
RAPPORT

Teknisk utredning läkemedelsrening

UPPDRAGSNUMMER 30012968

JÄMFÖRELSE AV TEKNISKA LÖSNINGAR FÖR LÄKEMEDELSRENING VID STERNÖ ARV



SLUTRAPPORT

2022-06-23

VA-PROCESS JÖNKÖPING

MATILDE KAMP
CARL DAHLBERG

SWECO SVERIGE

Sammanfattning

Sternö avloppsreningsverk i Karlshamn har i enlighet med miljöprövningsdelegationens tillståndsbeslut från 2017 utrett frågan om utsläpp av läkemedelssubstanserna diklofenak, östradiol och etinylöstradiol. Utredningen inleddes år 2020 med en behovsanalys baserat på risken för negativ miljöpåverkan i recipienten Karlshamnsfjärden. Sammantaget visade utredningen att det inte finns något behov av att rena verkets avloppsvatten från aktuella läkemedel.

Nästa steg i utredningen är att göra en jämförelse mellan olika tekniska lösningar för läkemedelsrening vid Sternö ARV samt kostnaderna för att implementera dessa på anläggningen, vilket redovisas i denna rapport. De olika teknikalternativ som är aktuella innefattar aktivt kol genom filtrering över granulärt aktivt kol (GAK) eller ozon följt av biologisk efterbehandling.

Utredningen har inkluderat en undersökning av kemiska egenskaper i avloppsvattnet, vilka kan ha en påverkan på val av reningsteknik. De viktigaste slutsatserna från analyserna är att bromidhalten är något förhöjd (i medel 163 µg/l) vilket kräver beaktan vid ozonering, eftersom det finns risk att det cancerogena ämnet bromat kan bildas. Den förhöjda halten beror troligtvis på inträngning av havsvatten. Vidare är halten suspenderat material låg både innan och särskilt efter sandfilter, vilket ger goda förutsättningar för både ozonering och GAK-filtrering.

Både ozonering och GAK-filter förväntas ha en bra reningseffekt (>80% över reningssteget) på de tre ovan nämnda ämnena. Avseende diklofenak kan en reduktion på >90% över reningssteget förväntas både vad gäller GAK och ozon. Både ozon och GAK-filter har därmed bedömts vara lämpliga för läkemedelsrening vid Sternö ARV.

En fördel med GAK-filter är att risken för att bilda farliga nedbrytnings- och transformationsprodukter som kan bildas vid ozonering undviks. Nackdelen med GAK-filter är att det enligt utförda kalkyler är dyrare ur både investerings- och driftsynpunkt samt kräver betydligt större yta.

En annan fördel med ozon är att det bildas ett överskott av syre i utgående vatten från kontakttanken, vilket innebär att man i praktiken kan förvänta sig att få nitrifikation i sandfiltret. Detta är särskilt en fördel om det kommer striktare kvävekrav (eller ammoniumkrav) i framtiden. Ozonering har även fördelen att det har en desinficerande funktion, och att utgående bakteriehalter skulle bli lägre än idag.

Dimensionering och kostnadskalkyler har utförts för en ozon- respektive en GAK-anläggning. Ytbehovet för en ozonanläggning har bedömts till cirka 150 m² och för en GAK-anläggning till cirka 400 m².

Enligt utförda investeringskalkyler är den totala anläggningskostnaden cirka 38 MSEK för en ozonanläggning och cirka 48 MSEK för en GAK-anläggning.

Enligt utförda driftkostnadskalkyler är den årliga kostnaden cirka 1,1 MSEK för ozon och cirka 1,6 MSEK för GAK. Driftkostnaden motsvarar en kostnad på 0,3 kr/m³ behandlat vatten för ozon och 0,5 kr/m³ behandlat vatten för GAK.

Den totala kostnaden (både investering- och driftkostnad) för det avancerade reningssteget kan räknas om till 1,4 MSEK/kg diklofenak för ozon respektive 1,8 MSEK/kg diklofenak för GAK. Alternativt kan kostnaden beskrivas som 1 570 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med ozon respektive 2 120 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med GAK.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	1
2	Förutsättningar och dimensioneringsdata	2
2.1	Placering av läkemedelsrening	2
2.2	Avloppsvattenflöde	3
2.3	Vattenkaraktär	4
3	Tekniköversyn	6
3.1	Ozonering	6
3.2	Granulärt aktivt kol (GAK)	7
3.3	Förväntade reningsresultat	8
3.4	Rekommendationer	8
4	Processutformning	9
4.1	Antaganden för dimensionering	9
4.1.1	Specifik ozondos	9
4.1.2	Kontaktid GAK	9
4.2	Ozonering	10
4.2.1	Reaktordesign	10
4.2.2	Ozonproduktion	11
4.2.3	Doseringsutrustning	11
4.2.4	Syrgasförsörjning	11
4.2.5	Kylning av ozongenerator	12
4.2.6	Styrning och instrument	12
4.2.7	Effektbehov	13
4.2.8	Placering	13
4.3	Granulärt aktivt kol	15
4.3.1	Filterdesign	15
4.3.2	Backspolning	16
4.3.3	Utbyte av filtermedia	17
4.3.4	Styrning och instrument	18
4.3.5	Placering	18
5	Kalkyl	20
5.1	Investeringskostnad	20

5.2	Driftkostnader	20
6	Diskussion	22
7	Slutsatser	23

Bilagor

Bilaga 1. Investeringskostnadskalkyler

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sternö avloppsreningsverk är beläget i Karlshamn och fick år 2017 ett nytt tillstånd som omfattar en inkommande belastning motsvarande 35 000 personekvivalenter från tätorterna Karlshamn, Asarum, Svängsta, Hällaryd, Mörrum, Åryd och Siggarp. I beslutet från miljöprövningsdelegationen (daterat 2017-12-21) definieras några uppskjutna frågor som ska utredas av Karlshamns kommun under provotiden. En av de uppskjutna frågorna avser utsläpp av läkemedelssubstanserna diklofenak, östradiol och etinylöstradiol.

Utredningen inleddes år 2020 med en behovsanalys baserat på risken för negativ miljöpåverkan i recipienten Karlshamnsfjärden. Riskbedömningen utgick bland annat från analysdata av nämnda substanser i utgående vatten från verket samt spådningsförhållandena i recipienten. Sammantaget visade utredningen att det inte finns något behov av att rena verkets avloppsvatten från aktuella läkemedel.

Nästa steg i utredningen är att göra en jämförelse mellan olika tekniska lösningar för läkemedelsrening vid Sternö ARV, vilket redovisas i denna rapport. De olika teknikalternativ som är aktuella är i linje med tidigare studier och innefattar aktivt kol genom filtrering över granulärt aktivt kol (GAK) eller ozon följt av biologisk efterbehandling¹.

1.2 Syfte

Syftet med denna del av utredningen var att undersöka vilka tekniker som kan vara lämpliga att implementera vid Sternö ARV för läkemedelsrening. Utredningen inkluderar en undersökning av kemiska egenskaper i avloppsvattnet, så att underlag avseende läkemedelsrening kan tas fram. Underlaget skall utgöra grund för teknikval, samt även ta fram kostnader, utrustning och det platsbehov som krävs för en framtida implementering av läkemedelsrening.

1.3 Mål

Utredningen ska peka på två reningstekniker som är möjliga utifrån platsspecifika egenskaper för vattnet, ta fram en kalkyl för vilken investering det innebär samt uppskatta driftkostnader och det ytbehov som föreligger.

¹ Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

2 Förutsättningar och dimensioneringsdata

Reningsprocessen vid Sternö ARV består av mekanisk rening i rens-galler, sandfång och försedimentering följt av en biologisk aktivslamprocess för avskiljning av organisk substans, kväve och fosfor. Reningsverket drivs med biologisk fosforreduktion och ingen dosering av fällningskemikalie förekommer. Kolkälla doseras vid behov för att förbättra kvävereduktionen. Innan utsläpp filtreras vattnet i sandfilter och utgående renat vatten leds därefter i rörledning till Karlshamn-sfjorden.

Utsläppskraven för reningsverket (upp till en inkommande belastning på max 2000 kg BOD₇/d) samt reningsresultat år 2019 och 2020 ses i tabell 1.

Reningsresultaten är som Tabell 1 visar mycket goda och kraven uppfylls med marginal. Särskilt kan noteras att utgående kvävehalter är mycket låga vilket tyder på en väl fungerande biologisk reningsprocess.

Tabell 1 Utsläppskrav enligt gällande tillstånd samt reningsresultat (årsmedelvärden) vid Sternö ARV år 2019 och 2020

	Enhet	Tillstånd ¹	År 2019	År 2020
BOD ₇	mg/l	10	4,3	2,7
P _{tot}	mg/l	0,3	0,18	0,15
N _{tot}	mg/l	12	3,4	5,2

¹Månadsmedelvärde med avseende på BOD₇, årsmedelvärde med avseende på P_{tot} och N_{tot}

2.1 Placering av läkemedelsrening

Ett ozoneringssteg kan placeras mitt i biosteget, efter biosteget eller efter det sista partikelavskiljande steget. Efter ozoneringen behövs en biologisk efterbehandling för nedbrytning av både bi- och transformationsprodukter. För detta kan till exempel MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) eller sandfilter användas. Vid Sternö ARV finns ett befintligt sandfilter och det är därför naturligt att använda detta för efterbehandling och placera en eventuell ozonreaktor innan sandfiltret (Figur 1).



Figur 1 Föreslagen processmässig placering av ozonreaktor vid Sternö ARV.

Ett GAK-filter placeras efter det sista partikelavskiljande steget, i detta fall sandfiltret (Figur 2). Sandfiltren fungerar i detta fall som förbehandling och minimerar mängden partiklar och organiskt material i inkommande vatten till GAK-filtret.



Figur 2 Föreslagen processmässig placering av GAK-filter vid Sternö ARV.

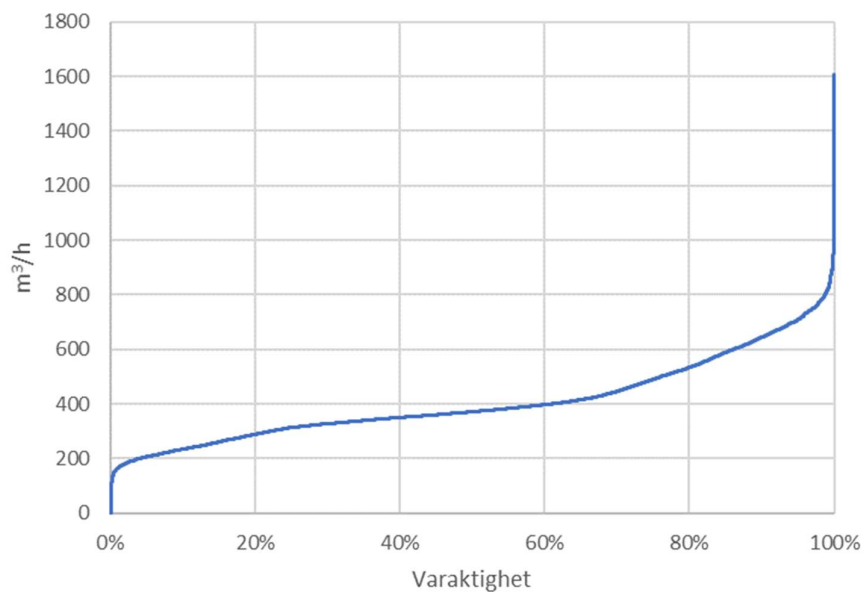
2.2 Avloppsvattenflöde

Sternö ARV är dimensionerat för nedanstående avloppsvattenflöden:

$$Q_{\text{dim}} 750 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{max}} 1\,380 \text{ m}^3/\text{h}$$

Timflödet år 2020 fördelade sig enligt varaktighetsdiagram i figur 3.



Figur 3 Varaktighetsdiagram över timflödet till Sternö ARV år 2020.

Läkemedelsreningen dimensioneras för Q_{max} enligt ovan. För beräkning av driftkostnader används medelflödet mellan år 2017-2020 enligt tabell 2.

Tabell 2 Inkommande flöde till Sternö ARV år 2017-2020, samt medel under tidsperioden. I november 2019 kopplades ett till reningsverk in (ca 5 000 pe).

	Enhet	År 2017	År 2018	År 2019	År 2020	Medel
Inkommande flöde, totalt	m ³ /år	3 708 600	3 136 200	3 293 083	3 589 900	3 431 946
Inkommande flöde, medel	m ³ /h	423	358	376	410	392

2.3 Vattenkaraktär

Provtagning av vattenkaraktär avser både provtagning av läkemedel och vattenmatris. Eftersom provtagningen av läkemedelsrester gjordes i den tidigare delen av utredningen provtogs endast vattenmatrisen i den här utredningen. Med vattenmatris menas vattnets specifika kemi och innehåll avseende joner etc. Vattenmatrisen är av särskilt stor betydelse för en ozonimplementering, eftersom ozon reagerar med vattenmatrisen och därigenom kan bilda oönskade biprodukter såsom bromat eller nitrosodimetylamin (NDMA).

Provtagningen av vattenmatrisen genomfördes på utgående vatten och vatten innan sandfilter. Detta eftersom den processmässiga placeringen av en läkemedelsrening kan vara antingen efter sandfilter (gäller aktivt kol) eller före sandfilter (gäller ozon, där sandfiltret fungerar som efterbehandling). Vattnet provtogs som dygnsprover vid fyra tillfällen mellan 2021-10-06 och 2021-11-02. Resultaten av provtagningen ses i Tabell 3.

De viktigaste slutsatserna från resultaten är att bromidhalten är något förhöjd och kräver beaktning vid ozonering, eftersom det finns risk att det cancerogena ämnet bromat kan bildas. Den förhöjda halten beror troligtvis på inträngning av havsvatten. Vidare är halten suspenderat material låg både innan och särskilt efter sandfilter, vilket ger goda förutsättningar för både ozonering och GAK-filtrering. Resultaten av provtagningen och dess påverkan på läkemedelsreningen diskuteras mer i detalj i kapitel 3 Tekniköversyn.

Tabell 3 Halter av kemiska parametrar av betydelse för läkemedelsrening i avloppsvattnet vid Sternö ARV. Provtagningspunkt innan och efter sandfilter. Presenterade halter är medelvärden från fyra provtagningsstillfällen (inom parentes visas standardavvikelsen) mellan oktober och november 2021.

Parameter	Enhet	Medelvärde innan sandfilter	Medelvärde efter sandfilter (utgående avloppsvatten)
DOC	mg/l	10,5 (0,5)	9,7 (0,3)
TOC	mg/l	12,5 (0,5)	10,4 (0,6)
Bromid	µg/l	163 (3)	163 (2)
Nitritkväve, NO ₂ ⁻ -N	mg/l	0,55 (0,20)	0,046 (0,01)
Ammoniumkväve, NH ₄ -N	mg/l	0,63 (0,28)	0,41 (0,35)
Fe ³⁺	mg/l	0,053 (0,014)	0,032 (0,015)
Cr _{tot} , filtrerat	µg/l	0,19 (0,01)	0,19 (0,01)
Cr ³⁺ *	µg/l	0 - 0,19	0 - 0,19
Cr ⁶⁺	µg/l	<0,20	<0,20
Dimetylamin	µg/l	<100, <5**	<5
Suspenderat material, SS	mg/l	4,8 (0,6)	1,2 (0,1)

* beräknas utifrån Cr_{tot} = Cr³⁺ + Cr⁶⁺

** vid ett tillfälle <100, övriga <5

3 Tekniköversyn

De tekniker som har visat sig mest gångbara för läkemedelsrening vid svenska avloppsreningsverk är:

- 1) Aktivt kol genom filtrering över granulärt aktivt kol (GAK)
- 2) Ozon följt av efterbehandling

Efterbehandlingen efter ozoneringen kan utgöras antingen av sandfilter eller MBBR och har till syfte att bryta ned eller avskilja biprodukter, och till viss del också eventuella transformationsprodukter, som bildats vid ozoneringen av vattenmatrisen respektive mikroföroreningarna. Det går även kombinera teknikerna och använda GAK-filter som efterbehandling efter ett ozoneringssteg.

I detta kapitel diskuteras de två teknikerna, GAK och ozon, och deras lämplighet vid Sternö ARV utifrån provtagning av vattenmatrisen samt deras förväntade reningseffekt på de utvalda läkemedlen etinylöstradiol, östradiol och diklofenak.

3.1 Ozonering

Eftersom det redan finns ett sandfilter vid Sternö ARV är det naturligt att använda detta för efterbehandling och placera en eventuell ozonreaktor innan sandfiltret. Nedanstående diskussion avseende vattenmatrisen och dess påverkan på läkemedelsrening med ozon utgår därför från den utförda provtagningen före sandfilter.

Ozon fungerar bäst i vatten där halterna av susp och DOC är låga, eftersom dessa parametrar ökar ozonkonsumtionen genom en rad komplexa reaktioner. På samma sätt kan halter av krom och nitrit i vattnet öka ozonkonsumtionen. Uppmätta DOC- och TOC-halter vid Sternö ARV är normala för avloppsvatten och DOC-halten, med fördel tillsammans med nitrithalten, används för att dimensionera nödvändig ozondos.

Susphalten innan sandfilter vid Sternö ARV är enligt resultat från provtagningen ca 5 mg SS/l, vilket bedöms som lågt. Detta resultat grundar sig dock bara på 4 provtagningstillfällen och det är troligt att susphalten ibland är högre än så, till exempel vid slamflykt. Vid normal drift kommer sannolikt inte susphalten att vara något problem för ozoneringen.

Enligt schweiziska riktlinjer rekommenderas ozonering utan förbehåll för vatten som innehåller:

- Bromid <100 µg/l
- Krom (totalt) <1 µg/l

Vid Sternö ARV är halten krom enligt provtagningen i medel 0,2 µg/l vilket med andra ord är godkänt enligt de schweiziska riktlinjerna. Vid ozonering kan det cancerogena ämnet kromat bildas från kromjonen Cr⁶⁺. Uppmätt halt Cr⁶⁺ är under detektionsgränsen i samtliga provtagningar (Tabell 3).

Halten bromid i vattnet vid Sternö ARV har uppmätts till i medel 163 µg/l vilket kan leda till oönskad bromatbildning. Bromat är ett cancerogent ämne. Enligt de schweiziska riktlinjerna är en bromidhalt mellan 100 och 400 µg/l inte tillräckligt högt för att avskriva ozonering som olämpligt, men det är önskvärt att försöka minska halten genom uppströmsarbete.

Bromatbildningen styrs dels av bromidhalten dels av ozondosen. Det finns tre nivåer av bromidhalter som grund för riskbedömning och som kräver olika typer av åtgärder. Utifrån den provtagning som gjorts tillhör Sternö ARV kategori 3 i nedanstående lista. De aktuella nivåerna är fastlagda av Kompetenscentret för mikroföroreningar i Nordrhein-Westfalen (KOM-M NRW):

1. Bromidkoncentration <100 µg/l: ingen begränsning vid ozondoser <0,7 mg O₃/mg DOC.
2. Bromidkoncentration 100 - 150 µg/l: ingen begränsning vid ozondoser <0,5 mg O₃/mg DOC. Vid högre dosering bör bromatbildningen utvärderas för den aktuella vattenmatrisen.
3. Bromidkoncentration >150 µg/l: en bedömning behöver göras för bromatbildningen i den aktuella vattenmatrisen.

Andra biprodukter som det diskuteras kring är bildningen av NDMA (nitrosdimetylamen) som har påträffats i både dricks- och avloppsvatten. Bildningen av NDMA är fortfarande relativt oklar, men förekomst av dimetylamen har visats sig påverka bildningen. Därför kan det vara värdefullt att känna till förekomsten av dimetylamen i det aktuella vattnet inför en ozonimplementering. Samtliga provtagningsresultat vid Sternö ARV visade på halter under detektionsgränsen för dimetylamen. Det finns därför ingen anledning att avskriva ozonering som processlösning för läkemedelsrening. Ett av proverna hade dock en högre detektionsgräns än övriga; 100 µg/l jämfört med 5 µg/l. Vid en eventuell pilotkörning av ozon kan det vara av värde att ånyo följa upp halten av dimetylamen för att se om det kan leda till bildandet av NDMA.

3.2 Granulärt aktivt kol (GAK)

Ett GAK-filter placeras efter sandfiltren som i detta fall fungerar som förbehandling och minimerar mängden partiklar och organiskt material i inkommande vatten till GAK-filtret. Den nedanstående diskussionen om vattenmatrisen och dess påverkan på läkemedelsrening med GAK utgår därför från den utförda provtagningen efter sandfilter.

För GAK-filter är inkommande susphalt av intresse, där höga halter suspenderat material gör att filtret behöver backspolas oftare och GAK-filtret riskerar att bli mättat snabbare. Det senare påverkar indirekt kostnaden för reningssteget. Vid Sternö ARV är susphalterna ut från sandfiltret mycket låga, runt 1 mg/l enligt provtagningen, vilket innebär mycket goda förutsättningar för en implementering av GAK-filter.

Ett annat ämne som kan påverka funktionen på GAK-filtret negativt är järn som kan skapa beläggningar på kolets yta. Uppmätta halter av Fe³⁺ i vattnet vid Sternö ARV är dock låga (<0,1 mg/l).

3.3 Förväntade reningsresultat

Det finns i dagsläget inga krav på rening av läkemedelsrester på kommunala reningsverk i Sverige, men erfarenheter finns att hämta från Schweiz och Tyskland där flera anläggningar är i drift. I Schweiz finns lagstiftning som ställer krav på minst 80 % reduktion av läkemedelsrester och mikroföroreningar, sett över inflöde till det biologiska reningssteget och utflöde från reningsverket. Reningsverk med olika storlek uppgraderas av olika skäl; stora verk (>80 000 pe) för att minska den totala belastningen av mikroföroreningar, medelstora verk (>24 000 pe) med utsläpp till sjöar för att skydda dricksvattenkällor och mindre reningsverk (>8 000 pe) med låg utspädning uppgraderas för att skydda känsliga recipienter.

I Tyskland finns ingen lagstiftning men regionala rekommendationer är 80 % reduktion på liknande sätt som i Schweiz. Motiven för avancerad rening är framför allt att skydda dricksvattenkällor och känsliga recipienter med låg utspädning. Uppföljning görs på vissa utvalda indikatorsubstanser. I Nederländerna har man föreslagit 70% reduktion av 7/11 utpekade prioriterade mikroföroreningar.

De läkemedel som har inkluderats för projektet Sternö ARV har varit SFÄ-ämnenä etinylöstradiol, östradiol och diklofenak, enligt det krav på utredning som Sternö ska uppfylla. Enligt Baresel m.fl. (2017)² har både ozonering och GAK-filter en bra reningseffekt (>80% över reningssteget) på de tre ovan nämnda ämnena. Avseende diklofenak kan en reduktion på >90% över reningssteget förväntas både vad gäller GAK och ozon, även vid låga ozondoser (<3 g O₃/m³).

3.4 Rekommendationer

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det enligt genomförd provtagning och förväntad reningseffekt inte finns något som avskriver varken aktivt kol eller ozonering som metoder för läkemedelsrening med avseende på diklofenak, östradiol och etinylöstradiol. Bromidhalten behöver dock beaktas avseende ozon, dels genom vald ozondos dels genom utformningen av ozontillsats i reaktortanken, för att minimera risken för bromatbildning.

² Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

4 Processutformning

4.1 Antaganden för dimensionering

4.1.1 Specifik ozondos

Doseringen av ozon beräknas normalt med avseende på vattnets halt av DOC och ibland även nitrit. Nitrit-kväve påverkar ozondosen med 3,4 g O₃/g NO₂-N, där nitrit oxideras till nitrat. För DOC är en vanlig dimensionering 0,3–0,9 g O₃/g DOC³. Vilken ozondos som krävs varierar dock för olika substanser. Reduktionen kommer att vara olika för olika läkemedel – vissa bryts lätt ned och kommer reduceras med närmare 100%, medan andra kommer att ha en långt lägre reduktion (ca 50%).

De tre läkemedelssubstanserna som pekats ut i detta projekt är diklofenak, östradiol och etinylöstradiol. Diklofenak har visat sig reduceras i hög grad (>90%) redan vid låga ozondoser (så låga som 3 g O₃/m³, vilket motsvarar 0,3 g O₃/g DOC om DOC-halten i vattnet är 10 mg/l)⁴. Nödvändig dos för reduktion av östradiol och etinylöstradiol är mer osäker eftersom halterna ofta är under kvantifieringsnivån redan innan ozoneringssteget.

Vald dosering är 0,7 g O₃/g DOC. Denna dos är i de flesta fall tillräcklig för att nå 80% reduktion enligt krav i Schweiz och Tyskland, men då avseende betydligt fler ämnen än de tre som nämnts ovan. Det bästa sättet att avgöra vilken dos som krävs är med pilotstudier på det vatten som ska behandlas. Ozonerings tester rekommenderas därför innan den slutgiltiga doseringen bestäms, där även bromatformationen vid vald dosering studeras.

4.1.2 Kontakttid GAK

Ett kolfilter för läkemedelsrening dimensioneras efter avloppsvattnets uppehållstid i filtret, vilket styr adsorptionen av föroreningar. Kontakttiden i filtret bör vara >10 minuter enligt Cimbritz (2019)⁵, vilket bygger på erfarenhet från svenska projekt, men enligt erfarenhet från Schweiz och Tyskland rekommenderas att dimensionera för >20 minuter³. Att dimensionera för en kontakttid som är >20 minuter vid Q_{max} bedöms inte vara motiverat i Sternö ARV, eftersom Q_{max} endast uppnås en väldigt liten del av tiden. I stället har dimensioneringen utgått från varaktighetsdiagrammet (figur 3) och kontakttiden har satts till att vara 24 minuter vid 800 m³/h. Kontakttiden är då >20 minuter 99 % av tiden. Vid Q_{max} är kontakttiden 14 minuter. Eftersom varaktighetsdiagrammet endast baseras på ett år (år 2020) kan det finnas skäl att se över denna dimensionering när det finns data från fler år att tillgå där Mörrum ARV inkluderas.

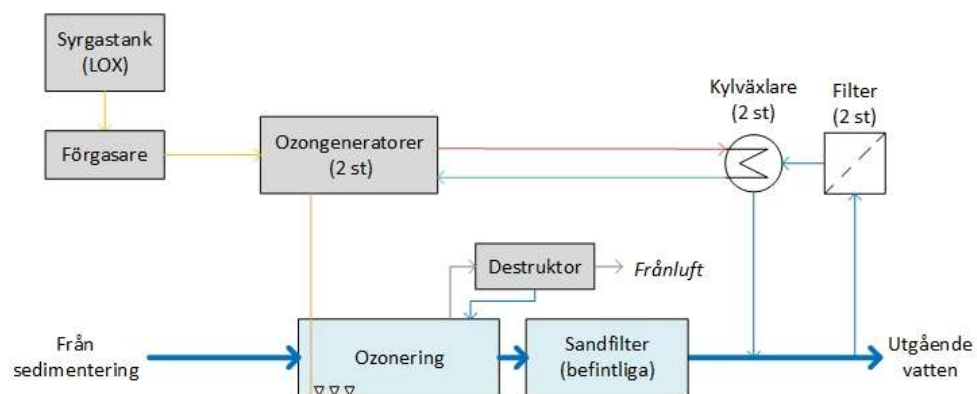
³ Stapf M., Miehe U., Kai B., Lukas M., (2020) *Guideline for advanced API removal*, CWPharma

⁴ Ekblad M., Crimbritz M., Nilsson F., Ernst G. mfl. (2015) Ozonering för nedbrytning av organiska mikroföroreningar, Pilottester i södra Sverige, VA-teknik Södra Rapport nr 02

⁵ Cimbritz M., (2019) *Konsultrapport – kunskapsläget beträffande avancerad rening av mikroföroreningar*, Bilaga 2 till Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk, Redovisning 2018-2019, Svenskt Vatten

4.2 Ozonering

Den föreslagna processen beskrivs i korthet med att vatten leds genom en sluten kontakttank med dosering av ozon som bryter ned läkemedelsresterna genom kemisk oxidation. Uppehållstiden i tanken ska vara tillräcklig för att allt ozon ska hinna reagera. Ozonet produceras i en generator som matas med syrgas, vilken köps in i flytande form (Liquid Oxygen - LOX). Ozongeneratoren kyls med utgående avloppsvatten. Blockschema över processen ses i figur 4.



Figur 4 Blockschema över föreslagen ozoneringsprocess för läkemedelsrening vid Sternö ARV.

4.2.1 Reaktordesign

Utgående vatten från sedimenteringen leds genom en sluten kontakttank (280 m³) med tillräcklig uppehållstid för att allt ozon ska reagera. Rekommenderad hydraulisk uppehållstid är 10–25 minuter⁶. Uppehållstid vid Q_{max} blir med denna dimensionering 12 minuter. Uppehållstiden vid Q_{dim} blir 23 minuter. Kontakttanken konstrueras som en lång, slingrande kanal för att säkerställa uppehållstiden. Vattendjupet sätts till minst 6 meter (detaljer finns att läsa i kapitel 4.2.3). Nödvändig yta för kontakttanken är därmed cirka 50 m².

Provtagning av vattnet ska vara möjligt innan och efter ozonreaktorn.

Frånluften från kontakttanken leds genom en ozondestruktur för att eventuella ozonrester inte ska släppas till atmosfären. Destruktionen sker genom att frånluften värms upp och därefter leds genom en katalysatorbädd som omvandlar ozon till syrgas. Kondensatet från ozondestrukturen leds tillbaka till kontakttanken.

⁶ Cimbritz M., (2019) *Konsultrapport – kunskapsläget beträffande avancerad rening av mikroföroreningar*, Bilaga 2 till Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk, Redovisning 2018-2019, Svenskt Vatten

4.2.2 Ozonproduktion

Nödvändig ozondos har beräknats utifrån DOC- och nitritkvävehalten i vattnet. Uppmätt DOC-halt innan sandfilter vid Sternö ARV är i genomsnitt 10,5 mg/l och nitritkvävehalten är i genomsnitt 0,55 mg/l. Med antaganden enligt kapitel 4.1.1 kan då den nödvändiga dosen beräknas till 9,2 mg O₃/l.

I Tabell 4 sammanställs förväntat flöde genom ozonreaktorn samt ozonbehov vid de olika flödesbelastningarna.

Tabell 4. Vattenflöden och ozonbehov vid max-, medel- och minbelastning

Behandlat flöde/ozonbehov	Enhet	Värde
Maximalt behandlat flöde	m ³ /h	1 380
Genomsnittligt behandlat flöde idag	m ³ /h	392
Minimalt behandlat flöde	m ³ /h	100
Ozonbehov, max	kg/h	12,7
Ozonbehov, medel	kg/h	3,6
Ozonbehov, min	kg/h	0,9

I föreslagen design har två ozongeneratorer antagits som tillsammans har kapacitet för det maximala behovet. Viss redundans finns således och ozonbehovet för medelflöde idag kan hanteras med endast en generator. Antal generatorer och deras kapacitet kan dock ändras i nästa skede beroende på önskemål om tillgänglighet och redundans.

4.2.3 Doseringsutrustning

Inblandning av ozon i vattnet kan ske på olika sätt; med statiska mixers, injektorer eller keramiska diffusorer. Diffusorer är en billigare och mer yteffektiv lösning än statiska mixers och mer energieffektivt än en injektorlösning. De erbjuder också en mer flexibel design för att minska risken för bromatbildning. Diffusorerna placeras på botten av kontakttanken. Vattendjupet ska vara minst 6 m för att säkerställa en effektiv upplösning av tillsatt ozon.

Det är lämpligt att sprida diffusorerna för att undvika att få zoner med hög ozonkoncentration (vilket ökar risken för bromatformation), samtidigt ska all tillsatt ozon hinna reagera innan vattnet når utloppet, och diffusorerna får därför inte placeras för nära utloppet. Risken för att bromat bildas ökar vid ökad halt syre i vattnet som är direkt kopplat till ökad ozondos. Det är därför bättre att ha en längre kontakttid vid låg ozonhalt, samt att hålla en låg ozonkoncentration i gasen.

4.2.4 Syrgasförsörjning

Ozongeneratören behöver matas med syrgas. Syret kan levereras i flytande form (LOX – Liquid Oxygen) eller skapas på plats i ett PSA- eller VPSA-system. Här föreslås flytande syrgas i en tank som hyrs av syrgasleverantören. Syret förgasas i ett förgasningssystem som är anslutet till lagringstanken, innan det leds till ozongeneratorerna. En liten mängd

kväve behöver även tillsättas till syrgasen för att ozongeneratorerna ska fungera optimalt. Detta görs med hjälp av tryckluft.

LOX-tanken placeras på en betongplatta. Till detta kommer också en spillplatta av betong eller sten (ej asfalt) för påfyllning. Det behöver även finnas plats för tankbil att komma till för påfyllning. Syret är starkt brandunderhållande och många brännbara material blir explosiva i kontakt med flytande syre.

Medelförbrukning av syrgas beräknas vara cirka 36 kg/h (25 Nm³/h). Beräkningarna baseras på en ozonkoncentration på 10wt% (148 g O₃/Nm³) i levererad gas från generatorerna. Denna koncentration kan behöva justeras ned vid minflöde för att kunna upprätthålla ett tillräckligt högt flöde genom diffusorerna.

Tabell 5. Syrebehov för ozonproduktion vid max-, medel- och minbelastning, baserat på en ozonkoncentration på 10wt%.

Beräknat syrebehov	Enhet	Värde
Syrebehov, max	kg/h	127
Syrebehov, medel	kg/h	36
Syrebehov, min	kg/h	9

4.2.5 Kylning av ozongenerator

Ozongeneratoren blir varm vid drift och behöver kylas. Detta görs normalt med en värmeväxlare med kylvatten i ett slutet system. Kylkretsen kyls oftast med en värmeväxlare som använder behandlat avloppsvatten som kylmedia, alternativt kyls kylkretsen med en värmepump. Fördelen med värmepump är, förutom att värmen återvinns, att det går att ha en lägre temperatur på kylkretsen vilket ger ett lägre effektbehov på ozongeneratoren än om man kyler med avloppsvatten. En värmepump kräver å andra sidan elenergi, och det behöver finnas ett behov på anläggningen (eller någon annanstans) av den värme som genereras. I kalkylen är kylväxling med utgående avloppsvatten med, men vilket alternativ som är mest ekonomiskt fördelaktigt bör man titta närmare på i nästa skede. För att säkerställa driften vid kylning med utgående avloppsvatten installeras två plattvärmeväxlare (en i redundans). Det behandlade avloppsvattnet behöver filtreras från partiklar innan värmeväxlarna. För detta installeras automatfilter (30 µm) eller membranfilter. Dessutom behövs ett tvättvattensystem (CIP-system) för att rengöra värmeväxlarna från påväxt av biologiskt material och igensättning.

4.2.6 Styrning och instrument

Ozondoseringen sker flödesproportionellt (vald dos är 9,2 mg O₃/l). Så länge halten DOC inte varierar alltför mycket är det fullt tillräckligt att styra ozondoseringen baserat på flöde. Om variationen är stor, t.ex. på grund av mycket tillskottsvatten, kan det vara av intresse att installera en mer avancerad styrning baserad på mätning av UV-absorbans. UV-absorbansen ger en indikation på mängden organiskt material i vattnet, eller mer precis – organiskt material som innehåller dubbelbindningar i molekylstrukturen. Studier har visat att UVA₂₅₄ inte direkt korrelerar med halten av mikroföroreningar, men skillnaden i UVA₂₅₄

i inkommande och utgående vatten från ozonreaktorn korrelerar med reduktionen av summan av mikroföroreningarna.

Instrumenteringen i ozoneringsanläggningen föreslås bestå av:

- Ozonhaltmätare efter varje ozongenerator för att mäta koncentrationen i gasen. Dessa säkerställer att den valda ozonkoncentrationen upprätthålls i gasen från generatoren. Mätprincip: UV-ljus (254 nm).
- En ozonhaltmätare för att mäta ozonhalt i utgående luft från reaktorn. Denna halt korrelerar med ozonhalten i vattnet. Mätningen kan användas för att överreglera tillförseln av ozon till reaktorn – om halten är hög sänks ozontillförseln. Mätprincip: UV-ljus (254 nm).
- En ozonhaltmätare efter ozondestruktorn för att mäta koncentration i utgående luft efter ozondestruktorn. Om halten är högre än 0,1 ppm går larm igång. Mätprincip: UV-ljus (254 nm).
- Två stycken UV-absorbansmätare i inkommande och utgående vatten från ozonreaktorn.

Av säkerhetsskäl installeras två gasvarnare i ozonrummet. Dessa ska detektera ozon- eller syrgasläckage och kopplas till varningslampa och signalhorn. Vid läckage stoppas ozonproduktionen och ventilationen av rummet forceras.

4.2.7 Effektbehov

Ozongeneratorerna beräknas ha ett maximalt effektbehov på ungefär 127 kW (baserat på en energiförbrukning på 10 kWh/kg O₃). Vid dagens medelflöde kommer effektbehovet vara cirka 36 kW, vilket kan jämföras med Sternös totala effektbehov som idag är 140 kW (medel 2017-2021).

4.2.8 Placering

Ozongeneratorerna och övrig maskinell utrustning placeras i ett maskinrum som kan stå antingen bredvid eller ovanpå kontakttanken. Nödvändig yta på maskinrummet bedöms till 100 m². I denna yta inkluderas också utrymme för el och VVS. LOX-tanken och förgasare placeras i anslutning till maskinrum och kontakttank.

En översiktlig genomgång av hydrauliken har genomförts och utifrån givet underlag bedöms ozoneringen rymmas utan något extra pumpsteg. Detta behöver dock detaljstuderas i en eventuell projektering.

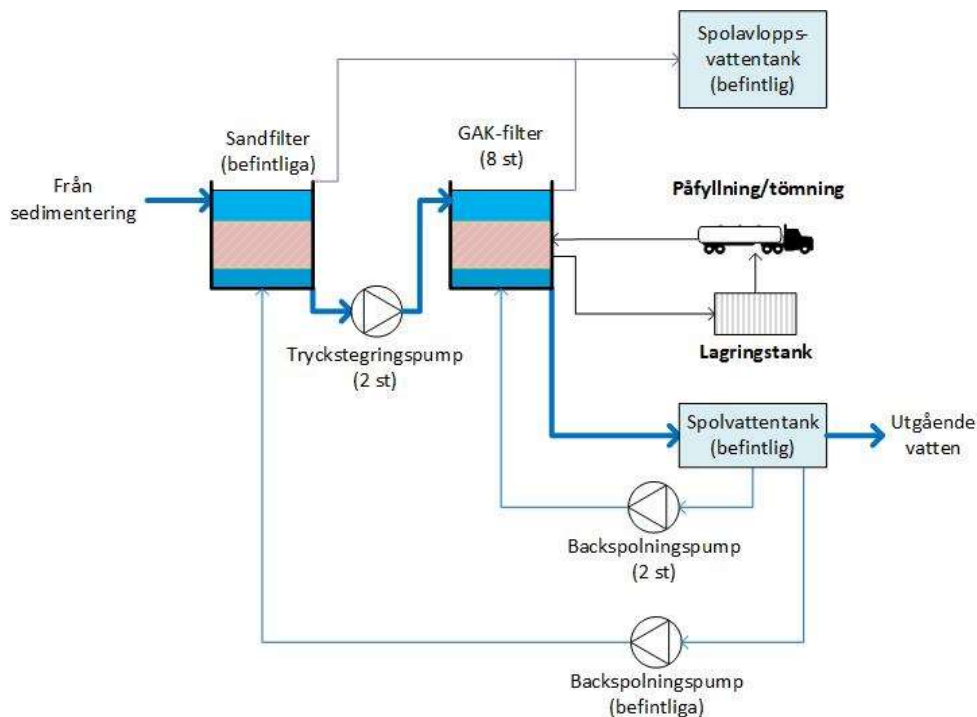
Föreslagen placering (markerad med röd rektangel i figur 5) har diskuterats fram tillsammans med Karlshamn Energi. En fördel med denna placering är att leveransen av flytande syrgas är i direkt anslutning till infarten och att lastbilar därför undviks längre in på området. Det är även en fördel att ha reningssteget placerat en bit ifrån övriga lokaler på anläggningen, med tanke på riskerna kopplade till flytande syrgas och ozon. Den röda rektangeln är cirka 150 m² vilket bör vara tillräckligt för kontakttank och maskinrum. LOX-tank och förgasare placeras i anslutning till denna yta.



Figur 5 Föreslagen placering för läkemedelsrening med ozon vid Sternö ARV, markerad med röd rektangel.

4.3 Granulärt aktivt kol

Processen beskrivs i korthet med att vattnet filtreras genom en bädd av granulerat aktivt kol (GAK) och föroreningar adsorberas på den aktiva kolytan. Avskiljningsgraden avtar med tiden och efter en viss tid nås ett genombrott för ett eller flera ämnen. Vid genombrott måste kolet ersättas med nytt eller reaktiveras. Blockschema över processen ses i figur 6.



Figur 6 Blockschema över föreslagen GAK-filtrering för läkemedelsrening vid Sternö ARV.

4.3.1 Filterdesign

Tryckfallet över en kolfilteranläggning kan grovt uppskattas till 1-2 mvp. Denna siffra beror på ett flertal faktorer där filtermassans tjocklek och kolets kornstorleksfördelning är de viktigaste parametrarna. Eftersom den tillgängliga hydrauliska höjden efter sandfilter inte rymmer ett så stort tryckfall behöver vattnet pumpas till kolfiltren. För detta föreslås tre pumpar där två tillsammans har kapacitet för Q_{max} , kapaciteten per pump är därmed $690 \text{ m}^3/\text{h}$.

GAK-filtret kan vara utformat som ett öppet eller trycksatt system eller ett kontinuerligt spolande filter. Som jämförelse är öppna nedströms kolfilter det vanligaste på dricksvattensidan. Filtrering genom GAK vid Sternö ARV föreslås ske i öppna nedströms betongbassänger. Sandfiltren vid Sternö ARV är utformade på detta sätt och det finns därmed erfarenhet i driften av denna typ av teknik.

Filterbädden består av granulerat aktivt kol. Föreslagen processlösning är 8 identiska filter som kan drivas helt parallellt eller två och två i serie. Att driva filtren i serie om två har förordats vid ett par anläggningar. När genombrott detekteras i det första filtret ändras styrningen så att det blir det andra i paret. Detta filter fungerar då som polersteg.

Med antaganden om kontakttid enligt kapitel 4.1.2 blir den totala filtervolymen 320 m³. Vid Q_{max} är kontakttiden 14 minuter. Om ett filter är ur drift (för spolning eller utbyte av filtermedia) och det samtidigt är maximalt flöde genom anläggningen kommer kontakttiden endast vara 12 minuter. Dessa kontakttider är alltså lägre än tyska och schweiziska rekommendationer (>20 minuter), men eftersom Q_{max} inträffar så pass sällan kommer man 99 % av tiden att vara över dessa rekommendationer. Att dimensionera anläggningen för att nå högre kontakttider för mindre än 1 % av tiden anses inte motiverat.

Ytbelastningen på filtret rekommenderas av Cimbritz (2019)⁷ att vara 5-15 m/h, medan tyska och schweiziska riktlinjer anger 4-7 m/h⁸. Med en filterbädd på 2 m blir den totala filterytan 160 m² och ytbelastningen 8,6 m/h vid Q_{max}. Dimensioneringsparametrar sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6. Sammanfattning av dimensioneringsparametrar som använts för design av kolfilteranläggning för läkemedelsrening vid Sternö ARV

Dimensioneringsparameter	Enhet	Värde
Antal filter	st	8
Total filtervolym	m ³	320
Total filteryta	m ²	160
Bäddhöjd	m	2
Kontaktid vid Q _{max}	min	14
Kontaktid vid Q _{medel}	min	49
Ytbelastning vid Q _{max}	m/h	8,6
Ytbelastning vid Q _{medel}	m/h	2,4

Med hänsyn till bäddexpansion vid backspolning, säkerhetsmarginaler och utloppshöjd blir varje filterenhet ungefär 2,8 m djup vilket ger en total volym på cirka 448 m³.

Provtagning av vattnet ska vara möjligt innan och efter GAK-filtren.

4.3.2 Backspolning

Eftersom det riskerar att följa med material i vattnet som sätter igen GAK-filtret behöver det backspolas regelbundet. Backspolning sker dock i regel betydligt mer sällan än för sandfilter. I de försök som genomförts i olika svenska projekt har backspolningsfrekvensen varierat stort, från några dagars mellanrum till ingen

⁷ Cimbritz M., (2019) *Konsultrapport – kunskapsläget beträffande avancerad rening av mikroföroreningar*, Bilaga 2 till Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk, Redovisning 2018-2019, Svenskt Vatten

⁸ Stapf M., Miehe U., Kai B., Lukas M., (2020) *Guideline for advanced API removal*, CWPPharma

backspolning alls. Ju renare vatten som kommer in till GAK-filtren, dvs ju bättre funktion man har på förfiltreringen, desto mindre kommer backspolning kommer att krävas. Till backspolning används filtrerat vatten.

Backspolning antas ske med en hastighet på 30 m/h vilket ger ett spolvattenflöde på 600 m³/h. Med en backspolning som varar i 15 min åtgår 150 m³ spolvatten per spolning. Backspolning sker för ett filter i taget. Vid Sternö ARV finns en spolvattentank och en spolvattenavloppstank (225 m³ vardera) som används till befintliga sandfilter. Eftersom backspolning troligtvis kommer ske sållan för kolfiltren, och att backspolning därför kan planeras in i lågflödesperioder, bedöms att samma tankar kan användas för spolvattenhantering till kolfilter.

Två spolvattenpumpar, vardera med kapacitet för hela spolvattenflödet installeras, dvs 2 st á 600 m³/h.

I sandfilter sker renspolning även med luft. För kolfilter kan luften orsaka problem eftersom den riskerar att mala sönder granulerna. Om det uppstår problem med mycket slam i filtret kan det i vissa fall ändå behövas. Här har ingen utrustning för renspolning med luft tagits med. Det rekommenderas i stället att installera en styrning som gör att kolfiltren förbileds om sandfiltren tillfälligt skulle släppa igenom mycket slam.

4.3.3 Utbyte av filtermedia

Efter en tid mättas det aktiva kolet och adsorptionskapaciteten avtar vilket leder till att föroreningsrester passerar igenom filtret. Detta kallas genombrott och när detta händer varierar från fall till fall. Vanligtvis brukar 20 000-30 000 bäddvolymers anges. Denna siffra beror på vattnets innehåll av suspenderade ämnen och DOC, och den står i direkt relation till kolförbrukningen dvs livslängden på GAK. Det ska alltså understrykas att det i slutändan kan handla om färre eller fler bäddvolymers.

Vid dagens medelflöde och ett antagande att genombrott sker efter 20 000 bäddvolymers kommer utbyte av filtermedia att behövas ungefär vartannat år.

Vid genombrott måste kolet ersättas med nytt eller reaktiveras. Vid reaktivering upphettas kolet och de ämnen som adsorberats mineraliseras, dvs. de tas bort från kolet. Efter reaktivering måste ungefär tio procent nytt aktivt kol tillsättas för att kompensera för förluster. Kolet kan även regenereras vilket innebär genomströmning av het ånga. Efter en sådan behandling blir kolet "renare" men inte alls lika aktivt som ett nytt eller reaktiverat. Det finns idag ingen anläggning för reaktivering eller regenerering av förbrukat aktivt kol i Sverige utan kolet måste fraktas ned i Europa. Förbrukat kol destrueras, förbränns, på exempelvis ett värmeverk.

För att förenkla hanteringen av kol vid utbyte av filtermedia förordas att ett platsbyggt system utformas på anläggningen. I detta system transporteras granulerat aktivt kol direkt från lastbil till respektive filter genom ett vattenbaserat system med interna ledningar. På så vis behöver inte torrt kol hanteras vilket medför stora fördelar ur arbetsmiljösynpunkt. Observera att fyllning ska göras uppifrån så att det inte blir ett mottryck av vatten och kol. Transport in till filter sköts vanligtvis med vattenejektorer där leverantören av kol har

själva ejektorerna. Till ejektorerna behövs vatten med tillräckligt tryck och flöde, förslagsvis används utgående, renat vatten från spolvattentanken. Enligt en leverantör handlar det storleksmässigt om ca 5 bars tryck och ett flöde på 20 m³/h. Med de förutsättningarna kan de transportera ca 6 m³ kol per timme.

När kolet i ett filter är förbrukat och behöver bytas, sugts det upp ur filtret och skickas till reaktivering eller destruktion. För att undvika längre driftstopp av GAK-filter föreslås att det anläggs en volym för förbrukat kol som dräneras i väntan på bortforsling. På så vis kan tömning och påfyllning ske under en planerad, kort tidsperiod. Exempel på denna uppställning finns i Bäcklösa vattenverk i Uppsala.

4.3.4 Styrning och instrument

Instrumentering behövs i form av nivågivare i och flödesmätare ut från respektive filter. Efter filtren sätts en turbiditetsmätare som övervakar eventuella fel i filtreringsprocessen som ger förhöjd turbiditet.

Spolning sker intermittent enligt ett förutbestämt spolprogram eller vid indikation av ökat differenstryck över filtret. För spolning baserat på differenstryck krävs tryckgivare för varje filter, vilket har inkluderats i investeringskalkylen.

En mer avancerad styrning, eller övervakning, kan uppnås genom att regelbundet mäta UV-absorbans i inkommande respektive utgående vatten. Övervakningen kan användas för att bedöma när genombrott i filtret uppstått. UV-absorbansen ger en indikation på mängden organiskt material i vattnet, eller mer precis – organiskt material som innehåller dubbelbindningar i molekylstrukturen. Studier har visat att UVA₂₅₄ inte direkt korrelerar med halten av mikroföroreningar, men skillnaden i UVA₂₅₄ i inkommande och utgående vatten från GAK-filtret korrelerar med reduktionen av summan av mikroföroreningarna.

Här föreslås att det ska finnas möjlighet att leda en provtagningsström före och efter varje filterenhet, med hjälp av en provtagningspump och ett ventilsystem, till ett provtagningskärl med en UV-absorbansmätare installerad. På så vis behövs endast en givare i stället för sexton.

4.3.5 Placering

Nödvändig filteryta har beräknats till 160 m². Inklusivt betong och kanaler uppskattas den totala ytan för filterbassänger till 200 m². Till detta kommer utrymme för en pumpstation, spolvattenpumpar, lagringstank för förbrukat kol, samt el- och fläktrum. Nödvändig yta för detta uppskattas till 200 m². Det behöver även finnas plats för lastbil att fylla på och hämta kol.

Två förslag på placeringar (markerade med röda rektanglar i figur 7) har diskuterats fram tillsammans med Karlshamn Energi. De röda rektanglarna är cirka 400 m² vilket bedöms vara tillräckligt för filterbassänger, rörgalleri, pumpstation, spolvattenpumpar och lagringstank för förbrukat kol. Det första alternativet (Alt. 1 i figur) har fördelen att det är i nära anslutning till sandfiltren och därmed kräver mindre rördragning. Ytan är dock begränsad och det är svårt att göra anläggningen bredare än 10 m. Detta betyder att man

kommer väldigt nära röt-kammaren. Ytterligare nackdelar är att befintligt barkfilter behöver flyttas och att ringvägen runt anläggningen försvinner. Det andra alternativet (Alt. 2 i figur) är placerat bakom verkstaden. Här finns gott om utrymme, men det krävs lång rördragning från spolvattentank och till spolvattenavloppstank. Det skulle kunna gå att flytta ytan närmre röt-kammaren men denna yta är bra att spara för framtida slamhantering, till exempel ytterligare en röt-kammare.



Figur 7 Två förslag på placering, markerade med röda rektanglar, för läkemedelsrening med GAK vid Sternö ARV.

5 Kalkyl

5.1 Investeringskostnad

Investeringskostnaden för läkemedelsrening med ozon respektive GAK vid Sternö ARV har beräknats utifrån förutsättningarna beskrivna i tidigare kapitel. För GAK redovisas kostnad för placering enligt alternativ 1. Tabell 7 sammanfattar den övergripande kalkylen för läkemedelsrening där den totala anläggningskostnaden landar på 38 MSEK för ozon och 48 MSEK för GAK. Tillkommande kostnad för rördragning om GAK-filter placeras enligt alternativ 2 bedöms till cirka 2 MSEK.

Detaljerade kostnader redovisas i bilaga 1.

Tabell 7 Övergripande investeringskostnader för en ozon- respektive GAK-anläggning vid Sternö ARV

Kalkylpost	Kostnad ozon (MSEK)	Kostnad GAK (MSEK)
Bygg- & markarbeten	5,3	8,8
VVS (25 % av byggnad)	0,6	1,3
Maskininstallationer	14,3	16,0
El och automation (35% av maskin)	5,0	5,6
Oförutsett (20%)	5,0	6,4
Summa entreprenader – Entreprenadkostnad	30,2	38,1
Byggherrekostnad (25 % av entreprenadkostnad)	7,6	9,5
Total anläggningskostnad	37,8	47,6

5.2 Driftkostnader

Driftkostnaderna är beräknade utifrån följande enhetspriser:

El	1,0 kr/kWh
Personal	0,8 MSEK/år
LOX	1,1 kr/kg
GAK, nytt	20 000 kr/ton
GAK, regenererat	15 000 kr/ton
Underhållskostnad	1 % av investering maskin, VVS och el

Flertalet av enhetspriserna är osäkra. Prisläget för el är i rådande tid mycket osäker och inköpspriset på flytande syre är direkt kopplat till elpriserna. Ansatt pris på LOX baseras på uppgifter från en annan kommun år 2020. Hyrkostnaden för syrgastank har satts till 12 000 kr/månad vilket är prisuppgift för en tank på 40 ton i en annan kommun.

Även priset för GAK är osäker. Priset skiljer sig åt beroende på om det mättade kolet ska ersättas av nytt kol eller om kolet ska regenereras. Eftersom det inte finns någon anläggning för regenerering av förbrukat aktivt kol i Sverige måste kolet fraktas ned i Europa, vilket påverkar priset. I kalkylen har räknats med priset för regenererat kol.

Beräknade driftkostnader för ozon respektive GAK presenteras i tabell 8 och 9.

Tabell 8 Årliga driftkostnader för läkemedelsrening med ozon vid Sternö ARV

Kalkylpost	Kostnad (MSEK)
Elförbrukning ozongeneratorer	0,3
LOX: Inköp och hyrkostnad tank	0,5
Personal*	0,08
Underhåll	0,2
Totalt	1,1

*4 h/vecka

Tabell 9 Årliga driftkostnader för läkemedelsrening med GAK vid Sternö ARV

Kalkylpost	Kostnad (MSEK)
Elförbrukning	0,05
Aktivt kol	1,3
Personal*	0,08
Underhåll	0,2
Totalt	1,6

*4 h/vecka

6 Diskussion

Inom ramen för denna utredning har tre ämnen, läkemedelssubstanserna diklofenak, östradiol och etinylöstradiol varit i fokus. Med avseende på dessa ämnen, och en utvärdering av vattenkaraktären, har både ozon och GAK-filter bedömts vara lämpliga för läkemedelsrening vid Sternö ARV. Det är dock viktigt att ha med sig att även andra ämnen (både läkemedel och andra mikroföroreningar, till exempel PFAS, ftalater etc.) kan vara av intresse och påverka val av reningsteknik eller antaganden för dimensionering. GAK-filter avskiljer till exempel PFAS, vilket ett ozoneringssteg inte gör i samma utsträckning.

En annan fördel med GAK-filter är att risken för att bilda farliga nedbrytnings- och transformationsprodukter som kan bildas vid ozonering undviks. GAK-filtrens funktion är dock till stor del beroende av föreliggande reningssteg fungerar bra och att inkommande vatten har låga partikelhalter. Om GAK-filter väljs rekommenderas därför att säkerställa att befintliga sandfilter har en god funktion. Det kan till exempel vara värt att byta ut sanden om denna är gammal.

Ett ozoneringssteg är billigare än GAK-filter enligt utförda kalkyler, både ur investerings- och driftsynpunkt. Det är dessutom betydligt mindre ytkrävande än GAK-filter. En annan fördel med ozon är att det bildas ett överskott av syre i utgående vatten från kontakttanken, vilket innebär att man i praktiken kan förvänta sig att få nitrifikation i sandfiltret. Troligtvis bryts även en del organiska föroreningar innehållande kväve ned. Detta är särskilt en fördel om det kommer striktare kvävekrav, till exempel lägre totalkvävehalter eller krav på låg ammoniumhalt i utgående vatten.

I en parallell utredning har möjligheter för att sänka bakteriehalterna i utgående vatten från Sternö ARV studerats. Om det skulle komma krav på läkemedelsrening vid reningsverket har ozonering fördelen att det även har en desinficerande funktion, och att utgående bakteriehalter skulle bli lägre än idag.

I den tidigare utförda miljöriskbedömningen utfördes analyser av diklofenak, östradiol och etinylöstradiol i utgående avloppsvatten från Sternö ARV. Östradiol och etinylöstradiol var under detektionsgränsen men detekterbara halter av diklofenak kunde konstateras. Baserat på medelhalten av diklofenak i utgående avloppsvatten (0,566 µg/l), årsmedelflödet i Tabell 2 och en antagen reduktion på 90% diklofenak över reningssteget kan det beräknas att 1,7 kg diklofenak per år kommer att avskiljas, oberoende av om ozon eller GAK väljs. Med en rak avskrivning på 30 år och utan hänsyn till ränta kan den årliga kapitalkostnaden för det avancerade reningssteget räknas om till 1,4 MSEK/kg diklofenak för ozon respektive 1,8 MSEK/kg diklofenak för GAK. Alternativt kan kostnaden beskrivas som 1 570 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med ozon respektive 2 120 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med GAK⁹. Kostnaden innefattar såklart även rening av andra läkemedel och mikroföroreningar än diklofenak, men ger ändå en indikation på prislappen för reningssteget.

⁹ Baserat på 23,2 mg diklofenak/g gel och 100 g gel per tub samt ett antagande om att 50% av tubens innehåll hamnar i avloppsvattnet.

7 Slutsatser

- Både ozon och GAK-filter har bedömts vara lämpliga för läkemedelsrening vid Sternö ARV. Bromidhalten behöver dock beaktas med avseende på ozon, dels genom vald ozondos dels genom utformningen av ozontillsats i reaktortanken, för att minimera risken för bromatbildning.
- Ytbehovet för en ozonanläggning har bedömts till cirka 150 m² och för en GAK-anläggning till cirka 400 m².
- Enligt utförda investeringskalkyler är den totala anläggningskostnaden cirka 38 MSEK för en ozonanläggning och cirka 48 MSEK för en GAK-anläggning.
- Enligt utförda driftkostnads-kalkyler är den årliga kostnaden cirka 1,1 MSEK för ozon och cirka 1,6 MSEK för GAK. Detta motsvarar en kostnad på 0,3 kr/m³ behandlat vatten för ozon och 0,5 kr/m³ behandlat vatten för GAK.
- Den totala kostnaden (både investering- och driftkostnad) för det avancerade reningssteget kan räknas om till 1,4 MSEK/kg diklofenak för ozon respektive 1,8 MSEK/kg diklofenak för GAK. Alternativt kan kostnaden beskrivas som 1 570 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med ozon respektive 2 120 kr för att rena en tub smärtlindrande gel med GAK.

Uppdrag / Assignment Teknisk utredning läkemedelsrening	Upprättad av / Issued by Yingdi Chen	Datum / Date 2022-02-22
Beställare / Client Karlshamn energi	Kontrollerad av / Checked by Esbjörn Öhrström	Datum Rev. Datum
Uppdragsnummer / Reference No 30012968	Godkänd av / Approved by Matilde Kamp	Status-ersätter Arbetshandling

Investeringskostnadskalkyl Ozon

Byggnadsdel	Antal	Enhet	Pris/enhet	Pris	Kommentar
Mark och betongarbete					Geotekniska förutsättningar okända, pålning/spont/grundvattensänkning ingår ej.
Markplanering, körytor	160	m2	350 kr	56 000 kr	
Jordschakt	420	m3	200 kr	84 000 kr	
Fyllning	140	m3	200 kr	28 000 kr	
Betong kontaktbassäng ozon	280	m3	7 500 kr	2 100 000 kr	
Platta för LOX	10	m2	5 000 kr	50 000 kr	
Delsum Mark och betongarbete				2 318 000 kr	
Bygg					
Maskinbyggnad	100	m2	24 000 kr	2 400 000 kr	
Övertäckning betong kontaktbassäng	50	m2	12 000 kr	600 000 kr	
Delsum Bygg				3 000 000 kr	
VVS	25%			600 000 kr	av byggnad
Maskin				14 300 000 kr	
EI & Automation	35%			5 005 000 kr	av maskin
Oförutsett	20%			5 044 600 kr	
Entreprenadkostnad				30 267 600 kr	
Byggherrekostnader:	25%				
Projektledning	4,0%			1 210 800 kr	
Projekteringsledning	2,0%			605 400 kr	
Projektering	10,0%			3 026 800 kr	
Upphandling	1,0%			302 700 kr	
Byggledning	2,0%			605 400 kr	
Kontroll	2,0%			605 400 kr	
Uppföljning av garantier, besiktningar	1,0%			302 700 kr	

Igångkörning	1,0%			302 700 kr	
Drift- och skötselinstruktioner, slutdokumentation	1,0%			302 700 kr	
CE-märkning	1,0%			302 700 kr	
Anläggningskostnad				37 835 000 kr	

Uppdrag / Assignment Teknisk utredning läkemedelsrening	Upprättad av / Issued by Yingdi Chen	Datum / Date 2022-02-22
Beställare / Client Karlshamn energi	Kontrollerad av / Checked by Esbjörn Öhrström	Datum Rev. Datum
Uppdragsnummer / Reference No 30012968	Godkänd av / Approved by Matilde Kamp	Status-ersätter Arbetshandling

Investeringskostnadskalkyl GAK

Byggnadsdel	Antal	Enhet	Pris/enhet	Pris	Kommentar
Mark och betongarbete					Geotekniska förutsättningar okända, pållning/spont/grundvattensänkning ingår ej.
Markplanering, körytor	160	m2	350 kr	56 000 kr	
Jordschakt	936	m3	200 kr	187 200 kr	
Fyllning	312	m3	200 kr	62 400 kr	
Öppna kolfilter, 8st, 160m2	480	m3	5 000 kr	2 400 000 kr	bassänghöjd 3m bäddhöjd 2m
Utrymme med rörgalleri	144	m3	3 500 kr	504 000 kr	
Spolvattentank					Befintlig
Spolavloppstank					Befintlig
Delsum Mark och betongarbete				3 209 600 kr	
Bygg					
Lyftpumpstation	50	m3	6 000 kr	300 000 kr	
Byggnad (pumphus, lagringstank, elrum)	200	m2	24 000 kr	4 800 000 kr	
Lyftanordning, fundament				500 000 kr	
Delsum Bygg				5 600 000 kr	
VVS	25%			1 326 000 kr	av byggnad och rörgalleri
Maskin				16 000 000 kr	
EI & Automation	35%			5 600 000 kr	av maskin
Oförutsett	20%			6 347 200 kr	
Entreprenadkostnad				38 082 800 kr	
Byggherrekostnader:	25%				
Projektledning	4,0%			1 523 400 kr	
Projekteringsledning	2,0%			761 700 kr	
Projektering	10,0%			3 808 300 kr	
Upphandling	1,0%			380 900 kr	
Byggledning	2,0%			761 700 kr	
Kontroll	2,0%			761 700 kr	
Uppföljning av garantier, besiktningar	1,0%			380 900 kr	

Igångkörning	1,0%			380 900 kr	
Drift- och skötselinstruktioner, slutdokumentation	1,0%			380 900 kr	
CE-märkning	1,0%			380 900 kr	
Anläggningskostnad				47 605 000 kr	

Uppdrag / Assignment Teknisk utredning läkemedelsrening	Upprättad av / Issued by Yingdi Chen	Datum / Date 2022-02-22
Beställare / Client Karlshamn energi	Kontrollerad av / Checked by Esbjörn Öhrström	Datum Rev. Datum
Uppdragsnummer / Reference No 30012968	Godkänd av / Approved by Matilde Kamp	Status-ersätter Arbetshandling

Timpris Montage (SEK)
700

Ozon Benämning	MATERIAL					MONTAGE		ENTREPRENAD- KOSTNADER	Anmärkning	
	Mängd	Enhet	A-pris (SEK)	Frakter, kranlyft (SEK)	Summa Material (SEK)	Summa Frakter, kranlyft (SEK)	Tid (h)	Summa Montage (SEK)		Summa Material + Montage (SEK)
Ozon										
Ozonutrustning ink. ozongeneratorer, kylsystem	1 omg		6 500 000	50 000	6 500 000	50 000	120	84 000	6 634 000	Primozone
Inlösen	1 omg		650 000		650 000				650 000	Primozone
Kylvattenanslutning	1 omg		400 000		400 000				400 000	Renat avlopp
Off gas destruktion	1 omg		1 200 000		1 200 000				1 200 000	Primozone
LOX tank med installation								100 000	100 000	Hyrs av leverantör
Tryckvakt	2 st		3 000	100	6 000	200	16	11 200	17 400	4st ozonhaltmätare, 2st gasvarnare, 2st UV-absorbansmätare
Instrument	1 omg		250 000		250 000				250 000	
Kompressor	1 omg		100 000		100 000				100 000	
Rör och ventiler	1 omg		800 000		800 000				800 000	
SUMMA 1 - MATERIAL OCH MONTAGE					9 906 000	50 200	136	195 200	10 200 000	
ENTREPRENÖRSPÅSLAG										
Etablering	1%								102 000	
Drift (bodas, byggel, ställningar, städning)	2%								204 000	
Arbetsledning (Projektleddning)	4%								408 000	
Övrigt entreprenörsarvode:										
Försäkringar, bankgaranti	1%								102 000	
Montageritningar, konstruktion	6%								612 000	
Tester, provning, besiktning	2%								204 000	
Relationshandlingar, driftinstruktioner	1%								102 000	

Garantier	3%	306 000
Centraladministration, vinst	20%	2 040 000
DELSUMMA ENTREPRENÖRSPÅSLAG	40%	4 100 000
SUMMA-2 INKL. ENTREPRENÖRSPÅSLAG		14 300 000

Uppdrag / Assignment Teknisk utredning läkemedelsrening	Upprättad av / Issued by Yingdi Chen	Datum / Date 2022-02-22
Beställare / Client Karlshamn energi	Kontrollerad av / Checked by Esbjörn Öhrström	Datum Rev. Datum
Uppdragsnummer / Reference No 30012968	Godkänd av / Approved by Matilde Kamp	Status-ersätter Arbetshandling

Timpris Montage (SEK)
700

GAK Benämning	MATERIAL						MONTAGE		ENTREPRENAD- KOSTNADER	Anmärkning
	Mängd	Enhet	A-pris (SEK)	Frakter, kranlyft (SEK)	Summa Material (SEK)	Summa Frakter, kranlyft (SEK)	Tid (h)	Summa Montage (SEK)	Summa Material + Montage (SEK)	
Kolfilter, 8*20m2, filterbäddhöjd 2m										
Lyftpumpar (700 m3/h/pump)	3	st	350 000	5 000	1 050 000	15 000	120	84 000	1 149 000	
Filtermedia, 2 m	320	m3	10 000	300	3 200 000	96 000	192	134 400	3 430 400	
Filterbotten typ Leopold	8	st	135 000		1 080 000		320	224 000	1 304 000	
Installation och ingjutning av filterbotten	8	st					320	224 000	224 000	
Spolpump (600 m3/h/pump)	2	st	350 000	5 000	700 000	10 000	80	56 000	766 000	
Spolvattenrännor	8	st	35 000	2 000	280 000	16 000	320	224 000	520 000	
Ejektör för tömning	8	st	30 000	2 000	240 000	16 000	320	224 000	480 000	
Nivåmätare	8	st	15 000	500	120 000	4 000	64	44 800	168 800	
Flödesmätare	8	st	30 000	500	240 000	4 000	64	44 800	288 800	
Difftrycksmätare	8	st	20 000	500	160 000	4 000	128	89 600	253 600	
Tryckvakt	8	st	10 000	500	80 000	4 000	32	22 400	106 400	
Turb. mätare	8	st	35 000	500	280 000	4 000	64	44 800	328 800	
Bas-enhet (8 givare)	8	st	30 000	500	240 000	4 000	32	22 400	266 400	
Spolavloppspump	2	st								Befintlig
Container uttjänt kol med dränering	1	st	70 000	5 000	70 000	5 000	40	28 000	103 000	
Rör, ventiler	8	st	250 000		2 000 000				2 000 000	
SUMMA 1 - MATERIAL OCH MONTAGE					9 740 000	182 000	2 096	1 467 200	11 400 000	
ENTREPRENÖRSPÅSLAG										
Etablering		1%							114 000	
Drift (bodas, byggel, ställningar, städning)		2%							228 000	
Arbetsledning (Projektledning)		4%							456 000	

Övrigt entreprenörsarvode:		
Försäkringar, bankgaranti	1%	114 000
Montageritningar, konstruktion	6%	684 000
Tester, provning, besiktning	2%	228 000
Relationshandlingar, driftinstruktioner	1%	114 000
Garantier	3%	342 000
Centraladministration, vinst	20%	2 280 000
DELSUMMA ENTREPRENÖRSPÅSLAG	40%	4 600 000
SUMMA-2 INKL. ENTREPRENÖRSPÅSLAG		16 000 000