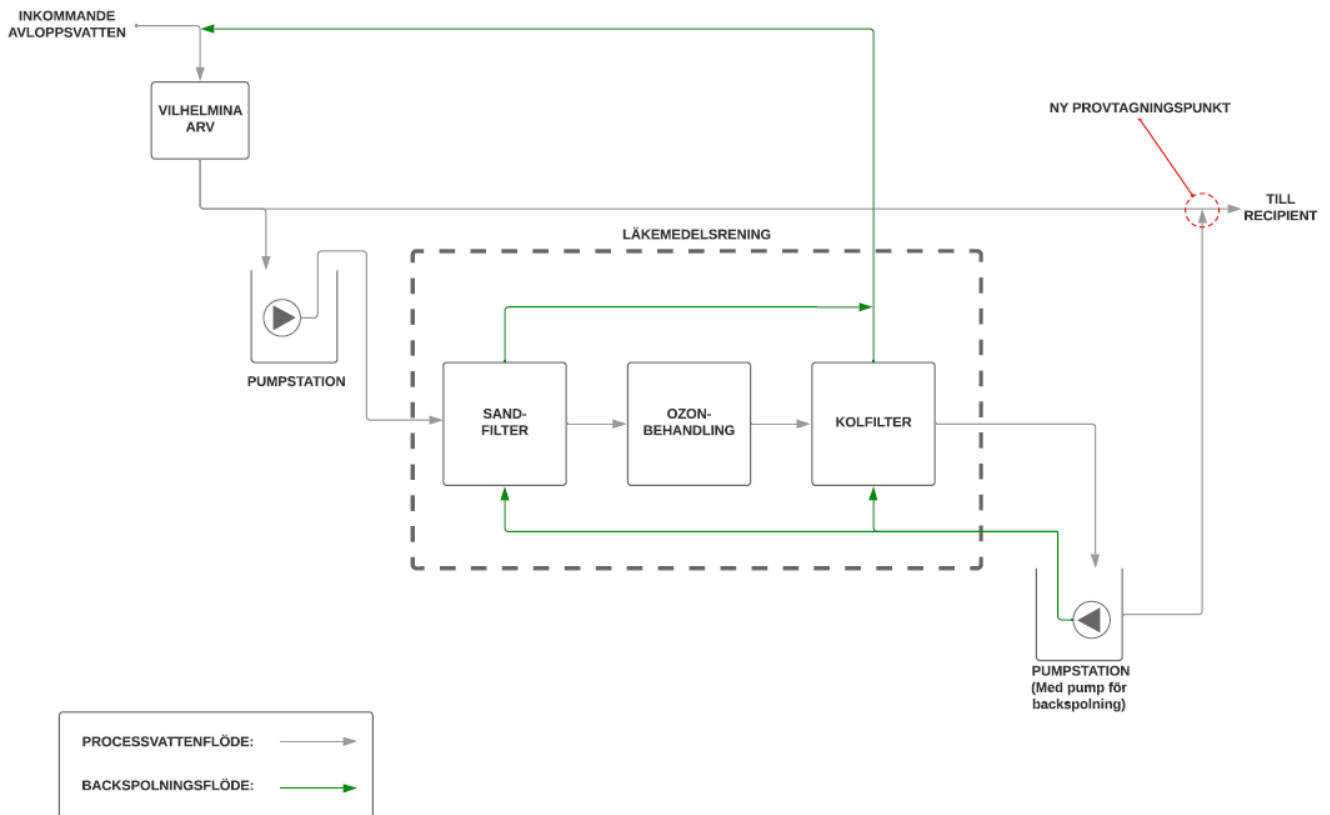
Reningsanläggningen dimensionerades för en reduktionsgrad med avseende på total mängd läkemedelssubstanser om minst 80 %. Flödesprofilen för Vilhelmina kommun likt andra norrländska kommuner ses variera kraftigt under året. Flödestoppar sker periodvis t.ex. då stora volymer smältvatten når reningsverket. För att reningsanläggningen skulle vara så kostnadseffektiv som möjligt och samtidigt ha en hög reduceringsgrad av läkemedelsrester, dimensionerades reningsanläggningen för att kunna behandla 80 m³/h, vilket är något högre än beräknat medelflöde på 69 m³/h från 2018 och 2019 års flödesdata.

Under kortare perioder (särskilt under smältperioden i april och maj) visar historiken av flödesdata på medelflöden upp till 130 – 140 m³/h. Eftersom detta sker temporärt beräknas en total 80 % reduktionsgrad på årlig basis kunna uppnås med avseende på total mängd inkommande läkemedelssubstanser till systemet med dimensioneringen.

Systemet utformades att bestå av följande huvudsakliga delar som skräddarsyddes för installation och drift med containerbaserat reningsssystem:

1. Uppsamlingsbrunn på utgående vattenflöde från avloppsreningsverket med ledning till läkemedelsreningen
2. Pumpstation för att försörja reningssystemet med trycksatt inkommande flöde från reningsverket.
3. Sandfiltersystem med automatisk backspolning
4. Ozoneringssystem med integrerad tryckluftproduktion, syrgasproduktion, automatiserad inlösning, och styr- och övervakningssystem.
5. Kolfiltersystem med automatiserad backspolning
6. Anpassad containerkonstruktion
7. Uppsamlingstank med integrerad tryckstegringspump för behandlat vatten att användas som backspolningsmedia
8. Återföring till utgående brunn från reningsverket med provtagning

I nedan flödesschema presenteras en översikt av systemet.



Figur 13, Flödesschema för inkommande & utgående flöden med huvudsakliga processteg för läkemedelsreningen.

Containersystemet utgör enbart väderskydd för reningsutrustning. Övrig extern utrustning installeras utanför containern. Detta leder till följande huvudsakliga anslutande flöden till de containeriserade läkemedelsreningstegen:

1. Inkommande trycksatt vattenflöde från Vilhelmina ARV
2. Utgående behandlat vatten från läkemedelsreningen
3. Inkommande vatten för backspolning av sandfilter och kolfilter
4. Utgående backspolningsvatten

Utöver dessa processvattenanslutningar tillkommer övriga anslutningar för bl.a. dränering, elmatning, och signalkablage.

Eftersom de inkluderade reningsteknikerna för reningssystemet leder till bl.a. partikelavskiljning, desinfektion, och oxiderat samt reducerat organiskt innehåll utgör reningssystemet även ett tertiärt reningsteg för Vilhelmina ARV.

2.1.2. Sandfiltersystem

Det första reningssteget för partikelavskiljning med sandfilter baserades på tryckfilter av varumärket *Water Maid* från Mellifiq. Det består av en stående cylindrisk tank som fylls med anpassad sandfiltermassa i tre skikt. Ett trycksatt vattenflöde filtreras genom strömning uppifrån och ned genom filtermassan. Partikelinnehåll med storlek över ca 20 mikrometer avskiljs kontinuerligt från genomströmmande flöde och samlas i filtrets övre filterskikt.

Med jämna intervall backspolas filtret genom att ett rent vattenflöde pumpas genom filtermassan i omvänd riktning. Detta för att regenerera filtreringskapaciteten. Erforderlig frekvens för backspolningsintervall beror av vattenkvaliteten på inkommande råvattenflöde, och indikeras genom en ökning av differentialtrycket över filtertanken.

Filtersystemet och dess backspolningsintervall styrs med ett styrsystem som kopplas till elektriskt drivna ventiler (se styrsystemets kontrollpanel i figur nedan). Efter en intrimningsperiod programmeras styrsystemet med erforderligt backspolningsintervall och driften kan på detta sätt automatiseras. I nedan figur visas en principiell skiss på tryckfiltertanken med sandfiltermassa.



Figur 14, Tryckfiltertank för sandfiltrering.

2.1.3. Ozonsystem

Det första och primära reningssteget för reduktion av läkemedelssubstanser i utgående avloppsvattenflöde från Vilhelmina ARV är oxidationssteget med ozonering. Med effektiv inlösning av högkoncentrerad ozongas uppnås en generellt hög reduktion med avseende på upplösta läkemedelssubstanser i vatten.

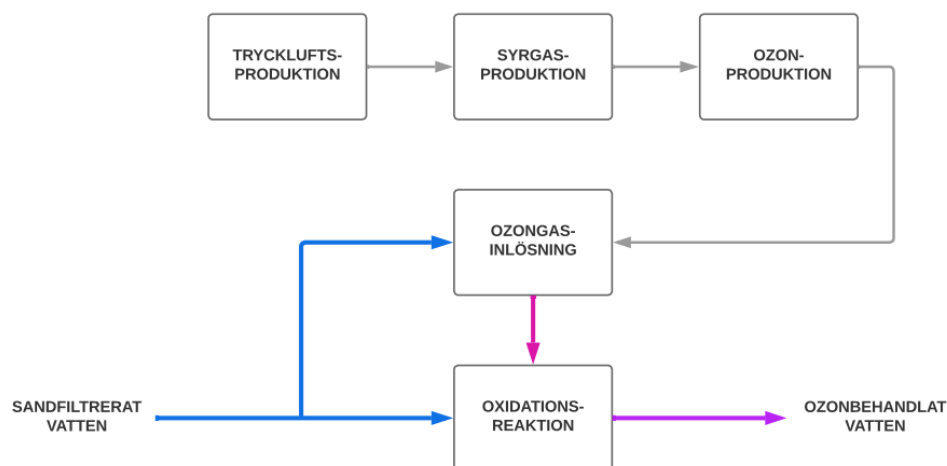
Läkemedelssubstanserna oxideras med det inlösta ozonet deras farmakologiska effekt som aktiv substans deaktiveras. Reningssystemet är utformat så att den huvudsakliga reningsgraden m.a.p. läkemedel uppnås i detta steg. Utöver detta oxideras även övrigt organiskt innehåll i viss grad, vilket avlastar adsorptionsprocessen nedströms i reningsystemet.

Ozonprocessen i anläggningen är utformad i enlighet med EN 12255-14 som standardiserar hur man skall utforma ozonsystem för tertiär rening från kommunala reningsverk.

Ett komplett system med automation och kontrollpanel utformades specifikt för den containerbaserade lösningen som implementerades. De huvudsakliga ingående processtegen i ozonsystemet utgörs i detta fall av:

1. Tryckluftsproduktion
2. Syrgasproduktion
3. Ozongasproduktion
4. Ozongasinlösning
5. Oxidationsreaktion

I nedan figur visas en grafisk representation av ozonsystemets huvudsteg där processen kan följas från inkommande vatten från sandfiltersteget till utgående ozonbehandlat vattenflöde som förs vidare till det sista poleringssteget med aktivt kolfiltrering.



Figur 15, Ozonsystemets huvudsakliga processteg.

Det fysiska ozonsystemet baserades på ett modulariserat koncept med ozonmoduler av varumärket *Ozonetech*. Dessa ozonmoduler möjliggör redundans vid ev. serviceåtgärder samt utgör en kompakt konstruktion med hög ozonkapacitet.

I nedan figur visas ett exempel på processkoncept med ozonmoduler från *Ozonetech* för vattenbehandling.

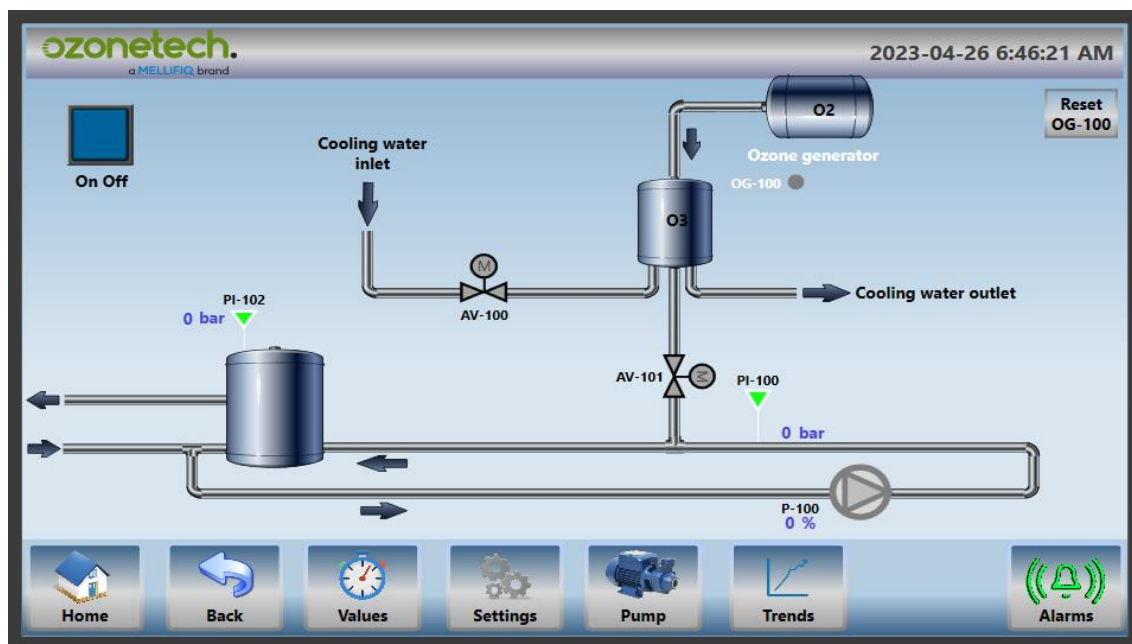


Figur 16, Processkoncept med modulariserade enheter för ozonering av vatten.

Den huvudsakliga utrustning som projekterats för ozonsystemet är en kompressorenhet som producerar tryckluft. Tryckluften matas till en syrgaskoncentrator för att öka koncentrationen syrgas i luftflödet. Detta gör att ozongasproduktionen som sker i ozongeneratoren kan ske med betydligt högre utbyte, vilket bl.a. leder till högre koncentration på producerad ozongas och en sammantaget mer effektiv oxidationsprocess.

Det inkommande vattenflödet tryckstegras och inlösning av ozongasen sker med så kallad injektion. För att uppnå optimal inlösning och verkningsgrad regleras tryckstegringspump automatiskt med tryckgivare som kontinuerligt mäter tryckförhållanden i inlösningssteget. Vatten med inlöst ozon passerar sedan en reaktionstank med anpassad uppehållstid för oxidationsreaktionen.

Ozonsystemets apparatur integreras till ett överliggande styrsystem med åtkomst via HMI med touch-panel (se nedan figur) och nätverksanslutning. Styrsystemet övervakar status för anslutna processinstrument och givare. Säkerhetsfunktion och larm med sensorer för ozongasmonitorering har integrerats till systemet för att säkerställa att ozongas ej läcker ut i omgivande utrymme. Tröskelvärdet för ozonhalt i omgivande luft har satts till 0,1 PPM i enlighet med arbetsmiljöverkets gränsvärde för maximal ozonhalt vid en exponeringstid på 8 timmar.



Figur 17, HMI-panel för ozonsystemets styrsystem.

2.1.4. Kolfiltersystem

Filtrering med aktivt kol utgör det sista reningssteget i läkemedelsreningsprocessen. Eftersom den huvudsakliga läkemedelsreduktionen beräknas ske i oxidationssteget fungerar kolfiltersteget som ett poleringssteg innan vattnet släpps till recipienten. Adsorptionsprocessen dimensionerades således för att avskilja återstående läkemedelssubstanser efter ozonbehandlingen och för att fånga upp ev. transformationsprodukter från ozoneringsprocessen.

Kolfiltreringen baserades på motsvarande princip med tryckfiltertank som sandfiltersteget. Filtermassan i tryckkärlet utgörs således av aktivt kol istället för sand. Vattenflödet passerar filtermassan och företrädesvis organiskt vatteninnehåll (så som läkemedelssubstanser) adsorberas i filtermassan. På motsvarande sätt som sandfiltreringen backspolas kolfiltret med regelbundna intervaller, dock mer sällan än sandfiltret då partikelmängden som tillförs kolfiltret är betydligt lägre än till sandfiltret.

Förbrukad filtermassa kan hanteras på olika sätt beroende på tillgängliga faciliteter och leverantörer. Det kan regenereras för återanvändning eller energiåtervinnas

genom förbränning. Granulerat aktivt kol (GAK) kan regenereras till >95% upp till fem gånger, medan pulveriserat aktivt kol (PAK) endast kan användas en gång. I dagsläget är det vanligaste hanterings sättet förbränning redan efter det första användningstillfället, men forskning pågår för att utföra reaktivering på plats hos reningsverken. (FORMAS, 2022) Ett tredje alternativ är deponering av filtermassan, men om möjligt bör regenerering eller energiåtervinning väljas i första hand.

2.2. Container-integration

En containerbaserad lösning har fördelarna att merparten av det mekaniska installationsarbetet för reningssystemet kan förberedas i fabrik, samt att processen med mark- och byggarbeten kan förenklas. Samtidigt innebär containerisering av reningssystemet ett omfattande projekterings- och konstruktionsarbete för att säkerställa att processutrustningen kan installeras och fungera i det begränsade utrymme som en container erbjuder. I nedan figur visas en första konceptuell utformning.



Figur 18, Konceptuell utformning containersystem.

Övervägningar gjordes initialt för att avgöra hur processutrustningen för reningssystemet skulle fördelas och vilken typ av- och hur många containerenheter som krävdes. Bedömningen gjordes att två stycken 40-fotscontainrar erbjuder tillräckligt med utrymme med sand- och kolfiltersystem (häriifrån i rapporten kallad "filtercontainer") integrerat till ena containern och ozonsystemet integrerat till andra containern (häriifrån i rapporten kallad "ozoncontainer").



Figur 19, Ozonproduktionsmoduler i ozoncontainer.

Särskilt skrymmande enheter som t.ex. filtertankar och reaktionstank specialanpassades för att få plats och containrarna utrustades bl.a. med isolerade väggar, temperaturstyrda värmare, aluminiumdurk med golvbrunnar, och ventilation för avsedd miljö. Placering av processutrustning och utformning av vattenledningssystemet gjordes bl.a. för att optimera flödet, minimera ytbehov, och möjliggöra åtkomst för installationsarbete och driftåtgärder.



Figur 20, Installerat filtersystem i filtercontainer.

Energibesparande åtgärder infördes bland annat genom att utforma ett automatiserat temperaturstyrt ventilationssystem för att återvinna varmluft från kompressorn, vilket blir särskilt gynnsamt för det relativt kalla klimat som råder i regionen.

Utformningen av systemet med processutrustning fördelat på två containrar där sand- och kolfiltersystem placeras i samma container innebar ett relativt stort antal anslutningar till filtercontainern, särskilt då filtersystemen även är kopplade till ytterligare ledningar för backspolningsvatten (se figur nedan).



Utrymmet mellan containrarna (enligt figur nedan) väderskyddades med taköverbyggnad och isolerades bl.a. för att minska risken för frostsador och förbättra åtkomst och underlätta underhållsarbeten.



Figur 21, Anslutningar mellan containers

2.3. Integration med befintlig avloppsrening

Parallellt med projektering och utförande av reningssystemet genomfördes även arbeten för att integrera reningsstegen i de två containrarna med det befintliga avloppsreningsverket.

2.3.1. Projektering

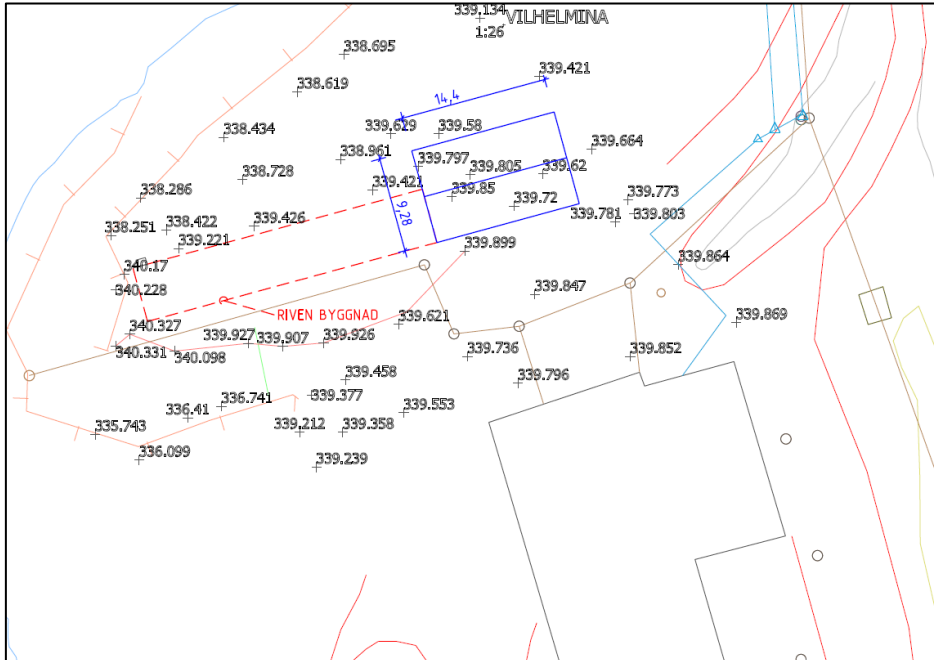
Tidigt i projektet uteslöts möjligheten att kunna installera ytterligare reningssteg i befintlig byggnad för Vilhelmina ARV. Det diskuterades istället om en utbyggnad skulle kunna göras eller om en ny fristående byggnad skulle uppföras.

Utbyggnadsalternativet frångicks bland annat p.g.a. att det skulle störa åtkomst till och från befintligt ARV med den kringliggande väg som finns, att det skulle komplicera anslutning till befintliga VA-ledningar, samt att det fanns relativt gott om ytor i anslutning till ARV för att uppföra ny byggnad. Se figur nedan med ortofoto på ARV med kringliggande vägar och VA-ledningar.



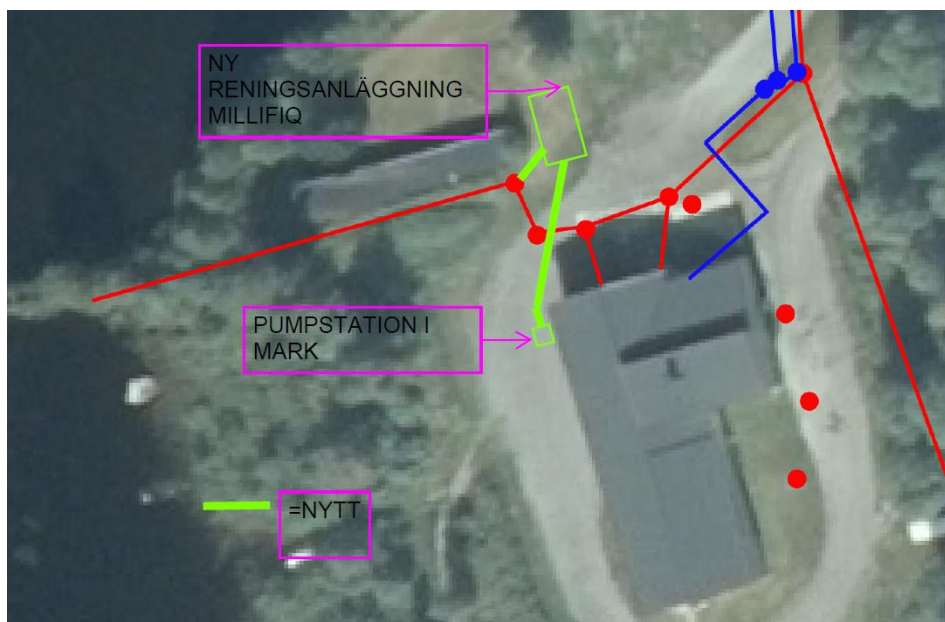
Figur 22, Ortofoto Vilhelmina ARV med anslutningspunkter och utsläppspunkt till recipient.

För att underlätta anslutning till befintligt VA-ledningsnät föreslogs en placering av nya reningsanläggningen i anslutning till den gamla reningsverksbyggnaden ca 25 m norr om Vilhelmina ARV enligt nedan skiss.



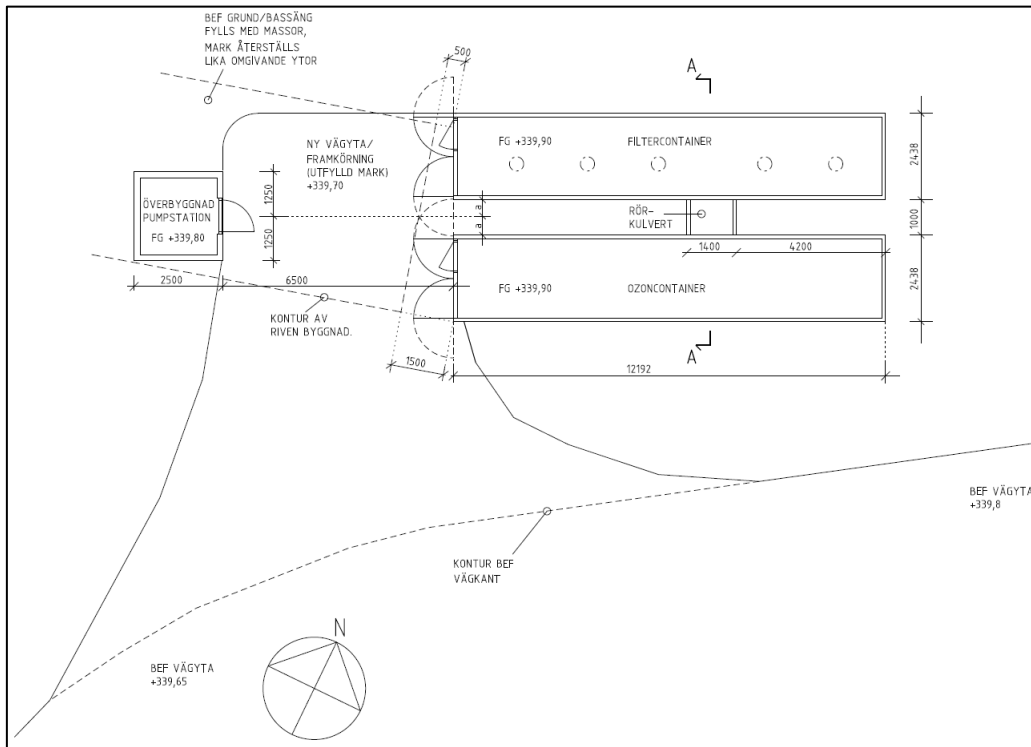
Figur 23, Föreslagen placering ny byggnad för reningsssystem.

I nästa steg togs ett förslag fram för anslutning till befintliga VA-ledningar. Nyckelfrågan handlade om att avgöra position för den nya pumpstationen som krävdes för att försörja det nya reningsssystemet med trycksatt avloppsvattenflöde. Det första förslaget visas i nedan skiss.

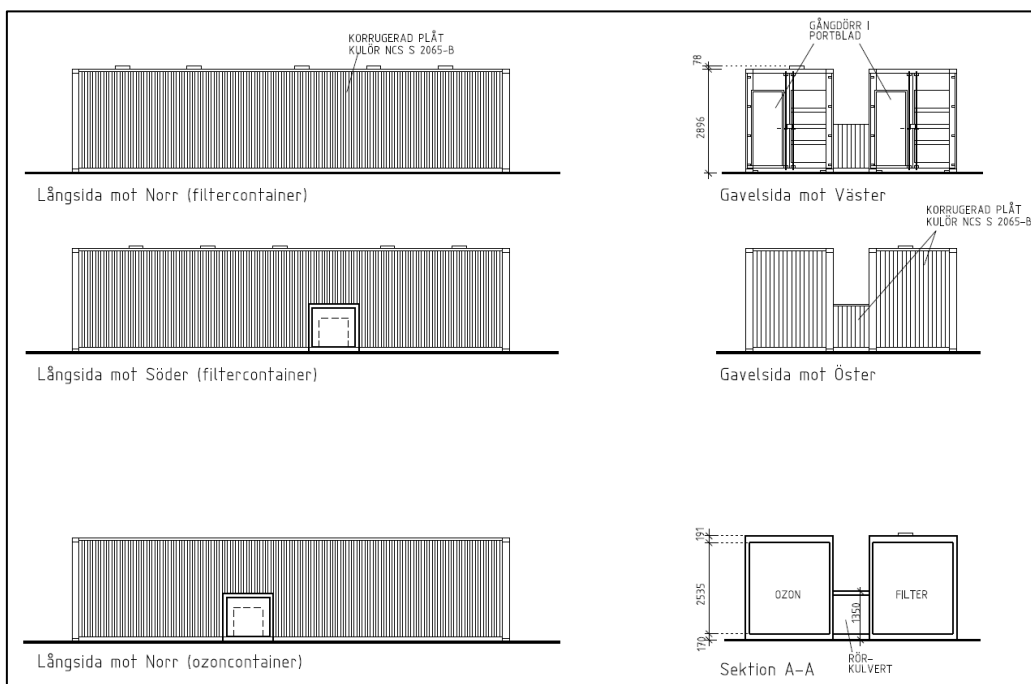


Figur 24, Föreslagen anslutning till nytt reningsssystem från Vilhelmina ARV.

Längre fram i projekteringen beslöts att en containerlösning skulle tas fram för att hysa läkemedelsreningsutrustningen som beskrivits ovan, bl.a. för att förenkla byggprocessen. Efter färdigställd projektering av containerenheterna söktes sedan bygglov enligt handlingar i nedan figurer.

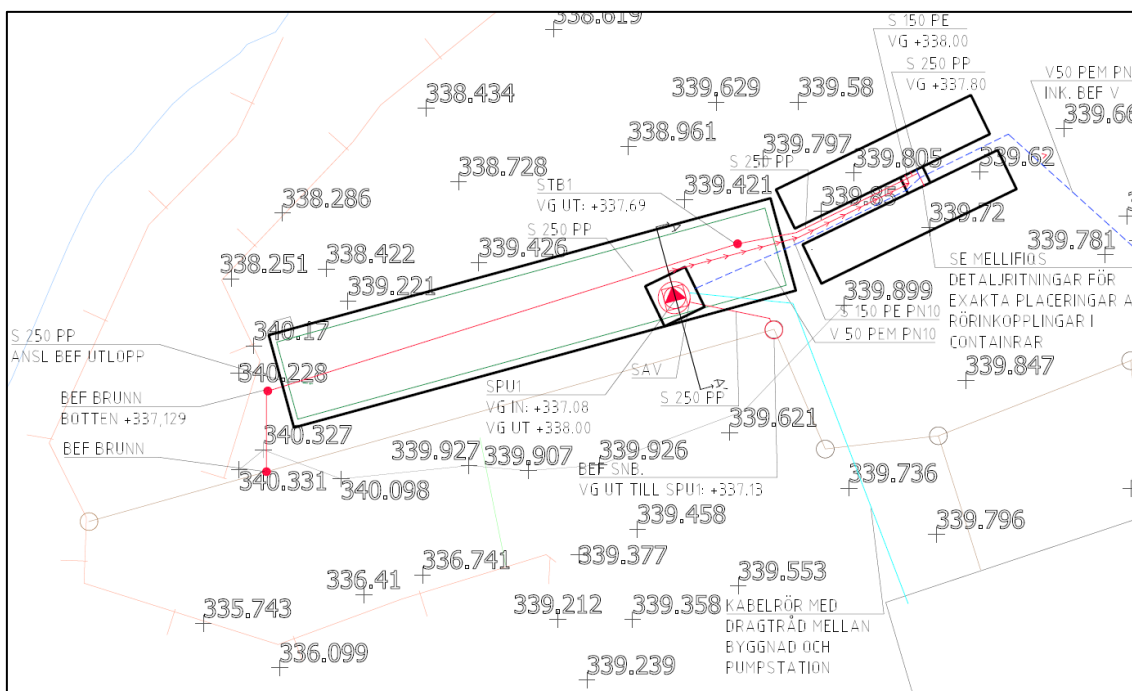


Figur 25, Bygglövshandling med plan för nybyggnad.



Figur 26, Bygglövshandling med fasader och sektioner.

Slutligen justerades även placering på pumpstationen och VA-ledningar för anslutning till läkemedelsreningen. Anslutning gjordes till en brunn med utgående vatten från Vilhelmina ARV, från vilken vatten kunde ledas med självfall till en ny pumpstation. Den nya pumpstationen placerades i den gamla reningsverksbyggnaden som revs i inledningsskedet av projektet. Se nedan figur med utdrag från bygghandling för utvändig VA-installation.



Figur 27, Bygghandling utvändig VA med pumpstation och anslutande ledningar till/från läkemedelsreningen.

2.3.2. Miljötillstånd

Vilhelmina ARV är klassat som miljöfarlig verksamhet enligt 28 kap. i miljöprövningsförordningen (2013:251). Gällande tillstånd att rena avloppsvatten finns enligt beslut från Länsstyrelsen Västerbotten 2009-02-20, ärendebeteckning 551-3549-2008. I samband med implementeringen av ytterligare läkemedelsreningssteg uppdaterades det befintliga miljötillståndet för Vilhelmina ARV att inkludera de ytterligare reningssteg som följer med projekterad läkemedelsrening för detta projekt. I befintligt miljötillstånd (ärendebeteckning 551-3549-2008) framgår det att reningsverket får:

"ta emot och behandla avloppsvatten från 5000 personequivallenter (pe), motsvarande en belastning med 350 kg BOD7 per dygn och med Qdim 125 m3/h. Belastningen av syreförbrukande ämnen (BOD7) på verket får inte överskridas för årsmedeldygn."

"Från och med år 2013 får resthalten totalfosfor i det behandlade avloppsvattnet inte överstiga 0,3 mg totalfosfor per liter, beräknat som medelvärde för kalenderkvartal."

Eftersom befintligt tillstånd inte har några begränsningar med avseende på utsläpp av läkemedelsrester i utgående vatten, kommer den nya reningsanläggningen inte medföra några ändringar som inte ryms inom det befintliga tillståndet.

2.3.3. Utförande

Efter tjälperioden under våren 2023 påbörjades markarbeten för installation av pumpstation. Under juni månad grävdes och drogs det fram matningsspänning, avlopp, och vatten till containrarna.



Figur 28, Installation av pumpstation

Under augusti och september monterades inloppsventilen och pumpstationen med tillhörande ledningar (se figur ovan). Under tiden för monteraget av pumpstationen pumpades vatten förbi avsedd brunn för anslutning till pumpstationen. Även en separat tank för mottagande och uppehållsvolym av backspolningsvatten samt en provtagningspump med ledningar installerades. Sedan gjöts platta för pumphuset och montage av pumphuset genomfördes.



Därefter lades VA-ledningar och kanalisation för kablage i marken. Sedan ställdes markbädden för containrarna i ordning och containrarna ställdes på plats enligt figur nedan.



Figur 29, Övertäckt pumpstation och kanalisation med containersystem på plats

I oktober genomfördes anslutningar av alla ledningar till containrarna och elmatning kopplades in. Slutligen återställdes mark och filtertankarna i filtercontainern fylldes med filtermassa.

3. Utvärdering

Utvärderingen av reningssystemet gjordes i direkt anslutning till inledande funktionskontroller i slutskedet av installationsarbetet. Utvärdering av reningsanläggningen gjordes huvudsakligen med avseende på reningsgrad av läkemedelssubstanser och genomfördes därför genom provtagning och analys av vattenprover.

På grund av oväntade händelser och försenande respektive fördröjande omständigheter i samband med covid-pandemin och kriget i Ukraina kunde en mer långtgående utvärdering över tid samt effekterna på recipienten inte inkluderas i utvärderingen.

Målsättningen med projektet var att installera en fullskalig reningsanläggning med syftet att rena läkemedelsrester vid Vilhelmina avloppsreningsverk, för att över tid uppnå minskad belastning på miljön. Avsikten var att uppnå målet genom dimensionering och implementering av reningsteknikerna sandfiltrering, ozonering, och filtrering med aktivt kol.

3.1. Provtagning

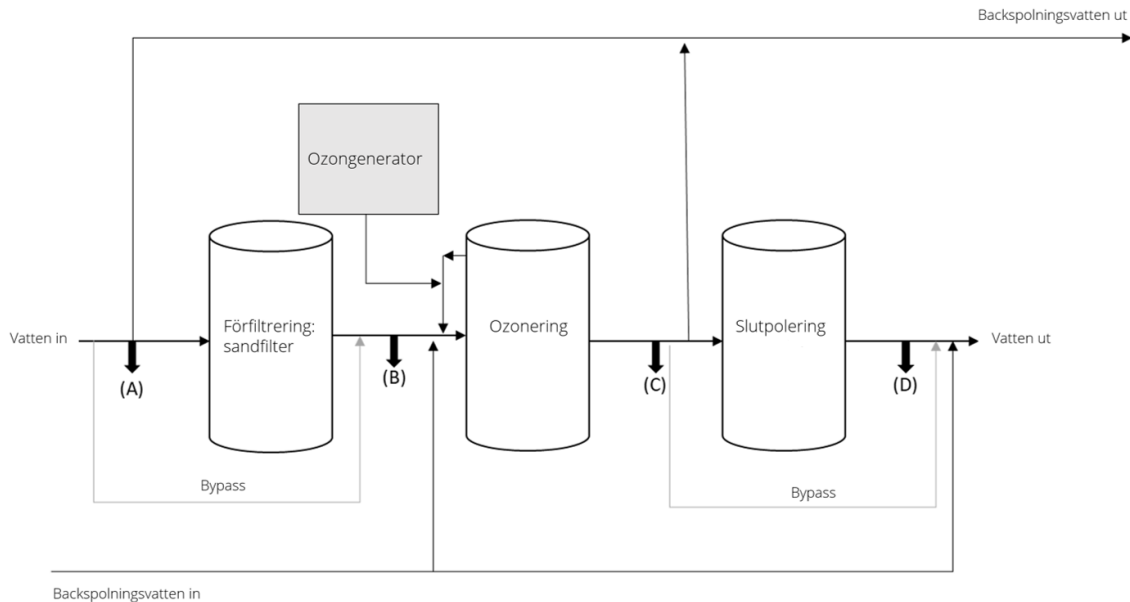
Vid tiden för utvärdering av reningssystemet genom insamling av vattenprover anpassades genomströmningsflödet genom anläggningen till befintligt flöde från Vilhelmina ARV. Då utgående flöde från reningsverket varierade mellan 65 – 70 m³/h anpassades flödet genom läkemedelsreningsystemet till 60 m³/h för att undvika att torrlägga pumpstationen.

Vattenprover samlades in för att utvärdera reningseffekten vid vart och ett av de installerade reningsstegen. Vattenprover togs vid provpunkter enligt nedan tabell.

Tabell 3, Provtagningspunkter för insamling av vattenprover

Provtagningspunkt	Beskrivning	Benämning
A	Inkommande vatten från Vilhelmina ARV	Råvatten
B	Efter sandfiltrering	Sand
C	Efter oxidation med ozon	Ozon
D	Utgående vatten efter filtrering med aktivt kol	Kol

I figuren nedan presenteras en schematisk bild av systemets reningssteg och provtagningspunkterna A-D.



Figur 30, Schematisk bild av det containerbaserade vattenreningsystemet innehållande sandfiltrering, ozonering och adsorption, samt provtagningspunkterna A–D.

Vattenprover samlades in för analys med avseende på följande analysparametrar:

- Läkemedelssubstanser (se lista över analyserade substanser enligt bilaga 2)
- BOD (biokemisk syreförbrukning)
- COD (kemisk syreförbrukning)
- TOC (totalt organiskt kol)
- DOC (löst organiskt kol)
- Tot-P (totalfosfor)

BOD, COD, och tot-P är av särskilt intresse då den befintliga verksamheten har utsläppskrav med avseende på dessa gränsvärden. TOC och DOC analyserades för att skapa en tydligare bild av hur vattnets organiska innehåll fördelas mellan löst och partikelbundet organiskt kol.

Prover togs för analys av ovan nämnda sex parametrar i provpunkt A – D. Sammanlagt samlades 24st prover in. Mellan varje provpunkt tilläts en uppehållstid motsvarande respektive reningssteg att förflyta för att minimera fel till följd av temporära fluktuationer i vattenkvaliteten. För att ytterligare minimera fel till följd av temporära fluktuationer i vattenkvaliteten samlades varje enskilt vattenprov in som kompositprov, där alla kärl fylldes till häften under en första provtagningsomgång och sedan fylldes helt efter ca en timme.

Samtliga vattenprover analyserades vid externt tredjepartslaboratorium. I nedan tabell presenteras en methodsammanfattning för de olika kemiska analysmetoder som använts för respektive analysparameter.

Tabell 4, Methodsammanfattning för analyserade mätparametrar.

Analysparameter	Metod
Läkemedel	CZ_SOP_D06_03_201.A (US EPA 1694) Bestämning av läkemedelsrester genom vätskekromatografimetod med MS / MS-detektion. Metoden har ändrats inom ett flexibelt omfattande ackreditering, se Certificate of Accreditation nr 610/2017 daterad 16 oktober 2017. Det hänvisar till parametrar Bezafibrate, Citalopram, Fluoxetin, Indometacin, Lincomycin, Sertralin, Sulfametazin, Thebain.
BOD	SS-EN ISO 5815-1:2019 utg 1 med utspädning, eller SS-EN 1899-2 utg 1 för utspädda prover. Om metod för ospädda prover har använts, skrivs en kommentar in på rapporten. Provet har varit fryst.
COD	Fotometrisk bestämning av kemisk syreförebrukning COD-Cr, enligt metod baserad på ISO 15705 utg 1.
TOC	Bestämning av TOC med IR detektion enligt metod baserad på CSN EN 1484, CSN EN 16192 och SM 5310.
DOC	Bestämning av upplöst organiskt kol (DOC) enligt SS-EN 20236 och SM 5310. Mätning utförs med IR.
Tot-P	Spektrofotometrisk bestämning av totalfosfor med låg rapporteringsgräns, P-tot, enligt metod baserad på CSN EN ISO 6878 och CSN ISO 15681-1.

3.2. Reningseffekt

Sammantaget visade resultaten på en betydande (ca 60 %) reduktion av organiskt innehåll (TOC, COD, COD såväl som BOD).

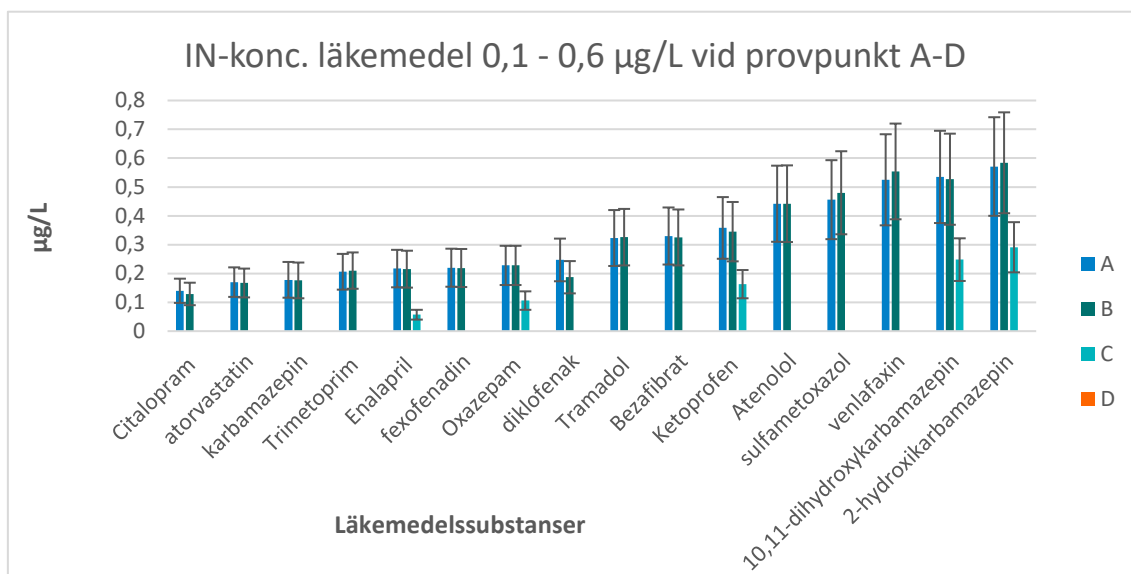
Halten totalfosfor sjönk med ca 40 % i sandfiltersteget men påverkades inte vidare av behandling med ozonering eller filtrering med aktivt kol.

Reningsgraden med avseende på totalhalt aktiva substanser och läkemedel uppmättes till 96 % exklusive Metformin vars reningsgrad särskilde sig betydligt från alla övriga substanser. Av de 27 substanser som uppmättes på inkommande flöde till reningssystemet kvarstod 6 substanser efter kolfiltret ovan kvantifieringsgränsen.

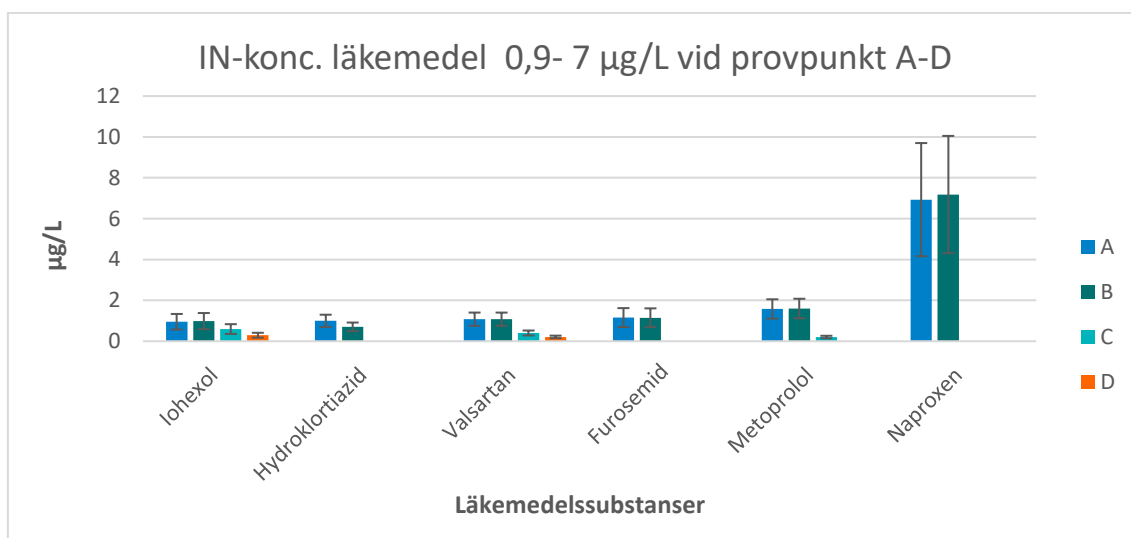
I följande avsnitt presenteras analysresultaten från vattenprover som togs för utvärdering av anläggningens reningseffekt med avseende på de sex olika analysparametrarna.

3.2.1. Läkemedelssubstanser

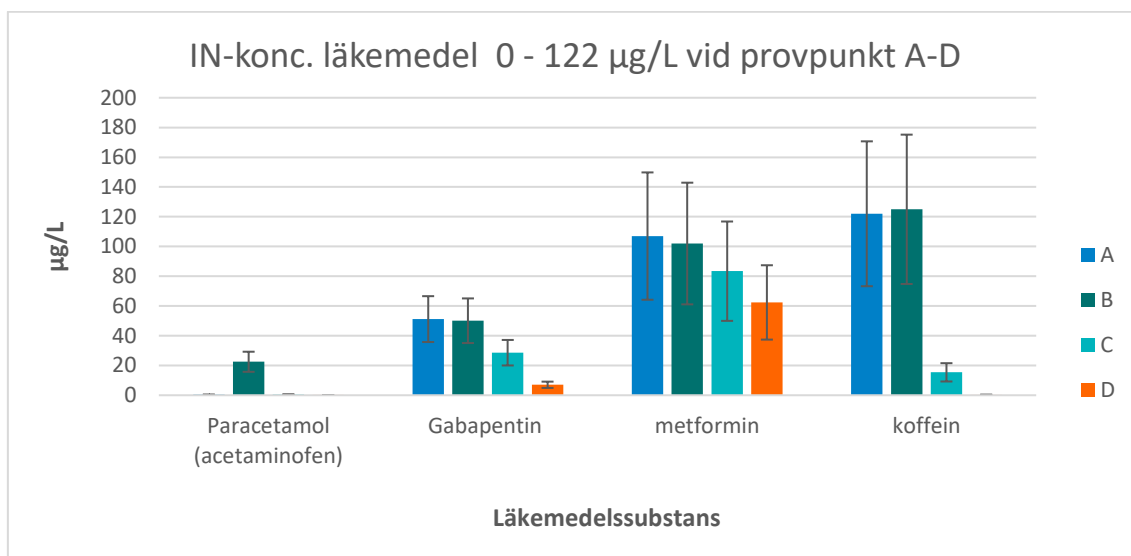
27 av de 101 analyserade aktiva substanserna uppmättes vid inkommande vattenflöde till reningssystemet i koncentrationer ovan kvantifieringsgränsen. Mätresultaten presenteras i nedan uppdelade figurer där substanserna delats in efter uppmätt halt vid inkommande flöde för att uppnå en tydligare grafisk presentation av resultaten.



Figur 31, Uppmätta aktiva substanser vid provpunkt A-D i spannet 0,1 - 0,6 µg/L



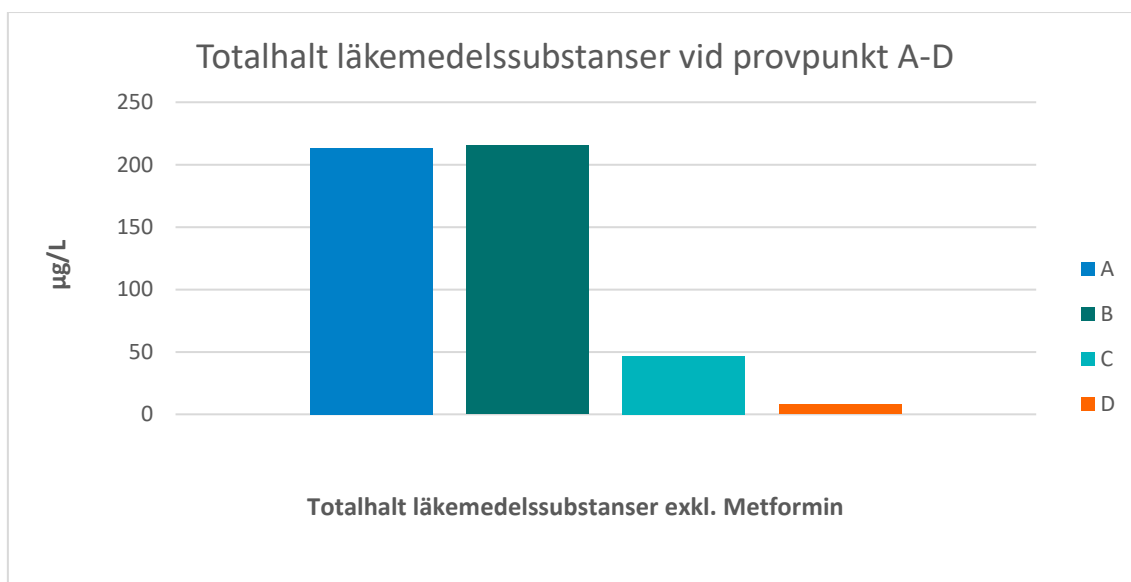
Figur 32, Uppmätta aktiva substanser vid provpunkt A-D i spannet 0,9 - 7 µg/L



Figur 33, Uppmätta aktiva substanser vid provpunkt A-D i spannet 0 - 122 µg/L

De flesta av de uppmätta substanserna reduceras betydligt eller elimineras vid oxidationssteget. Gabapentin och Metformin visade lägst reduktionsgrad vid oxidationssteget i relation till övriga substanser. Efter filtrering med aktivt kol visades en nära på komplett reduktion av alla substanser utom Metformin.

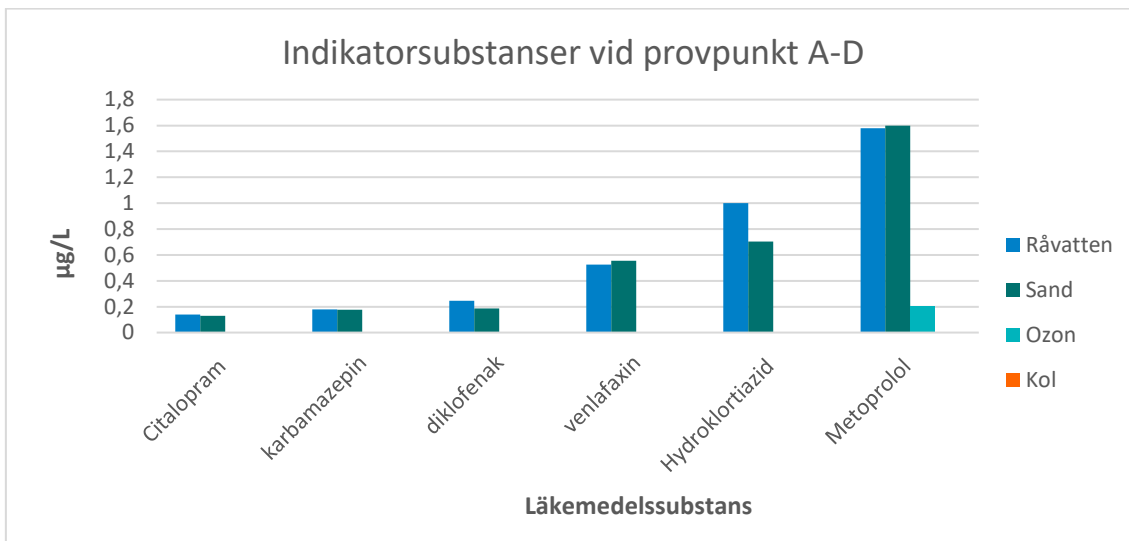
I nedan figur presenteras totala uppmätta halter aktiva substanser vid provpunkterna A-D. Totalt sett uppnås en reduktionsgrad på ca 96 % genom reningssystemet (exkl. Metformin). Medräknat Metformin uppnås en totalreduktion om ca 78 %.



Figur 34, Totalhalt uppmätta aktiva substanser (exkl. Metformin) vid provpunkt A-D

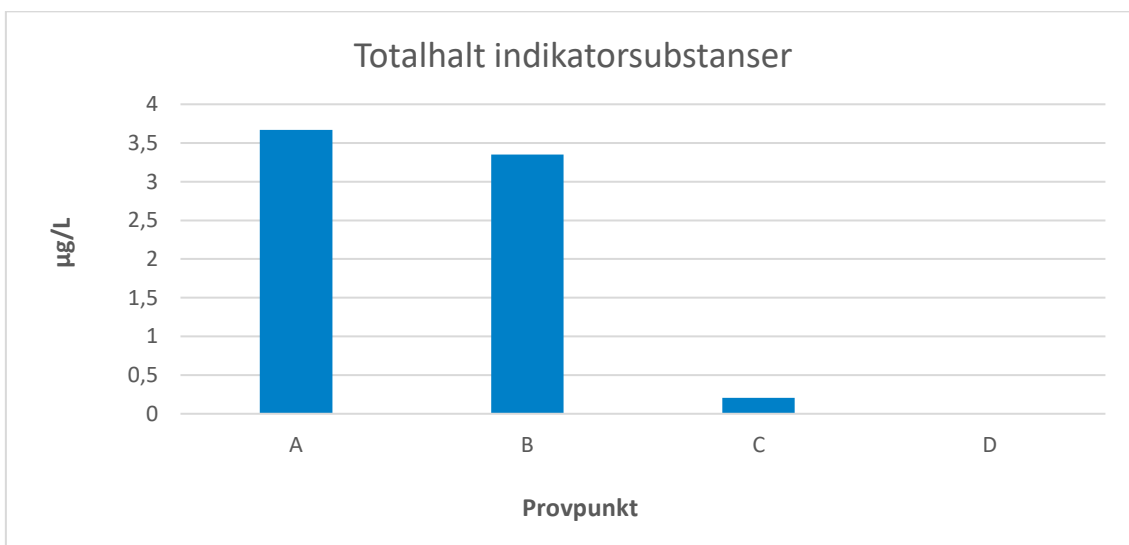
3.2.2. Indikatorsubstanser

Avseende de av EU utsedda indikatorsubstanser (enligt tabell 1) ingick 6 av de 13 listade substanserna i det genomförda analyspaketet enligt bilaga 2. Av de 6 som ingick i analyspaketet uppmättes samtliga substanser ovan kvantifieringsgränsen på inkommande vatten till reningssystemet. Samtliga indikatorsubstanser reducerades till under kvantifieringsgränsen enligt figuren nedan.



Figur 35, Indikatorsubstanser vid provpunkt A - D

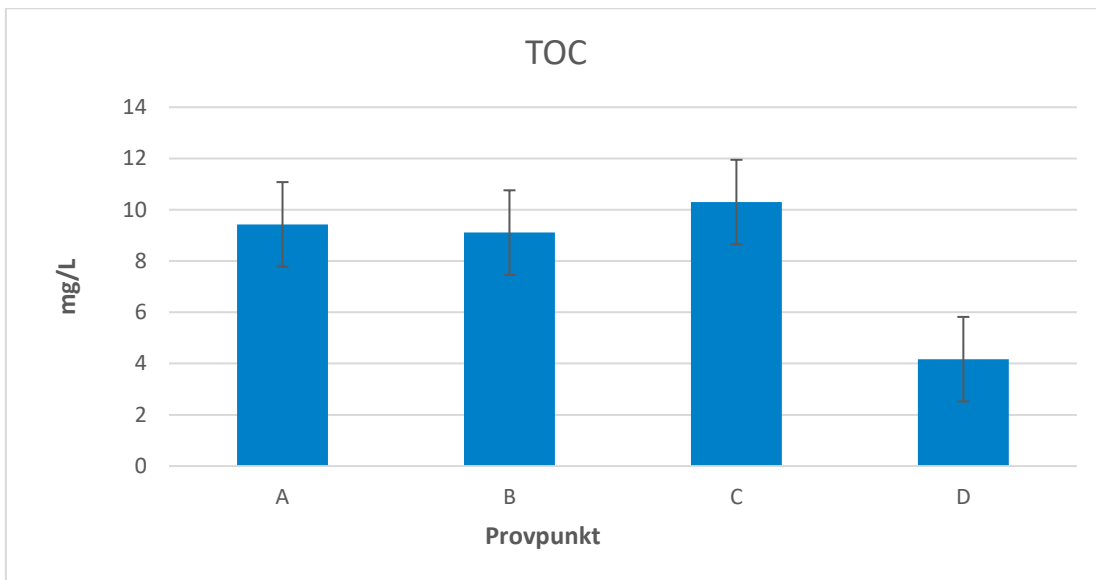
Reduktionsgraden uppmättes till 100 % med avseende på totalt innehåll indikatorsubstanser enligt figuren nedan.



Figur 36, Totalhalt uppmätta indikatorsubstanser i provpunkt A - D

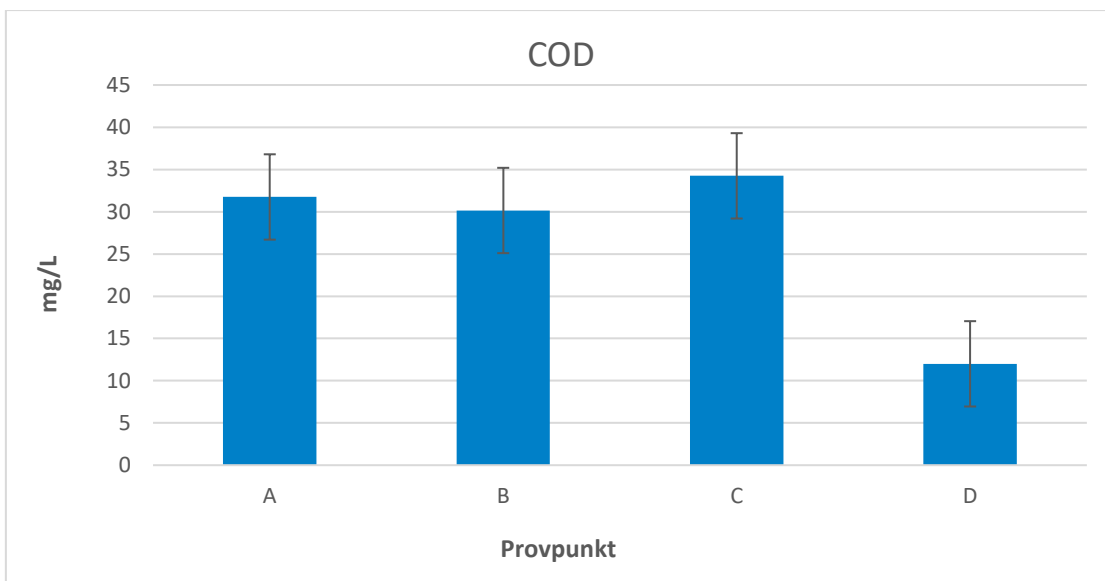
3.2.3. Övriga analysparametrar

Uppmätt halt totalt organiskt kol minskade något efter sandfiltret för att sedan öka efter oxidationssteget. Efter filtrering med aktivt kol sjönk TOC-halten med ca 60 %. Se figur nedan.



Figur 37, Analysresultat för TOC vid provpunkter A – D inkl. mätosäkerhet

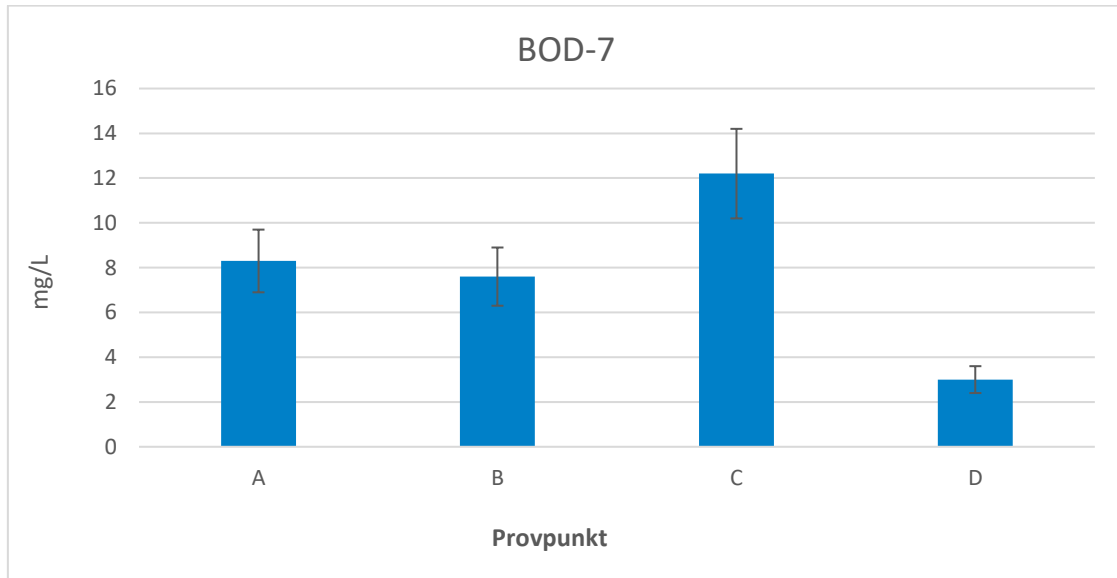
Den kemiska syreförbrukningen (COD) uppvisade motsvarande trend som TOC enligt figuren nedan.



Figur 38, Analysresultat för COD vid provpunkter A – D inkl. mätosäkerhet

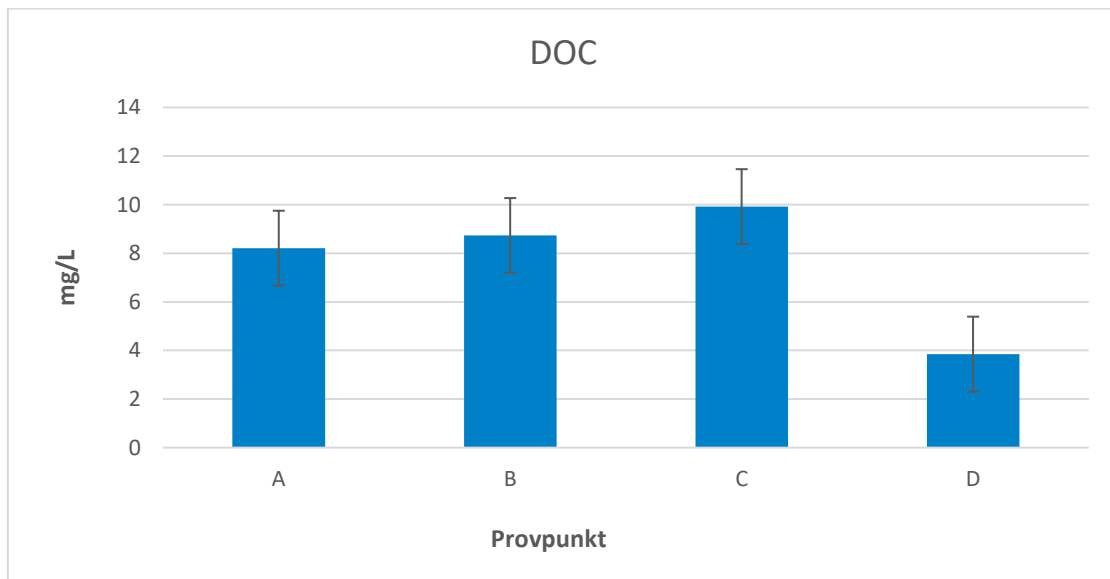


Den biokemiska syreförbrukningen (BOD) uppvisade motsvarande trend som TOC och COD enligt figuren nedan, dock med en tydligare ökning BOD efter oxidationssteget med ozonering. Utgående koncentration efter filtrering med aktivt kol motsvarar en minskning med ca 60 % relativt inkommande koncentration.



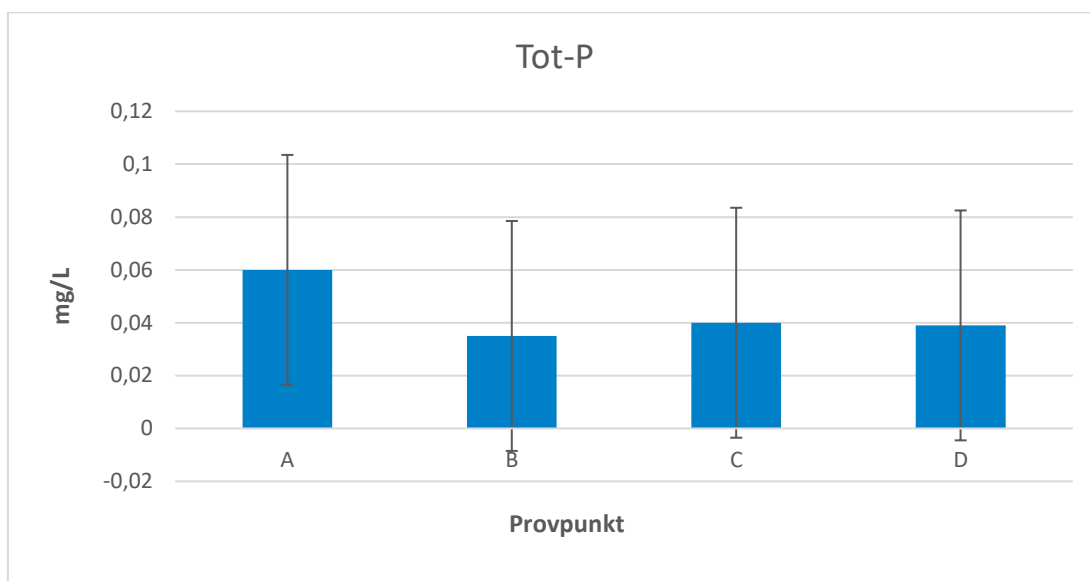
Figur 39, Analysresultat för BOD-7 vid provpunkter A – D inkl. mätosäkerhet

Analysresultaten för löst organiskt kol skiljde sig från trenden för TOC och COD genom att DOC-halten ökade över såväl sandfiltersteg som oxidationssteget enligt figuren nedan.



Figur 40, Analysresultat för DOC vid provpunkter A – D inkl. mätosäkerhet

Halten totalfosfor visades minska kraftigt vid sandfiltrering men påverkades ej av oxidationssteg eller filtrering med aktivt kol enligt figuren nedan.



Figur 41, Analysresultat för tot.-P vid provpunkter A – D inkl. mätosäkerhet

3.3. Energiförbrukning och miljöpåverkan

Vilhelmina kommun jobbar kontinuerligt med att minska sin miljöpåverkan. På grund av detta, och även av kostnadsskäl är det av vikt att utvärdera energiförbrukningen för de verksamheter som sköts av kommunen.

För anläggningen som utformats för läkemedelsrening av utgående avloppsvatten från Vilhelmina ARV förbrukas enbart elektricitet. De huvudsakliga förbrukande delarna av anläggningen är bland annat matarpump (som levererar trycksatt råvatten till reningssystemet), tryckluftproduktion, oxidationsprocessen, samt indirekt sand- och kolfilterstegen (till följd av de tryckmotstånd som de ger upphov till).

I nedan tabell presenteras den totala beräknade energiförbrukningen vid tre olika genomströmningsflöden med nyckeltal för t.ex. specifik energiförbrukning per mängd renat vatten eller reducerat läkemedel.

Tabell 5, Översikt - energiförbrukning totalt och specifikt vid olika flöden

Flöde [m ³]	Total effekt [kW]	Årlig energi-förbrukning [MWh/år]	Specifik energiförbrukning per mängd vatten [kWh/m ³]	Specifik energiförbrukning per reduktion läkemedel [kWh/g]
30	36,9	323	1,23	Ej tillgängligt*
60	38,4	336	0,64	2,55
80	39,4	345	0,49	Ej tillgängligt*

* Ej tillgängligt då utvärderingen omfattade provtagning vid 60 m³/h



I tabellen ovan kan bland annat utläsas hur den specifika energiförbrukningen per behandlad mängd vatten minskar drastiskt då flödet höjs till exempel från 30 m³/h upp till 60 eller 80 m³/h. En sådan höjning leder till en marginellt ökad energiförbrukning till följd av ökat pumparbete.

Den specifika energiförbrukningen per reducerad mängd aktiva substanser beräknades till 2,55 kWh per gram total reducerad mängd aktiva substanser. Detta motsvarar ungefär en fjärdedel resp. en tiondel av energiförbrukningen som uppnåddes i liknande reningssystem i tidigare pilotstudier som genomfördes i Hjo resp. Luleå. (Hjo Kommun, 2022) (Luleå Miljöresurs AB, 2022)

Utöver den kontinuerliga energiförbrukningen av anläggningens eldrivna enheter tillkommer även en miljöpåverkan och ekonomisk kostnad till följd av de kontinuerliga byten av kolfiltermassa som krävs. Denna miljöpåverkan härrör främst från transporter med aktivt kol till- och från anläggningen samt från produktionsledet. Vid energiåtervinning (d.v.s. förbränning) kan en viss mängd energiåtervinnas men då fukthalten är förhållandevis hög i förbrukat aktivt media blir nettovinsten för energiåtervinningen lägre än om det torkas. En betydande del av miljönyttan med regenerering eller energiåtervinning kolfiltermassan ligger troligen snarare i att undvika deponering med den miljöpåverkan som följer med en sådan hantering.

3.4. Diskussion & rekommendationer

Arbetet med att projektera, installera, och ansluta ytterligare reningssteg för läkemedelsrening på utgående vattenflöde från Vilhelmina ARV har vid tiden för författandet av slutrapporten avslutats, om än något senare än planerat. Den huvudsakliga anledningen till den framskjutna tidplanen är de fördröjande och fördyrande effekter som uppkom till följd av Covid-pandemin och kriget i Ukraina. Dessa effekter påverkade beslutsfattandet och ledde bl.a. till en justerad utformning på väderskyddet som reningsutrustningen installerades i. En positiv effekt av detta var däremot att lärdomar från tidigare projekteringsarbete kunde inkorporeras i den nya containerbaserade lösningen. Till exempel kunde planeringen justeras av VA-integrationen mellan det nya reningssystemet och reningsverket, vilket ledde till en förbättrad och förenklad installation.

Containeriseringen i sig visades som förväntat leda till ett förenklat installationsförfarande på plats i och med att merparten av installationsarbetet kunde genomföras externt, även om det ställde särskilda krav på framtagning av tekniskt installationsunderlag och planering av installationsytor.

Valet av reningsteknik med tryckfilter möjliggjorde en kompakt filterlösning. En grundläggande förutsättning för att kunna använda denna reningsteknik är att behovet av en tillräckligt dimensionerad och trycksatt renavattenkälla är tillgodosedd.



Vid utvärderingen av det nya systemets reningseffekt påträffades under provtagningsstillfället vid okulär kontroll ett relativt högt partikelinnehåll i utgående flöde från Vilhelmina ARV med bl.a. flockar och fast innehåll med storlekar över 10 mm. Detta påverkade inte reningssystemet under provtagningsperioden men kan bl.a. leda till ett ökat behov av backspolningar över tid. Åtgärder planeras emellertid för att separera sådant större partikulärt innehåll på inkommande flöde till reningssystemet. Vid fortsatta utvärderingar vore det därför även intressant inkludera TSS (total suspended solids) som en del av utvärderingsparametrarna för att undersöka om möjligheter finns att optimera driften av sandfiltersteg och om ytterligare partikelreningsssteg kan vara av intresse.

Kolfiltersteget visades vara mycket effektivt med avseende på reningsgrad för alla mätparametrar för organiskt innehåll (COD, TOC, DOC och BOD). Detta ligger helt i linje med förväntade resultat, men då den tillgängliga ytan för adsorption i filtermassan minskar över tid (i samband med att materialet mätts) förväntas även reningsgraden att minska över tid vid kolfiltersteget. Vid oxidationssteget uppmättes en generell ökning för organiskt innehåll. Ökningen är dock enbart statistiskt signifikant för BOD vid vilken ökningen av BOD överstiger storleken på mätosäkerheten. En ökning av organiskt innehåll står i kontrast mot den teoretiskt förväntade minskningen av organiskt innehåll vid en oxidationsbehandling. Ökningen skulle kunna bero på sönderdelning av partikulärt bundet organiskt innehåll vid de turbulenta förhållanden som förekommer i samband med inlösningen av ozongas i vattenflödet. Motsvarande effekt kan även ligga till grund för den ökning av DOC som mätts upp vid sandfiltersteget (som dock inte heller är statistiskt signifikant med avseende på mätosäkerheten). Den signifikanta ökningen av BOD som kunde observeras efter oxidationssteget med ozon ligger i linje med tidigare studier som påvisat att ozonbehandling kan leda till att olika hårt bundna föroreningar görs tillgängliga för en biologisk nedbrytning. (Baresel, Ek, & Ejhed, 2017)

Halten totalfosfor minskade betydligt vid sandfiltersteget och påverkades inte av oxidationssteget eller filtrering med aktivt kol. En trolig orsak är att en stor del av återstående fosfor i utgående vatten från Vilhelmina ARV är bundet i partiklar som avskiljs i sandfiltersteget. Det är dock viktigt att understryka att mätosäkerheten var stor i förhållande till uppmätta värden och den minskning som uppmättes.

Urvalet och antalet analyserade läkemedelssubstanser förändrades från förstudie till utvärderingen av det installerade reningssystemet. Detta har bland annat att göra med att leverantören för analystjänsten byttes då ett betydligt större utbud av standardiserade analystjänster erbjuds i nuläget i förhållande till utbudet vid tiden för förstudien. De skillnader som förekommer i urvalet bedömdes inte ha någon större effekt på utvärderingen då det är reningsgraden av den totala mängden läkemedel som utvärderas i första hand inom ramen för detta projekt. Rapporteringsgränserna



mellan analyser som utfördes i förstudien och i utvärdering av installerat system skiljde sig inte nämnvärt med avseende på det totala läkemedelsinnehållet.

Sammantaget visade uppmätta resultat från utvärderingen att reningssystemet framgångsrikt uppnådde behandling av ett vattenflöde på 60 m³/h. Utgående vatten från Vilhelmina ARV behandlades genom sandfiltrering, oxidation med ozon, samt filtrering med aktivt kol och vattenkvaliteten förbättrades betydligt med avseende på alla uppmätta parametrar. Totala halten aktiva substanser reducerades med 96 % exkl. Metformin och 78 % inkl. Metformin. Organiskt innehåll minskade med ca 60 % och en något reducerad totalfosforhalt uppnåddes. Dock krävs ytterligare mätning med avseende på totalfosfor för att fastställa reduktionens omfattning mer i detalj pga. mätosäkerheter i de erhållna mätresultaten. En total reduktion uppnåddes för samtliga uppmätta indikatorsubstanser enligt EU:s lista i det nya föreslagna avloppsdirektivet.

27 av de 101 analyserade substanserna kunde uppmätas i likhet med resultaten från förstudien. Däremot uppmättes en betydligt högre totalhalt aktiva substanser (över 300 µg/L) i utgående vatten från avloppsreningsverket under utvärderingen relativt totalhalten som uppmättes under förstudien (under 100 µg/L). Orsaken till detta är inte undersökt men beror inte på utspädningseffekter då flödesvolymerna var jämförbara vid de två olika mättillfällena. Skillnaden har däremot en betydande inverkan på mängden aktiva substanser som har släppts ut till recipient men som nu kan behandlas. Ett medelflöde på 69 m³/h och den nya uppmätta totalkoncentrationen aktiva substanser som lämnar reningsverket innebär att ca 0,5 kg aktiva substanser passerar reningsverket varje dygn eller knappt 200 kg per år. Med antagandet att de uppmätta substanserna utgör 50 % av den totala mängden och att motsvarande reduktion kan uppnås även för dessa ämnen kan slutsatsen dras att det nya reningssystemet kan förhindra drygt 300 kg aktiva substanser från att nå recipienten årligen.

Det är värt att notera att den aktiva substansen Metformin var relativt svårbehandlad i relation till övriga uppmätta substanser under utvärderingen. Substansen reducerades med 42 % genom reningssystemets olika reningssteg. Metformin är en aktiv substans som används vid medicinering av diabetes.

(Läkemedelsindustriföreningens Service AB, 2023). Substansens ekotoxikologiska påverkan eller dess fysikaliska/kemiska interaktion vid oxidation med ozon eller aktivt kolfiltrering har inte undersökts i denna studie. En orsak till den uppmätta reningsgraden med avseende på denna substans kan vara att Metformin är en polär och hydrofil molekyl med ett stort antal bundna kväveatomer med hög elektronegativitet.

Installerad pumpkapacitet utnyttjades vid utvärderingsflödet till ca 70 % varför en behandlingskapacitet på 80 m³/h förväntas kunna nås med marginal. En kompletterad



utvärdering med avseende på reningsgrad vid dimensionerat flöde kvarstår att utföra. Det installerade reningssystemets påverkan på läkemedelshalter i recipient kunde ej rymmas inom ramen för den utvärdering som utförts hittills av tidsskäl.

Utöver reningssystemets avsedda funktion som reducerande enhet med avseende på läkemedelsinnehåll kan det även anses utgöra ett tertiärt reningssteg för Vilhelmina ARV då de inkluderade reningsteknikerna för reningssystemet bl.a. leder till partikelavskiljning, desinfektion, och reducerat organiskt innehåll. Något som kunde utvärderas vidare är om reningssystemets reningssteg skulle kunna användas separat som en optimeringsåtgärd. Ett exempel skulle kunna vara att enbart nyttja ozonsteget för att uppnå högre genomströmningsflöden t.ex. smältperioder med ovanligt höga vattenflöden.

Utöver den uppenbara miljönyttan som reningssystemet för med sig följer även en kostnad, i huvudsak med avseende på energiförbrukning och förbrukning av kolfiltermassa. Det installerade reningssystemet visades vara betydligt mer energieffektivt per behandlad mängd vatten vid vattenflöden över 60 m³/h. Motsvarande utvärdering av energieffektivitet per reducerad mängd läkemedel för olika genomströmningsflöden bör genomföras inför en optimering av driften för reningssystemet. Redan inom av ramen för detta projekt har energibesparande åtgärder införts bl.a. genom att återcirkulera varmluft från kompressorenheten samt att utnyttja det kalla processvattnet för att kyla ozonsystemet. Enbart dessa två åtgärder beräknas leda till energibesparingar om ca 26 000 kWh/år. Ett exempel på ytterligare optimeringar med avseende på energieffektivitet skulle kunna vara att införa en flödesreglerad oxidationsbehandlingsprocess.

Den låga energiförbrukningen (relativt tidigare pilotstudier) per reducerad mängd aktiv substans indikerar dels att de energibesparande åtgärder som införts i detta projekt har haft avsedd effekt, och dels att betydande effektivitetsvinster kan uppnås med en uppskalad process. Då läkemedelsprover samlades in vid 25 % lägre flöde än det dimensionerade är det dessutom troligt att den specifika energiförbrukningen (per mängd renat vatten eller reducerad mängd läkemedel) hade varit ännu lägre vid ett högre flöde. Ytterligare utvärderingar rekommenderas för att optimera driften med avseende på bl.a. energiförbrukning, reningseffekt, och driftekonomi.

I nuläget finns inga standardiserade metoder i närområdet för att hantera aktivt kol som använts för avloppsvattenrening. Av denna anledning rekommenderas att undersöka möjligheterna för hantering av aktivt kolmaterial och i första hand göra en anpassning till de möjligheter som erbjuds i nuläget för att i ett senare skede göra en djupare analys av miljöpåverkan för olika hanteringsalternativ och ev. justera hanteringen efter detta.



4. Referenser

- Baresel, C., Ek, M., & Ejhed, H. (2017). *Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- BIO Intelligence Service. (2013). *Study on the environmental risks of medicinal products, Final Report prepared for Executive Agency for Health and Consumers*.
- 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.
- Council Directive 91/271/EEC. (den 30 Maj 1991). Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. *EUROPEISKA GEMENSKAPERNAS OFFICIELLA TIDNING*, ss. 93-105. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31991L0271>
- Directorate-General for Environment. (den 26 October 2022). *Annexes to the proposal for a revised Urban Wastewater Treatment Directive*. Hämtat från European Commission: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en
- FORMAS. (2022). *Svenskt kommunalt avloppsvsatten och dess påverkan på vattenlevande organismer, en systematisk översikt*. Stockholm.
- Goralski, A. (2019). *Removal of Pharmaceutical Residues from Wastewater*. Stockholm: KTH.
- 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/>
- Harker, J., Backhurst, J., & Richardson, J. (2002). *Chemical Engineering Vol. 2 5th ed.* . Wales: Butterworth-Heinemann.
- Hjo Kommun. (2022). *Läkemedelsrening - Hjo Kommun*. Hjo: Hjo Kommun.
- Hoyer, K., Höglind, L., Sjölin, A., & Cimbritz, M. (2022). *Kvartär rening vid Sjölunda ARV*. Malmö.
- Luleå Miljöresurs AB. (2022). *Avancerad läkemedelsrening Uddeboverket, Luleå*. Luleå: Luleå Miljöresurs AB.



- Läkemedelsindustriföreningens Service AB. (den 21 11 2023). *Metformin Actavis*. Hämtat från FASS allmänhet:
<https://www.fass.se/LIF/product?userType=2&nplld=19960927000058>
- Naturvårdsverket. (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen - Behov, teknik och konsekvenser*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Pontén, J., Rönholm, G., & Skiöld, P. (2017). *PPRI Pharma Profile Sweden*. Stockholm: Dental and Pharmaceutical Benefits Agency.
- Region Stockholm. (2022). *Förteckning över miljöbelastande läkemedel med åtgärdsförslag framtagen inom ramen för Region Stockholms miljöprogram 2017–2021*. Stockholm.
- Storlagen Fjällmiljö. (den 01 11 2023). *Storlagen Fjällmiljö*. Hämtat från Storlagen Fjällmiljö: <https://www.storlagnafjall.se/Om/>
- Tierps Energi & Miljö AB. (2020). *Implementering av fullskalig läkemedelsrening vid Tierps reningsverk*. Tierp: Tierps Energi & Miljö AB.
- Vatteninformation Sverige. (den 23 Februari 2017). Volgsjön. Sverige, Sverige.
- Vilhelmina Kommun. (2018). *Vilhelmina kommun - med sikte på 2030*. Vilhelmina: Vilhelmina kommun.



Bilaga 1 – Uppmätta läkemedelsämnen vid förstudie (93st)

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
Amitriptyline	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	Roxithromycin	15
Carbamazepine	7,5	Fluphenazine	10	Sertraline	15
Chlorpromazine	15	Glibenclamide	20	Sotalol	20
Chlorprothixene	15	Glimepiride	20	Sulfamethoxazole	15
Cilazapril	2	Haloperidol	3	Tamoxifen	7,5
Ciprofloxacin	15	Hydroxyzine	4	Telmisartan	10
Citalopram	20	Irbesartan	3	Terbutaline	2
Clarithromycin	3	Ketoconazole	45	Tetracycline	30
Clemastine	3	Loperamide	3	Tramadol	20
Clindamycin	3	Maprotiline	15	Trihexyphenidyl	4
Clomipramine	3	Meclozine	20	Trimethoprim	4
Clonazepam	10	Memantine	4	Venlafaxine	20
Clotrimazole	15	Metoprolol	15	Verapamil	15
Codeine	20	Mianserin	4	Zolpidem	4
Cyproheptadine	7,5	Miconazole	15	Erythromycin	20
Desloratadine	15	Mirtazapine	20	Propranolol	30
Diclofenac	15	Naloxone	4	Cetirizine	15
Dicycloverine	15	Nefazodone	3	Caffeine	30



Bilaga 2 – Uppmätta läkemedelsämnen vid utvärdering (104st)

Läkemedel	LOQ [ng/L]	Läkemedel	LOQ [ng/L]	Läkemedel	LOQ [ng/L]
4-hydroxydiklofenak	10	hydroklortiazid	10	nimesulid	10
amoxicillin	10	ifosfamid	10	norfloxacin	10
anastrozol	10	indometacin	10	ofloxacin	10
atenolol	10	johexol	10	omeprazol	10
atorvastatin	10	jomeprol	10	ormetoprim	10
azatioprin	10	jopamidol	10	ornidazol	10
azitromycin	10	jopromid	10	oxazepam	10
benzylpenicillin	10	kapecitabin	10	oxitetrazyklin	2500
bezafibrat	10	karbamazepin	10	oxkarbazepin	10
buprenorfin	10	10,11-dihydroxykarbamazepin	10	oxolinsyra	10
butorfanol	10	10,11-dihydro-10-hydroxykarbamazepin	10	paklitaxel	10
ciprofloxacin	10	2-hydroxikarbamazepin	10	paracetamol	10
citalopram	10	karbamazepin 10,11-epoxid	10	piroxikam	10
clindamycin	10	ketoprofen	10	propranolol	10
clonazepam	10	klaritromycin	10	roxitromycin	10
cyklobenzaprin	10	klofibrinsyra	10	salbutamol	10
cyklofosfamid	10	kloramfenikol	10	sarafloxacin	50
diazepam	10	klortetrazyklin	10	sertralin	10
diklofenak	10	kloxacillin	50	sotalol	10
doxycyklin	10	koffein	10	sulfadiazin	10
enalapril	10	kolkicin	10	sulfadimidin (sulfametazin)	10
enoxacin	50	linkomycin	10	sulfaklorpyridazin	10
enrofloxacin	50	lomefloxacin	50	sulfamerazin	10
erytromycin	10	loperamide	10	sulfametizol	10
fexofenadin	10	meloxicam	10	sulfametoxazol	10
flumekin	10	metacyklin	10	sulfametoxipyridazin	10
fluoxetin	10	metformin	10	sulfamonometoxin	10
flutamid	10	metoprolol	10	sulfatiazol	10
furosemid	10	metotrexat	10	tebain	10
gabapentin	10	metronidazol	10	terbutalin	10
galantamin	10	mykofenolatmofetil	10	tetrazyklin	10
gemfibrozil	10	nalidixinsyra	10	tramadol	10
glimepirid	10	naproxen	10	trimetoprim	10
valsartan	10	venlafaxin	10	zolpidem	10
vancomycin	10	warfarin	10		