
RAPPORT

NORDVÄSTRA SKÅNES VATTEN OCH AVLOPP AB

Läkemedelsrening Öresundsverket

UPPDRAGSNUMMER 13008017

UTREDNING OCH FÖRPROJEKTERING LÄKEMEDELSRENING



GRANSKNINGSHANDLING

2019-09-27

SWECO ENVIRONMENT AB
VA-PROCESS SYD

ESBJÖRN ÖHRSTRÖM, NAIMA FORSÅ, ANDERS
KRONVALL, LINUS KARLSSON, FRED JOHANSSON,
JOAKIM NILSSON, CARL DAHLBERG

RAPPORT
2019-09-27
GRANSKNINGSHANDLING
LÄKEMEDELSRENING ÖRESUNDSVERKET

Sammanfattning

Sweco har på uppdrag av Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB (NSVA) genomfört en utredning för ett kompletterande reningssteg på Öresundsverket i Helsingborg för avskiljning av läkemedelsrester från avloppsvattnet. De grundläggande förutsättningarna för uppdraget har varit att förprojektera en anläggning med ozonering och ett efterföljande biologiskt reningssteg. Syftet med förprojekteringen har varit att hitta en lämplig lokalisering och dimensionering av en anläggning, samt ta fram preliminära bygghandlingar och flödesscheman för att kunna kostnadsuppskatta läkemedelsreningen. Kostnadsuppskattningen kommer ligga till grund för ett framtida investeringsbeslut.

För att avskilja läkemedelsrester på Öresundsverket rekommenderar Sweco att ett ozoneringssteg placeras efter befintliga sandfilter. Ozon rekommenderas att produceras från syre som lagras i tankar på Öresundsverkets fastighet. Ozonet tillsätts med diffusorer till avloppsvattnet i två parallella kontakttankar. Det ozonbehandlade vattnet genomgår sedan en biologisk rening för avskiljning av nedbrytningsprodukter i en MBBR för respektive kontakttank. Utgående vatten passerar befintlig provtagare för renat avloppsvatten innan det släpps till recipienten. Dimensioneringen av den föreslagna reningsprocessen presenteras i tabellen nedan. Eftersom det finns relativt lite erfarenhet från etablering och drift av denna typ av rening i Sverige har den föreslagna anläggningen dimensionerats utifrån referensanläggningar i Tyskland och Schweiz.

Processdel	Antal	Volym/Kapacitet	Total Volym/Kapacitet	Enhet
Inloppspumpar	2*2	1	4	m ³ /s
Ozongeneratorer	2	17	34	kg O ₃ /h
Kontakttank	2	500	1000	m ³
MBBR*	2	250	500	m ³

* Föreslagen fyllnadsgrad 30 % med bärare med en specifik yta på 800 m²/m³. En fyllnadsgrad upp till 60 % är möjligt varpå MBBRens kapacitet är flexibel.

Kostnaderna för anläggningen har beräknats till 110 MSEK. Driftskostnaderna per år för anläggningen har uppskattats till 4,2 MSEK med dagens belastning på reningsverket och 5,3 MSEK för den prognostiserade belastningen 2035. Anläggningen förväntas förbruka 1,6 GWh/år med den nuvarande belastningen och 2,1 GWh/år 2035. Syreförbrukningen har beräknats till 1 400 ton/år i dagsläget och 1 900 ton/år 2035.

Under utredningen har flera frågeställningar dykt upp och lösts med en iterativ design-approach. Detta har resulterat i att lokaliseringen har setts över och ändrats ett flertal gånger. Det finns kvarstående frågeställningar som fortfarande inte är helt utredda och dessa behöver hanteras innan en anläggning handlas upp. De viktigaste frågeställningarna som återstår att lösa behandlar risken för bromatbildning vid ozonering, vilken typ av styrning som är mest kostnadseffektiv, och huruvida en efterföljande MBBR-process är tillräcklig för att bryta ner eventuella transformationsprodukter. Då svenska krav och riktlinjer på läkemedelsrening saknas idag går det inte att garantera att den föreslagna anläggningen kommer uppfylla framtida sådana. Det är dock troligt att svenska krav baseras på erfarenheter från Schweiz och Tyskland, såsom denna dimensionering.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
1.1	Arbetsgång och milstolpar	9
1.2	Krav- och målbild	9
2.	Underlag och dimensionerande förutsättningar	10
2.1	Anläggningsbeskrivning	10
2.2	Layout befintlig anläggning	11
2.3	Flödesschema	12
2.4	Geoteknik	12
2.5	Hydraulik	12
2.6	El	12
2.7	Automation och styrning	12
2.8	Dimensionerande förutsättningar	13
2.8.1	Flöde	13
2.8.2	DOC-halter och nitrit	13
2.8.3	Suspenderat material	14
2.8.4	Bromid	16
2.8.5	Krom	17
2.9	Övrigt	18
3.	Processbeskrivning och dimensionering	19
3.1	Ozonproduktion och kontakttank	19
3.1.1	Referenser	20
3.1.2	Styrning	21
3.2	Biologisk efterbehandling	22
3.2.1	Dimensionering	22
3.2.2	Osäkerheter	23
3.3	Årsflöde som genomgår läkemedelsrening	23
3.4	Provtagning	25
4.	Flödesschema och hydraulik	27
4.1	Anslutning till befintlig verksamhet	27
4.2	Hydraulik	27
5.	Maskinutformning	27
5.1	Tillkommande bassänger	27
5.2	Syrgaslagring	27

5.2.1	Syrgasbehov	27
5.2.2	Syrgastank	28
5.3	Ozongenerator	28
5.4	Styrning	28
5.4.1	Intagspumpning	28
5.4.2	Ozondosering	28
5.4.3	Anpassning till befintligt styrsystem	29
5.5	Kylning	29
5.6	Ozoninblandning	29
5.7	Kontaktank	30
5.8	Ozondestruktor och syrgashantering	30
5.9	Säkerhetssystem	30
5.10	Provtagningsutrustning	31
5.11	Biologisk efterbehandling	31
5.12	Kemikaliebehov	31
6.	Maskinbyggnad	31
6.1	Beskrivning	31
6.2	Dimensionering	32
6.3	Lokalisering och påverkan på kringliggande infrastruktur	32
6.4	Erforderligt byggnadsarbete	33
6.4.1	Grundläggning och förberedande arbeten	33
6.4.2	Betongarbeten, bottenplatta	33
6.4.3	Betongarbeten, bassäng och rörkällare	33
6.4.4	Betongarbeten, bjälklag över källare och bassänger	33
6.4.5	Betongarbeten, bjälklag över mellanplan	33
6.4.6	Byggnation av väggar och tak, övre plan	33
6.4.7	Stomkomplettering	34
7.	EI	34
7.1	Behov och anslutning	34
7.2	Installation	35
8.	Risakanalys	35
9.	Sammanställning kostnadskalkyl	35
9.1	Investeringskostnader	35
9.2	Driftkostnader	36
10.	Vidare utredningsfrågor	37
10.1	Vidare provtagning	37
10.2	Framtida fosforkrav	38

10.3	Ozondosering vid höga flöden	38
10.4	CFD-modellering	38
11.	Slutsats	38
12.	Referenser	38

Bilagor

Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Öresundsverket (2019-09-27)

Bilaga 2: Flödesschema – Läkemedelsrening Öresundsverket (2019-09-27)

Bilaga 3: Motor- och apparatlista - Läkemedelsrening Öresundsverket (2019-09-27)

Bilaga 4: Layoutritning – Öresundsverket (2019-09-27)

Bilaga 5: Resultat riskworkshop Öresundsverket och Lundåkra reningsverk (2019-09-27)

Förkortningar

ARV	Avloppsreningsverk
ATEX	ATMosphères EXplosibles, används som benämning på EUs regelverk för explosiv miljö
BOD ₇	Biological Oxygen Demand – ett mått på hur mängden biologiskt nedbrytbart organiskt material.
CIP	Clean In Place, refererar till en portabel utrustning för rengöring
DOC	Dissolved Organic Carbon
EBCT	Empty Bed Contact Time
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
NSVA	Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB
pe	Personekvivalenter, ett mått på hur ett reningsverk belastas
SS	Suspenderad substans

1. Inledning

Sweco har fått i uppdrag av NSVA att genomföra en utredning och förprojektering av läkemedelsrening på Öresundsverket i Helsingborg. I uppdraget ingår dimensionering av ett ozoneringssteg med efterföljande biologisk behandling. Syftet med utredningen är att ta fram en kostnadsbedömning för ett framtida investeringsbeslut för föreslagen läkemedelsrening.

I denna rapport ingår ett förslag på läkemedelsrening på Öresundsverket och den levereras tillsammans med bilagor innehållande en beskrivning av funktionen, ett flödesschema, en komponentlista, layoutritningar och en riskmatris. Dessa dokument syftar till att ge läsaren en god förståelse för hur de olika komponenterna fungerar tillsammans samt ge underlag till kostnadsbedömningen. Rapporten redovisar förutsättningarna för läkemedelsrening på Öresundsverket samt ger den bakgrundsinformation som ligger till grund för teknikval och vidare utredningsfrågor.

Rapporten syftar även till att presentera arbetsgången under förprojekteringen så att teknikalternativ som har valts bort under utredningen inte behöver utredas på nytt i framtiden.

1.1 Arbetsgång och milstolpar

- Projektstart: Förutsättningarna klarläggs att Sweco ska utreda och dimensionera en anläggning med ozonering och efterföljande biologisk behandling.
- Sweco bedömer att sandfiltrens kapacitet ligger i linje med anläggningar som har byggts i Tyskland och Schweiz. Denna bedömning görs utifrån vattnets uppehållstid i sandfiltren. Ozoneringen föreslås då placeras mellan slutsedimenteringen och sandfiltren, med sandfilter som biologisk efterbehandling.
- Sweco gör en bedömning av slamhalterna ut från mellansedimenteringen. Dessa är relativt höga vilket kan resultera i en högre ozonförbrukning och därmed högre driftkostnader. För att inte riskera detta väljer Sweco tillsammans med NSVA att istället placera ozoneringen efter sandfiltren. Som biologisk efterbehandling föreslås då istället en MBBR.
- Sweco färdigställer förprojekteringen med ozoneringen placerad efter sandfiltren.

1.2 Krav- och målbild

Det finns i dagsläget inga krav på rening av läkemedelsrester i kommunala avloppsreningsverk i Sverige men Naturvårdsverket har identifierat ett behov av läkemedelsrening för att minska belastningen på känsliga recipienter (Naturvårdsverket, 2017). För att öka kunskapen om hur läkemedelsrening kan implementeras i svenska förhållanden har regeringen därför fördelat pengar till förstudier och investeringar för avancerad rening.

Eftersom det inte finns några krav i svensk lagstiftning har dimensioneringen och funktionsbeskrivningen i detta projekt utgått från tyska och schweiziska erfarenheter där läkemedelsrening har byggts ut på flera kommunala avloppsreningsverk. I Schweiz finns lagstiftning som ställer krav på minst 80 % avskiljning av läkemedelsrester och mikroförroreningar på vissa verk. I

Tyskland finns ingen lagstiftning men regionala rekommendationer är 80 % avskiljning. Uppföljning görs på vissa utvalda indikatorsubstanser (Cimbritz m fl, 2016).

Även om erfarenheterna från läkemedelsrening är större i Tyskland och Schweiz än i Sverige finns det fortfarande många osäkerheter kring teknikval, dimensionering och drift för att uppnå en viss reningseffekt. Att definiera en reningseffekt är också komplicerat eftersom en del reningstekniker inte avskiljer läkemedelsrester utan transformerar dem till okända substanser med okända effekter på människa och miljö. Transformationssubstanser är just nu ett högaktuellt forskningsfält vilket kan resultera i mer underbyggda riktlinjer på hur dessa kan avskiljas och reningen ska utvärderas. I dagsläget är det dock osäkert hur ambitiösa svenska krav kommer bli och hur uppföljningen av reningsverkens effektivitet kommer genomföras.

2. Underlag och dimensionerande förutsättningar

2.1 Anläggningsbeskrivning befintligt

Öresundsverket ligger bredvid Helsingborgs hamn ca 1,5 km från stadens centrum. Verket tar emot spillvatten från ungefär 138 000 personer och ett antal industrier. Belastningen på verket var under 2018 212 000 pe¹ och det totala inkommande årsflödet var strax under 19 miljoner m³.

Öresundsverket är uppbyggt med ett mekaniskt, ett biologiskt, och ett kemiskt reningssteg. Det biologiska steget avskiljer utöver organiskt material och kväve även fosfor genom en så kallad Bio-P-process. Det biologiska steget följs av en slutsedimentering och sandfilter innan vattnet leds ut i Öresund. Kemsteget består av fällning på sandfiltren, vilket i dagsläget inte brukas. Ett översiktligt flödesschema för Öresundsverket presenteras i Figur 2.

För att undvika slamflykt från slutsedimenteringen begränsas flödet in till det biologiska reningssteget vid höga flöden. Vid dessa tillfällen leds en del av det inkommande avloppsvattnet in till ett utjämningsmagasin efter att det har behandlats i det mekaniska reningssteget. Järnklorid tillsätts automatiskt till vattnet som går till utjämningsmagasinet. När verket åter har kapacitet leds vattnet tillbaka till det biologiska reningssteget.

I dagsläget är den biologiska fosforavskiljningen så pass effektiv att fosforrening med fällningskemikalier i regel inte tillämpas för att uppnå utgående fosforvillkor.

Under 2017 bräddades 28 829 m³, motsvarande 0,14 % av inflödet, på verket och 67 160 m³ på ledningsnätet. Motsvarande siffror för bräddning på verket 2018 var 6 667 m³, motsvarande 0,0035 % av årsinflödet. På ledningsnätet bräddades 5 636 m³ 2018.

Tabell 2 presenteras dimensionering och belastning av relevanta reningssteg. I avsnitt 3.3 presenteras prognostiserade framtida flöden och hur dessa kan påverka den föreslagna läkemedelsreningen.

¹ Räknat på 70 g BOD₇/dag per pe. Denna belastning är dock ett resultat från icke-representativ provtagning och den verkliga belastningen ligger på runt 170 000 pe.

Tabell 1. Dimensionering och inkommande belastning på Öresundsverket. Uppgifter kommer från Öresundsverkets årliga miljörapporter.

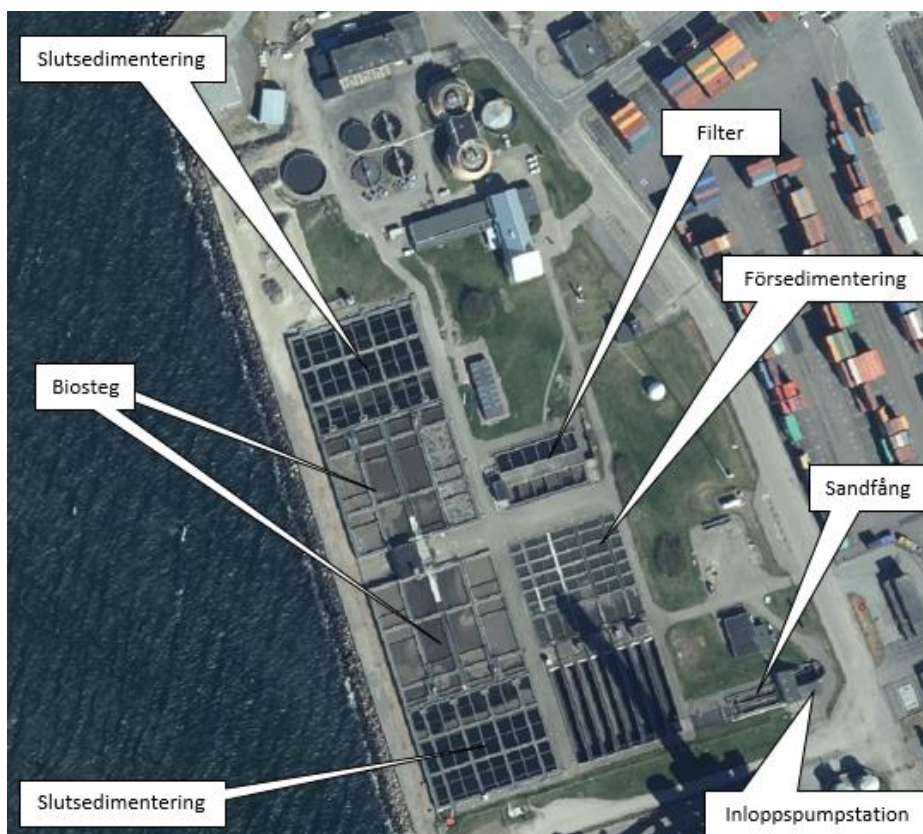
	Värde	Enhet	Utfall 2018	Utfall 2017	Utfall 2016
Inkommande belastning, medeldygn	-	pe	211 944	195 432	151 143
Dimensionerande belastning medelvardagar, maxmånad	15	ton BOD ₇ /dag			
Dimensionerande medelflöde	67 000	m ³ /dygn	51 745	54 209	51 760

Tabell 2. Utformning och dimensionering av relevanta reningssteg på Öresundsverket.

Utformning reningssteg	Värde	Enhet	Ytbelastning Q _{max} *	Enhet
Biologisk rening, Q _{max}	4 500	m ³ /h	-	-
Totalyta biosedimentering	4 680	m ²	1,0	m/h

2.2 Layout befintlig anläggning

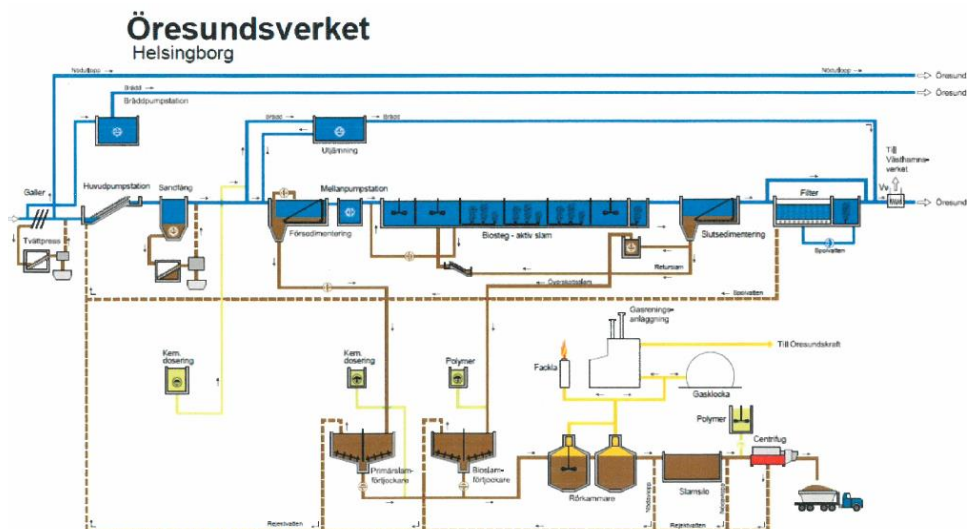
Översiktlig visualisering av befintlig layout syns i Figur 1.



Figur 1. Layout över befintlig verksamhet på Öresundsverket.

2.3 Flödesschema

I Figur 2 visas ett översiktligt flödesschema för Öresundsverket.



Figur 2. Flödesschema för Öresundsverket.

2.4 Geoteknik

Pålning bedöms behövas för nya anläggningsdelar enligt befintlig geoteknisk undersökning *Övertäckning av Öresundsverket – PM Geoteknik, projekteringsunderlag NSVA* daterad 2016-11-21.

2.5 Hydraulik

Detta avsnitt behandlar hydrauliken i anslutning till befintliga sandfilter. Vattennivån är ca +4,5 i filtren enligt uppgifter från befintliga ritningar. Med ett antaget maximalt tryckfall på 2 mvp över filtren, blir nivån efter filter ca +2,5.

Nivån efter filter beror delvis på nivån i Öresund och på flödet.

2.6 EI

Öresundsverket har idag en abonnentstation för högspänning och köper sin elkraft på 11kV nivå av nätägaren Öresundskraft. Stationen är belägen alldeles till vänster om entrén till huvudbyggnaden. I anläggningen finns installerat reservkraft till en effekt av 1 600 kVA (3x 800 kVA, 2+1 redundans). Ställverket är typ Unigear, fabrikat ABB och har efter inkommande och mätning 4 utgående fack (A skena), varav ett matar en sektionering till ytterligare 5 st utgående fack (B skena), anslutna till reservkraft. Reservkraften försörjer hela verket via en step-up transformator till ett fack i B skenan. Det finns reservfack i båda skenorna, bestyckade med reläskydd för transformatorinkoppling.

2.7 Automation och styrning

Öresundsverket har idag ett SCADA system, Cactus Eye för processen.

Online-mätare finns på verket som övervakar slam- och fosfathalter samt temperatur och pH efter respektive slutsedimenteringslinje (en linje från sedimentationsbassäng 1 och 2, samt en linje från bassäng 3 och 4). Då det rekommenderas att läkemedelsreningen placeras efter befintliga sandfilter kommer ingen av dessa mätare ge relevant information för styrning av reningssteget.

I anslutning till respektive sandfilter sitter befintliga flödesmätare. Dessa kan eventuellt användas för styrning av ozoneringsanläggningen. Om de inte är i skick att användas kan eventuellt flödesmätarna som mäter flödet in till försedimenteringen användas för att ge ett börvärde till läkemedelsreningen. Denna flödesmätare benämns: HE-RV1-F9001-B.

2.8 Dimensionerande förutsättningar

Detta kapitel innehåller de förutsättningar som finns på Öresundsverket samt förslag på ytterligare informationsinhämtning för att underlätta en framtida detaljprojektering.

2.8.1 Flöde

Ozonbehandlingen var ursprungligen tänkt att placeras mellan befintlig slutsedimentering och befintliga sandfilter. Efter en noggrannare granskning av förutsättningarna kom Sweco underfund med att slamhalterna efter slutsedimenteringen är höga på Öresundsverket. NSVA och Sweco beslutade därför gemensamt att förlägga ozoneringssteget efter sandfiltren. Det ursprungliga dimensionerande flödet sattes utifrån det största flöde som slutsedimenteringen kan hantera utan att slamflykt sker. Detta är i dagsläget **4 000 m³/h, vilket även har satts till Q_{max} för ozoneringssteget**. Att behandla vatten med höga slamhalter i ett ozoneringssteg är olämpligt då höga slamhalter kan resultera i en högre ozonförbrukning och skumbildning.

Även om förutsättningarna har förändrats då anläggningen har flyttats har det dimensionerande flödet behållits eftersom flödesanalyser visar att en dimensionering av läkemedelsreningen på 4 000 m³/h innebär att en mycket stor andel av årsflödet kommer behandlas, se avsnitt 3.3. Att dimensionera för ett större flöde innebär att marginalkostnaden blir mycket stor för den sista andelen vatten som renas. Även om denna anläggning dimensioneras efter 4 000 m³/h kan den hantera större flöden om ozondosen sänks för att kompensera för den kortare reaktionstiden i kontakttanken. En sådan drift är vanlig på anläggningar i Tyskland och Schweiz där hela huvudströmmen behandlas (Miehe m fl, 2017).

Allt avloppsvatten som behandlas med ozon kommer också behandlas i ett efterföljande biologiskt reningssteg.

2.8.2 DOC-halter och nitrit

Kapaciteten på ozongeneratorn dimensioneras efter halten DOC och nitrit i vattnet som ska behandlas. DOC och nitrit har inte analyserats på Öresundsverket och antas därför motsvara de halter som har uppmätts på Lundåkraverket. Där ligger DOC-halten i utgående vatten från bi-sedimenteringen på runt 9 – 11 mg DOC/l. Halten nitrit på Lundåkraverket är låg, 0,1 - 0,2 mg/l. Dessa siffror kommer från de pilotförsök som har gjorts för ozonbehandling på Lundåkraverket. Utöver dessa analyser har nitrit mätts i utgående vatten på Lundåkraverket. Dessa mätningar visar liknande halter som pilotstudien.

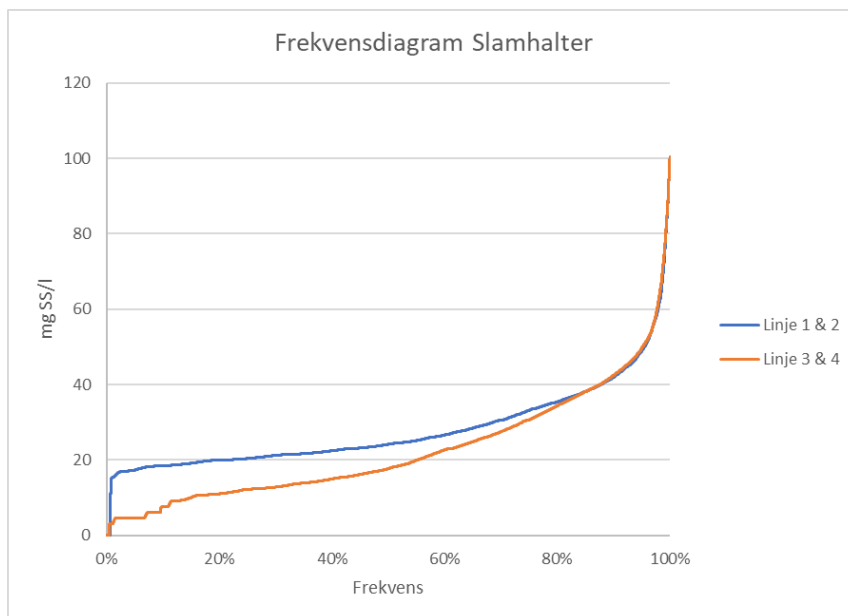
Sweco rekommenderar NSVA att ta dygnsprover en gång per vecka på DOC och nitrit tillsvidare. Dessa analyser kan enkelt kombineras med de dygnsprover som tas veckovis den ordinarie provtagningen. Resultatet från denna provtagning kommer inte påverka lokaliseringen eller utformningen av läkemedelsreningen utan enbart dimensioneringen av ozoneringsutrustningen, styrningen, inblandning och eventuellt kontakttanken. Notera att provtagningen bör ske efter sandfiltren för att resultaten ska bli representativa för den föreslagna lokaliseringen.

2.8.3 Suspenderat material

Suspenderat material har liten påverkan på ozoneringssteget då slamhalten ligger under 10 mg SS/l (Miehe m fl, 2017). Påverkan vid högre slamhalter är osäker. Vid vissa anläggningar har problem med att skumbildning uppstått vid höga slamhalter (Linköping och Zürich), vid andra anläggningar har skumbildning inte uppstått trots höga slamhalter (Aachen). Studier har visat att läkemedelsreducing är mer effektiv då ozoneringssteget förbigås av ett reningssteg som reducerar slamhalten i vattnet. Detta förklaras av att TOC-halten reduceras då slamhalten minskar vilket gör att mer ozon blir tillgängligt för att oxidera läkemedelsrester (Nilsson, 2017). I Linköping förbileds ozoneringssteget då slamhalten i vattnet överstiger 10 mg/l. Huruvida detta är p g a process- eller opphandlingstekniska skäl är dock inte klarlagt.

Utan att göra pilotförsök eller en mer ingående optimering av läkemedelsreningen på Öresundsverket bedömer Sweco att man ska sträva efter att ingående slamhalt till ozoneringssteget ska understiga 10 mg/l. Detta innebär dock inte att vatten med högre slamhalter behöver förbiledas läkemedelsreningen, utan detta kan provas ut under drift av en framtida anläggning.

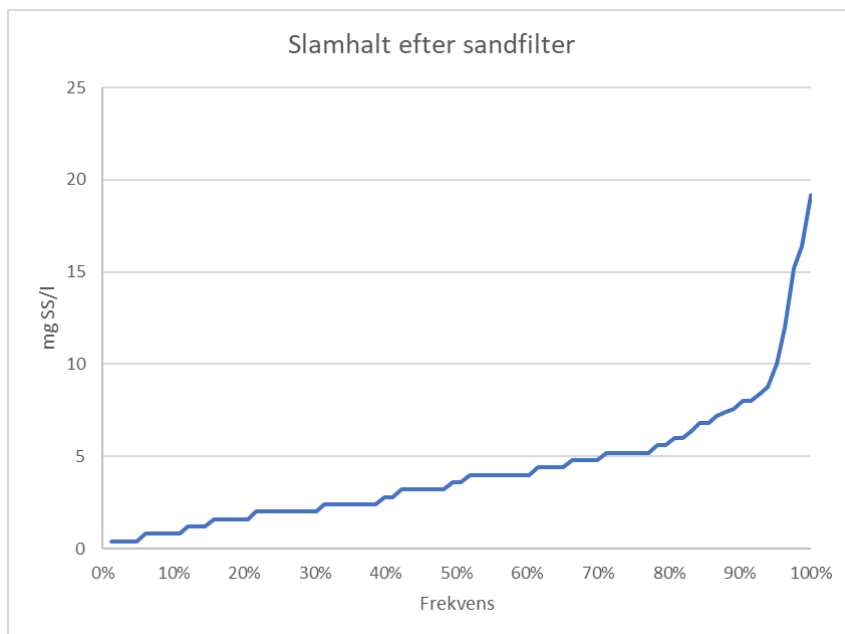
I Figur 3 presenteras ett frekvensdiagram över slamhalterna ut från slutsedimenteringen på Öresundsverket. Dessa värden kommer från två online-mätare placerade efter respektive linje. Dessa mätare mäter slamhalten optiskt. Utifrån Figur 3 har bedömningen gjorts att det är mer lämpligt att placera läkemedelsreningen efter sandfiltren för att inte belasta ozoneringssteget med höga slamhalter. Dock finns det vissa osäkerheter då någon kalibrering av slamhaltsmätningarna inte har gjorts för den aktuella vattenmatrisen.



Figur 3. Ett frekvensdiagram över slamhalterna ut från slutsedimenteringen på Öresundsverket. Värdena har uppmätts 2015 – 2018 av de optiska slamhaltsmätare som finns i efter linje 1 & 2, respektive linje 3 & 4. Värden över 100 mg/l har tagits bort för att ge bättre upplösning i figuren. Dessa värden motsvarar 1,5 % och 2,4 % av alla uppmätta värden för linje 1 & 2, respektive linje 3 & 4.

Sweco rekommenderar därför NSVA att ta prov på slamhalten efter slutsedimenteringen för att bekräfta de höga slamhalterna. Denna information kommer också vara värdefull om sandfiltren behöver användas för kontaktfiltrering, dvs fällning på filtren, för att nå eventuellt hårdare fosforkrav.

På Öresundsverket tas prover på slamhalten efter sandfiltren för internt bruk. Ett frekvensdiagram som visar resultatet från denna provtagning presenteras i Figur 4. Figuren visar att slamhalten ligger under de rekommenderade 10 mg SS/l i ca 95 % av provtagningstillfällena.



Figur 4. Frekvensdiagram som visar slamhalten efter sandfiltren. Data kommer från i regel veckovis provtagning under 2017 – 2018.

2.8.4 Bromid

Bromid kan reagera med ozon och bilda bromat vilket är cancerframkallande. Om bromid förekommer i höga koncentrationer i avloppsvattnet ska ozondosen anpassas för att minska uppkomsten av bromat. Bromid i avloppsvatten härstammar vanligtvis från kemiska industrier, avfallsförbränningsanläggningar med rökgasrening, eller från deponier. I Sverige har inte bromidhalter i avloppsvattnen undersökts i stor skala vilket har gjorts i Schweiz. Där fann man att bromidkoncentrationen varierade mellan under 0,01 till över 10 mg Br/l. Bromidkoncentrationen låg dock under 0,1 mg/l i avloppsvattnet på mer än tre fjärdedelar av de undersökta anläggningarna (Miehe m fl, 2017).

Kompetenscentret för mikroföroreningar i Nordrhein-Westfalen (KOM-M NRW) riskbedömer ingående bromidkoncentration enligt nedan kriterier:

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

Hur höga halter av bromat som kan tolereras i utgående vatten är inte fastställt och borde rimligen bero på recipientens känslighet. Den generella gränsen för bromat i dricksvatten är 10 µg/l. Det ekotoxikologiska centret i Schweiz (Das Oekotoxzentrum der Schweiz) har definierat ett

kroniskt kvalitetskriterie i akvatiska miljöer på 50 µg/l (KOM-M NRW, 2016). Detta värde kan jämföras med en välciterad studie av Hutchinson (1997) där de föreslår att akvatiska organismer inte ska utsättas för högre halter än 3 mg/l under långtidsexponering för att undvika kroniska skador. Denna studie baseras dock på en extrapolering från uppmätta akuta toxicitetsvärden.

Halten bromid i utgående vatten från Öresundsverket hade i juni 2019 mätts vid 6 tillfällen med veckosamlingsprov. Medelhalten var under dessa mättillfällen 0,38 mg/l. Den lägsta uppmätta halten var 0,26 mg/l och den högsta halten var 0,48 mg/l. Dessa halter ligger över den nivå då KOM-M NRW rekommenderar att en bedömning av bromatbildningen för den aktuella vattenmatrisen genomförs.

Sweco rekommenderar NSVA att göra ett dos-respons-test på bromatbildning vid olika ozondoser. Ett sådant test är obligatoriskt i Schweiz innan en ozoneringsanläggningen byggs och kan ge en bättre förståelse för hur bromatbildning kan undvikas². Envilab i Schweiz genomför dos-respons-test på bromatbildning enligt följande procedur:

- Vattnet karakteriseras
- Ozon tillsätts i doser från 0,2 - 1,2 mg O₃/mg DOC
- Bromid och bromat analyseras på vattenprover före och efter ozondosering

Denna analys kostar ungefär 1 800 Euro. Om två test görs blir kostnaden rabatterad. För testet behövs 2 l vatten. Envilab rekommenderar att testet genomförs på samlingsprov från fem dagar och provet skickas express med en internationell kurir för att inte fastna i tullen. Då Envilab har genomfört ett stort antal ozontester för schweiziska och tyska reningsverk, kan de också bidra med värdefull info huruvida värdena som erhålls är avvikande. Provet filtreras (0,7 µm) normalt innan dos-respons-testet genomförs. Detta innebär att en del ozonförbrukande ämnen kommer avskiljas och testet blir därför ett värsta scenario för bromatbildning. Den verkliga bromatbildningen på reningsverket kan antas vara lägre än testet visar. Testet kan även genomföras utan filtrering och då kommer slamhalten i vattnet påverka och minska bromatbildningen, vilket mer liknar de verkliga förhållandena. Om testet genomförs utan filtrering blir det dock svårare jämföra värdena med de värden som har uppmätts under projekteringen av ozoneringssteg i Tyskland och Schweiz.

Mer information om Envilab kan hittas på hemsidan: <https://envilab.ch/fr/>.

2.8.5 Krom

Även krom kan vara ett problem då ozon kan oxidera 3-värdigt krom till 6-värdigt. Krom (VI+) är potentiellt cancerframkallande och den Schweiziska branchorganisationen för vatten och avlopp har tagit fram rekommendationer vilka halter krom i avloppsvattnet som kan accepteras vid ozonering. Koncentrationerna som anges är totalhalten krom.

- Kromkoncentration <1 µg/l: inget problem med ozonering

² Källa: Mailkonversation med Johanna Otto, Envilab AG, 2019-06-03.

- Kromkoncentration >1 $\mu\text{g/l}$: Oklara effekter av ozonering. Övervakningen av recipienten kan behövas.
- Kromkoncentration $\gg 1$ $\mu\text{g/l}$: Oroväckande halter. Försiktighet ska iakttas och övervakning av recipienten kan behövas.

Sweco rekommenderar NSVA att provta krom i samband med att provtagningen för bromid görs. Då ska totalhalten krom analyseras.

2.9 Övrigt

Ingen syreproduktion kommer att ske på plats utan ozongeneratoren kommer försörjas med syre från en syrgastank som fylls på av extern aktör. Denna hantering av syrgasförsörjning är den absolut vanligaste eftersom extern syrgasproduktion är billigare än att producera syret på plats, förutom i vissa undantagsfall då avståndet till en syrgasleverantör är stort (Miehe, 2017).

Läkemedelsreningen på Öresundsverket dimensioneras för två parallella ozonbehandlingslinjer med var sin kontakttank. Sweco har som grundregel att dela upp läkemedelsreningen i två linjer vid avloppsreningsverk som är större än 80 000 pe.

Läkemedelsreningen utformas med biologisk rening efter ozonbehandlingen för att minska risken för att potentiellt skadliga transformationsprodukter når recipienten.

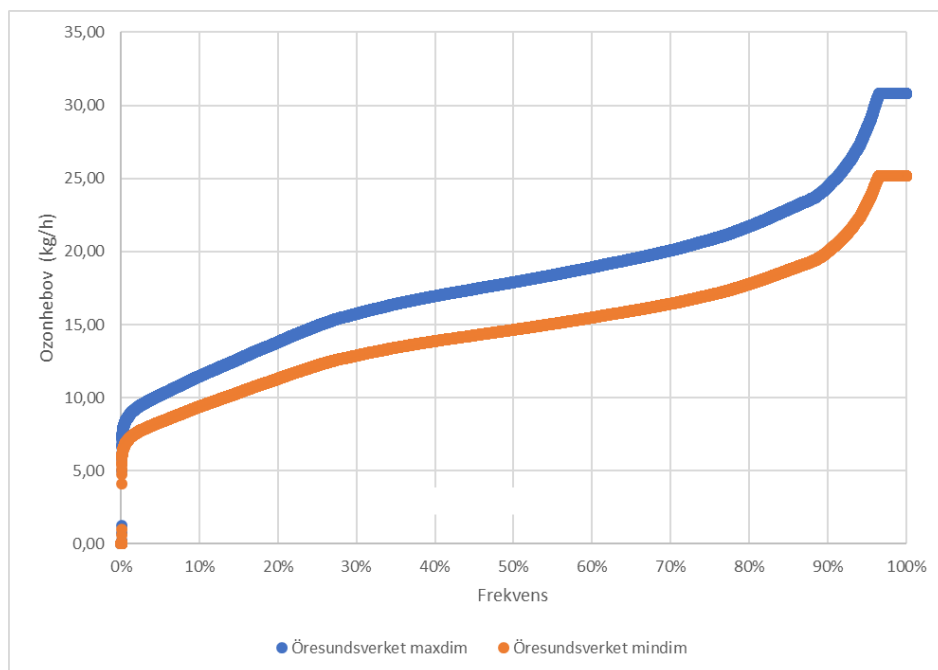
3. Processbeskrivning och dimensionering

3.1 Ozonproduktion och kontakttank

Ozonbehovet dimensioneras utifrån uppskattad halt av DOC och nitrit i utgående vatten från sandfiltren. Lab-tester och erfarenheter från andra verk visar att ozondosen bör vara runt 0,6 – 1,1 mg O₃/mg DOC (Baresel m fl, 2017; Miehe m fl, 2017; Nilsson, 2017). Dimensioneringen av läkemedelsreningen på Öresundsverket föreslås ske utifrån en ozondosering på 0,7 mg O₃/mg DOC och en uppehållstid i kontakttanken på minst 15 minuter vid Q_{max}.

Observera att styrningen inte föreslås ske på ingående DOC-halter utan på flöde. Se 3.1.2 för vidare diskussion och information om olika styrningsalternativ.

Ovan föreslagna dimensionering ger ett ozonbehov på 25 – 31 kg O₃/h vid Q_{max} och en medelkonsumtion på 15 – 18 kg O₃/h. Detta är mängden ozon som behöver produceras av ozongeneratorerna. Den totala årskonsumtionen blir då runt 145 ton ozon. Ett frekvensdiagram över beräknad ozondosering ses i Figur 1.



Figur 1. Frekvensdiagram över uppskattad ozondosering på Öresundsverket.

För ozoneringen på Öresundsverket föreslås två linjer med en kontakttank i respektive linje. Volymen för respektive kontakttank har beräknats till 500 m³, motsvarande 15 minuters kontakttid vid Q_{max}. Tankens utformning görs för att maximera ozoninblandningen och få ett så jämnt flöde över tankens tvärsnitt som möjligt. Detta innebär att ett flertal vertikala bafflar kommer alternera flödesriktningen i tanken.

3.1.1 Referenser

Kontakttanken bör dimensioneras för en uppehållstid på 5 - 20 minuter. Den lägre uppehållstiden i detta intervall gäller för verk som har stor påverkan av tillskottsvatten och som tar in en stor del av årsinflödet till läkemedelsreningen. Den högre uppehållstiden gäller för max torrvädersflöde (Mulder m fl, 2015; Miehe m fl, 2017). Då Öresundsverket till viss del försörjs av kombinerade system, men också flödesutjämnar de värsta topparna, sätts kontakttiden för verket till 15 minuter vid Q_{max} . Denna dimensionering kan vara i överkant och mindre kontakttankar kan möjligtvis väljas under en detaljprojektering om nedbrytningstest för ozon görs för den aktuella vattenmatrisen. Reaktionstiden för ozon varierar nämligen med vattenmatrisen och är därför unik på varje reningsverk. Högre ozondos förlänger reaktionstiden för ozonet medan högre temperaturer samt ett högre pH reducerar den nödvändiga kontakttiden på grund av snabbare reaktioner mellan ozonet och det organiska materialet (Stapf & Miehe, 2019).

Kontakttanken utformas i regel med bafflar och ozondosering kan då delas upp i olika kammare (Miehe m fl, 2017). I Tabell 3 presenteras ett par anläggningar där den befintliga reningsprocessen har kompletterats med ett ozoneringssteg. Data kommer från Miehe m fl (2017). I tabellen presenteras dimensionerande flöde, ozondos, uppehållstid i kontakttank, typ av ozondosering, styrning av ozonproduktionen, samt teknik för efterbehandling.

Tabell 3. Tyska och schweiziska referensanläggningar. Fler anläggningar är beskrivna i Miehe m fl (2017).

Namn	Ozondos (mg O_3 /mg DOC)	Max torrväders- flöde/Max regnvä- dersflöde (m^3/h)*	HRT Kon- takttank (min) / typ	Dosering**	Styrning***	Efterbehandling
Achen So- ers	0,5 - 0,7	6 480 / 10 757	12 – 30 min / seriekopplade CSTR-tankar	D	Q-prop	MBBR + Sandfil- ter
Schloß Holte-Stuk- enbrock	0,7	-	30 min / tank med bafflar	D	SAC-prop / DOC-prop	Polerdamm
Espelkamp	0,4 - 0,6	-	- / -	-	SAC-prop	Polerdamm
Warburg	0,7	662 / 1 648	> 20 min / tank med bafflar	D	Q-prop	MBBR
Lemgo	0,3 - 0,8	-	> 19 min / tank med bafflar	I	Q-prop / SAC-prop	Sandfilter
Werdhölzli, Zürich	0,7 - 0,9	-	>12 min (26 min medel- flöde) / tank med bafflar	I	SAC-?	Sandfilter

* Gäller den tyska definitionen av maxflöde. De olika verken är dimensionerade för att hantera olika mycket av årsflödet. I regel dimensioneras verk som har mycket tillskottsvatten för att hantera en mindre del av årsinflödet än verk som förses med enbart separerade ledningsnät. Flera av de kontakttankar som presenteras i tabellen tar in en mindre del av årsflödet än vad som är beräknat för Lundåkra och Öresundsverket. Då kan också tanken dimensioneras för en längre uppehållstid vid maxflöden utan att volymen drar iväg i storlek.

** D - Diffusorer, I - Injektorer

*** SAC ger en uppskattning av halten organiskt material genom absorption av ljus med en våglängd på 254 nm. Det finns även andra typer av styrning som testas på olika anläggningar.

3.1.2 Styrning

I detta projekteringskede har den enklaste styrningen föreslagits, nämligen att ozonproduktionen styrs flödesproportionerligt utifrån en satt ozondos. Denna styrning har varit standard på små verk under 100 000 pe med små variationer i DOC, men förekommer också på större verk med som tar emot avloppsvatten från många hundra tusen personer. Ett exempel är reningsverket i Neugut som tar emot avloppsvatten från 150 000 pe. På detta reningsverk jämfördes en mer avancerad styrning med en flödesproportionerlig styrning med slutsatsen att även om den mer sofistikerade styrningen reducerade ozonkonsumtionen så resulterade den i högre kostnader för utrustning och underhåll (Miehe m fl, 2017). Sweco har inte varit i kontakt med reningsverket i Neugut för att få tillgång till denna kostnadsanalys.

För att undvika att ozon följer med vattnet ut ur kontakttanken bör dock ytterligare reglering implementeras (Miehe m fl, 2017). I detta fall föreslås att ozonhalten i off-gasen, den gas som finns kvar då ozonet har reagerat med avloppsvattnet, övervakas och används som vakt för att minska ozonproduktionen om allt ozon inte hinner reagera i kontakttanken.

Det finns mer avancerade sätt att styra en ozoneringsanläggning som tar hänsyn till halten organiskt material i ingående avloppsvatten. En mer avancerad styrning kan reducera driftkostnaderna om halten av organiskt material varierar mycket i vattnet (variationen av organiskt material bedöms av NSVA utifrån analyser på DOC som rekommenderats av SWECO i denna rapport). Dock kräver en mer avancerad styrning högre investeringskostnader och framförallt högre driftskostnader i form av underhåll och tillsyn av mätare (Miehe m fl, 2017). Nedan är de vanligaste metoderna för att styra en ozoneringsanläggning presenterade. Notera att det händer mycket inom detta område och därför kan information som presenteras nedan vara inaktuell vid ett framtida byggskede. Vid en framtida projektering bör valet av styrning ses över tillsammans med expertis från Tyskland och Schweiz med erfarenhet av driftsättning av nya anläggningar.

DOC-proportionell styrning:

Ozonproduktionen styrs i detta fall utifrån en DOC-proportionerlig ozondos. DOC mäts i ingående vatten till ozoneringssteget. Det finns flera mätare som med olika mätprinciper återger DOC-halten i vatten. De vanligaste är:

Mätning med DOC-analysator. I denna typ av mätare tas en liten mängd provvatten ut från huvudströmmen och filtreras. Organiskt material oxideras i provvattnet med någon form av oxidationsmedel eller via förbränning med eller utan katalysator. Mängden bildad koldioxid mäts

sedan med en infraröd detektor. Denna typ av mätare kräver kontinuerligt underhåll och resultaten är relativt osäkra (Miehe, m fl, 2017).

DOC-halten kan också mätas optiskt då organiska molekyler absorberar ljus. Relationen mellan absorption och DOC beror dock på den aktuella vattenmatrisen och behöver därför kalibreras med platsspecifika lab-analyser. Optiska mätningar av DOC-halten kan också göras med enbart våglängden 254 nm men en nackdel med denna mätprincip är att påverkan av partiklar blir större än om fler våglängder används. UV₂₅₄ är dock en någorlunda robust metod som kräver relativt lite underhåll även om kontinuerlig kvalitetssäkring samt rengöring av utrustningen är nödvändigt. Optisk onlinemätning av DOC kräver att vattenmatrisen håller sig relativt konstant vad gäller förhållandet mellan organiskt material och absorbans.

Styrning med nitritmätning

Om nitrithalten varierar i ingående vatten till ozoneringssteget bör även en nitritmätare installeras som möjliggör att ozondosen kan justeras då ozon förbrukas när nitrit oxideras till nitrat.

Styrning på ΔUV_{254} -absorption

Med denna typ av reglering mäts absorbansen före och efter ozonbehandlingen, alternativt före ozoneringen och efter den biologiska efterbehandlingen. Denna typ av styrning har enbart används för att reglera ozondosen utifrån en annan bakgrundsstyrning. Ozondosen anpassas för att ge en konstant reduktion av UV₂₅₄-absorption. Kvarvarande ozon kan dock påverka absorbansmätningen efter kontakttanken och öka absorbansen. UV₂₅₄-sonden efter ozoneringen är också mycket känslig för påväxt av biofilm då ozoneringen skapar lättnedbrytbara organiska föreningar. Denna typ av styrning är inte lika väl testad som de ovan beskrivna metoderna, även om tester har visat bra resultat, förutsatt att intensivt underhåll av sondaerna sker (Miehe m fl, 2017).

3.2 Biologisk efterbehandling

Det ozonbehandlade avloppsvattnet leds till en MBBR där det sker en biologisk behandling för att avskilja eventuella nedbrytningsprodukter. Se avsnitt 1.2 för en beskrivning av arbetsgången som ledde fram till valet av efterbehandling.

3.2.1 Dimensionering

Den vetenskapliga grunden för hur ett efterbehandlingssteg ska dimensioneras är svag och ett aktuellt forskningsområde. Vanligtvis används därför befintlig infrastruktur såsom sandfilter, poleringsdamm, eller MBBR för efterdenitrifikation (Baresel m fl, 2017). En MBBR är billigare att bygga än ett sandfilter och föreslås därför i detta fall då ozoneringsanläggningen i detta projekteringskede har föreslagits att placeras efter befintliga sandfilter. Dimensioneringen av MBBRen i detta projekt har baserats på liknande anläggningar i framförallt Tyskland. I dessa fall har uppehållstiden i MBBRen satts till hälften av uppehållstiden i kontakttanken, fördelat på två parallella enheter.

Referensanläggningar finns i Warburg och Duisberg-Vierlinden. Värt att notera är att den hydrauliska uppehållstiden vid Q_{max} i dessa anläggningar är något längre än uppehållstiden vid $Q_{max,ozonering}$ på Öresundsverket. Dessa anläggningar är dock dimensionerade för att ta in en

något mindre andel av maxflödet på reningsverket. Då anläggningen på Öresundsverket har dimensionerats för att ta en större andel av årsflödet blir uppehållstiden något lägre vid Q_{max} .

3.2.2 Osäkerheter

Sweco har dimensionerat det biologiska reningssteget utifrån erfarenheter och de verk som har byggts i Tyskland och Schweiz. Om krav kommer på en mer ambitiös efterbehandling kan reningen kompletteras med ett kolfilter. Ett kolfilter drar dock upp framförallt driftskostnader eftersom kolet måste bytas ut eller regenereras med jämna mellanrum för att behålla sin adsorptiva förmåga.

Ett kolfilter bör placeras sist i reningskedjan och möjligheten att ett sådant reningssteg kan krävas i framtida lagstiftning bör tas i beaktning vid lokalisering av läkemedelsreningen.

3.3 Årsflöde som genomgår läkemedelsrening

Ett frekvensdiagram över inkommande flöde till Öresundsverket presenteras i Figur 4. I figuren visas också det prognostiserade inkommande flödet år 2035. Inkommande flödet motsvarar summan av inkommande till försedimenteringen, bräddat vatten, flöde till utjämningsmagasinet minus rejektvattenflödet. Den framtida flödesprognosen har baserats på den prognostiserade befolkningsökningen i Helsingborgs kommun vilken presenteras i Tabell 4 där också befolkningen 2015 - 2018 är presenterade. Observera att industribelastningen antas följa befolkningsökningen i denna analys.

Tabell 4. Befolkningsprognos baserat på underlag från Helsingborgs stad.

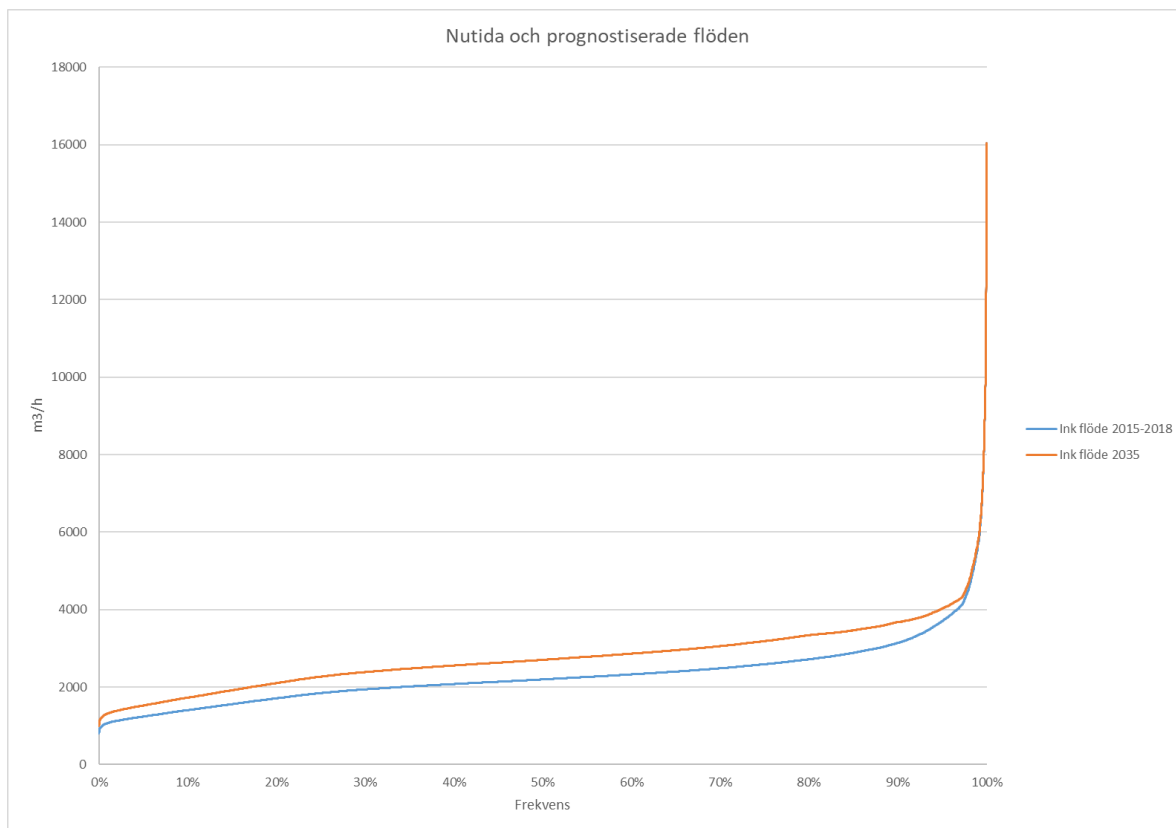
	Befolkning i Helsingborgs kommun
2015	137 909
2016	140 547
2017	143 304
2018	145 302
2035	174 390

Källa: Karlin (2018).

Följande antaganden har gjorts i framtagandet av flödesprognosen:

- Torrvädersflödet förväntas öka linjärt med befolkningstillväxten i kommunen. Detta innebär att torrvädersflödena år 2035 är 23 % större än under perioden 2015 – 2018;
- Maxflöden in till Öresundsverket förväntas inte öka år 2035 jämfört med 2015 – 2018. Detta antagande har gjorts då nya bostadsområden som kopplas på reningsverket har separerade system för spill- och dagvatten. Det ökade basflödet som dessa anslutningar genererar kompenseras av att fler dagvattenanslutningar kopplas bort från spillvattennätet. **Observera att detta antagande är relativt osäkert och bör bekräftas av NSVA då de har bäst information om framtida anslutningar och bortkopplingar.**
- I enlighet med ovan antagande har den framtida flödesprognosen gjorts genom att öka alla flöden under 80-percentilen med 23 %. Detta innebär att om 30-percentilen tidigare var 1 000 m³/h bedöms den bli 1 230 m³/h 2035. För flöden mellan 80- och 100-

percentilen har ökningen succesivt minskats till att bli noll procent för flödena vid 100-percentilen, dvs maxflödet.



Figur 4. Frekvensdiagram över uppmätta flöden in till Öresundsverket 2015 - 2018. I figuren ses också det prognostiserade flödet för 2035.

Vid riktigt stora flöden bräddar Öresundsverket vatten efter rens gallren. Om flödet är större än 4 000 m³/h (beroende på vad slutsedimenteringen klarar av) leds överstigande del in till ett utjämningsmagasin på 8 000 m³. När detta är fyllt leds vattnet ut i Öresund. Det lagrade avloppsvattnet leds tillbaka då det återigen finns kapacitet i det biologiska reningssteget.

För att bedöma hur mycket av vattnet som kommer renas i läkemedelsreningen har Sweco satt upp en enkel konceptuell modell för hur mycket vatten som leds till utjämningsmagasinet och sen vidare ut i Öresund. I denna modell finns följande antagande:

- Volymen vatten som bräddas före gallren på Öresundsverket är marginell och förväntas inte öka i framtiden.
- Avloppsvatten leds till utjämningsmagasinet då inkommande flöde plus rejektvattenflödet överstiger 4 000 m³/h. Detta antagande har använts i modellen för att bedöma hur mycket vatten som kommer gå till utjämningsmagasinet i framtiden. För att testa antagande applicerades det på historiska data. Det beräknade flödet till

utjämningsmagasinet blev då mindre än det som har uppmätts, vilket tyder på att modellen inte är helt representativt för verkligheten.

- Avloppsvatten bräddas från utjämningsmagasinet i modellen om det ackumulerade flödet de senaste 24 timmarna överstiger magasinets volym på 8 000 m³.
- Allt avloppsvatten som renas i biosteget behandlas också i läkemedelsreningen.

Resultatet från analysen ses i Tabell 5.

Tabell 5. Analys av nutida och framtida flödesbelastning på Öresundsverket samt hur mycket vatten som kommer genomgå verkets olika reningssteg.

	2015 - 2018	2035
Totalflöde/år	20,2 Mm ³	24,7 Mm ³
Uppmätt flöde till utjämningsmagasin/år	0,8 Mm ³	-
Uppmätt brädd via utjämningsmagasin/år	0,4 – 0,45 Mm ^{3*}	-
Uppmätt brädd (%)	2 % av inkommande	-
Beräknat flöde till utjämningsmagasinet/år	0,49 Mm ³	1,0 Mm ³
Beräknad brädd från utjämningsmagasinet/år	0,25 Mm ³	0,68 Mm ³
Beräknad andel brädd från utjämningsmagasinet	1,2 % av inkommande	2,8 % av inkommande
Beräknad andel brädd med "kalibrerad" modell**	2 % av inkommande**	4,3 % av inkommande**
<p>* Beroende på vilken mätdata som används ** Om Q_{max} till biosteget sätts till 3 500 m³/h vilket också gav mer representativa värden för brädd via utjämningsmagasinet jämfört med uppmätta värden för 2015 - 2018. Detta kan ses som en mer konservativ beräkning.</p>		

Enligt ovan analys kommer läkemedelsreningen kunna behandla 98 – 99 % av det inkommande flödet till Öresundsverket idag. För förhållandena 2035 kommer 95 – 97 % av det inkommande avloppsvattnet behandlas.

3.4 Provtagning

Det kan finnas flera syften med en provtagning, t ex följa upp anläggningens effektivitet, skapa ett kunskapsunderlag, trimma in drift eller för rapportering till tillsynsmyndigheten. Vilket syfte ett provtagningsprogram har påverkar provtagningsfrekvensen och vilka prover som tas. Nedan

presentera de provtagningskrav från Schweiz som syftar till att följa upp reningsverkens effektivitet och hur denna står sig jämfört med lagstadgade krav.

I Schweiz ställs krav på att avskiljningen av mikroföroreningar ska vara 80 % beräknat utifrån verkens in- och utgående värden. Utvärderingen görs på 6 substanser som väljs från en lista med totalt 12 indikatorsubstanser. Indikatorsubstanserna är uppdelade i två grupper. Substanser som är "mycket lätt reducerbara" ingår i grupp 1 medan substanser som är "lätt reducerbara" ingår i grupp 2. Man måste välja minst 6 substanser som analyseras varav 1/3 ska finnas i grupp 2. Notera att listan med indikatorsubstanser även innehåller mikroförorening som inte klassas som läkemedel, t ex rostskyddsmedel.

Provtagningen ska göras under 48 timmar så in- och utgående vatten överlappar varandra. Medelvärde för reduktionsgraden av de valda substanserna beräknas och det är detta medelvärde som ska överstiga 80 %. Reduktionsgraden ska uppfyllas i samtliga provtagningar. Antalet provtagningar per år beror på reningsverkets storlek. För reningsverk som tar emot avloppsvatten från mindre än 2 000 pe bestäms antalet provtagningstillfällen av den regionala myndigheten. För reningsverk mellan 2 000 och 10 000 pe tas minst 8 prov det första året och sedan minst fyra prov årligen om villkoren uppfylls det första året. Om reningsvillkoret inte uppfylls under ett år tas återigen 8 prov nästkommande år. För reningsverk på mellan 10 000 och 50 000 pe tas minst 12 prov det första året och därefter minst 6 prov om anläggningen uppfyller kraven. Motsvarande provtagningsfrekvens för reningsverk över 50 000 pe är 24 respektive 12 prov per år (GSchV 814.201, 2018).

I Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Öresundsverket (2019-09-27) presenteras ett förslag på hur anläggningens funktion kan följas upp. Notera att detta förslag syftar till att utvärdera reningssteget effektivitet.

4. Flödesschema och hydraulik

Översiktliga flödesscheman för ozonproduktionen, inblandningen och den biologiska efterbehandlingen ses i Bilaga 2: Flödesschema – Läkemedelsrening Öresundsverket (2019-09-27).

4.1 Anslutning till befintlig verksamhet

En ny 1200-ledning ansluts i botten på spolvattenreservoaren på filterbyggnadens östra sida. Ledningen dras upp till markyta norr om filterbyggnaden där den grenas till två 800-ledningar, vardera med avstängningsventil i mark. Ledningarna dras in till sugbrunnar som förser läkemedelsreningen med vatten. Från respektive MBBR bräddar avloppsvatten till en utloppskanal. Från utloppskanalen leds vattnet i en ny 1200-ledning som ansluter till befintlig filterbyggnads västra gavel, i volymen före befintlig utloppsledning.

4.2 Hydraulik

Hydrauliken för läkemedelsreningen presenteras i förutsättningarna i avsnitt 2.5.

Från ritningarna över Öresundsverket går det att utläsa att det eventuellt kan finnas möjlighet att spara energi genom att den motormanövrerade luckan på utloppsledning får en funktion att reglera nivån i spolvattenreservoaren efter filtren. På så sätt kan eventuellt lyfthöjden till läkemedelsreningen minimeras vid låga flöden.

Lyftpumpar i sugsumpar anslutna till spolvattenreservoaren pumpar upp vattnet från ca +2,5 m till en nivå på ca +5,7 m. Tryckfallen genom läkemedelsreningen är i huvudsak skibord i inlopp, utlopp från ozonkontaktbassäng samt silplåt och utlopp efter MBBR. Vattennivån i kontaktbassänger för ozon är satta till +5,5 m. Vattennivån i efterföljande MBBR-bassäng är satt till +5,3 m. Vattenflödet som passerat läkemedelsreningen leds till en utloppskanal som ansluts till spolvattenreservoarens utlopp.

5. Maskinutformning

För en mer detaljerad genomgång av den preliminära maskinutformningen, hänvisas till Bilaga 1: Beskrivning av funktionen – Öresundsverket (2019-09-27), och Bilaga 3: Motor- och apparatlista – Läkemedelsrening Öresundsverket (2019-09-27).

5.1 Tillkommande bassänger

På Öresundsverket föreslås nya bassänger för intagspumpning till ozoneringssteget, kontakttankar och MBBRer i två parallella linjer. Dessa tre volymer för vardera linje ligger i anslutning till varandra och deras dimensioner ses i Bilaga 4: Layoutritning – Öresundsverket (2019-09-27).

5.2 Syrgaslagring

5.2.1 Syrgasbehov

Det maximala syrgasbehovet har beräknats till ca 280 kg/h vid Q_{\max} vid en ozonkoncentration ut från ozongeneratorerna på 10 wt% (ozondos 0,7 mg O_3 /mg DOC, DOC-koncentration 10 mg/l). Detta motsvarar ca 200 Nm³/h.

Syrgasbehovet vid medelflöde har beräknats till ca 165 kg O₂/h vid en ozonkoncentration ut från ozonreaktorerna på 10 wt%. Denna mängd motsvarar 115 Nm³/h.

Notera att en ozongenerator kan producera gas med högre ozonhalt än 10 wt%. Detta kostar oftast mer energi och drar upp den totala energiförbrukningen. Dock så innebär den högre ozonhalten en lägre syrekonsumtion. En platsspecifik avvägning över den optimala ozonhalten behöver därför göras i en detaljprojektering. Valet av inblandning styr också ozonhalten eftersom ett visst gasflöde behöver ske genom diffusorer för att inte risker bakflöde. Vid låga ozondoser kan detta innebära att ozonkoncentrationen sänks.

5.2.2 Syrgastank

Syrgastanken hyrs av leverantören av syrgas. Storleken på syrgastanken på Öresundsverket har initialt bedömts till 45 - 60 m³, men volymen beror på vilken tank som leverantören har tillgänglig.

5.3 Ozongenerator

På Öresundsverket föreslås två ozongenerator med en maxkapacitet på 16,8 kg O₃/h vardera.

För att ozongeneratorerna ska fungera optimalt behövs en liten andel kväve, runt 0,1 – 1 volymprocent (Miehe m fl, 2017). För att nå denna kvävehalt i gasen som förser ozongeneratorerna kommer tryckluft tillsättas till ingående gasflöde.

5.4 Styrning

5.4.1 Intagspumpning

Pumpningen till ozoneringsanläggningen behöver styras utifrån ett börvärde. Detta värde kan eventuellt tas från befintliga flödesmätare som sitter i anslutning till respektive sandfilter. Om de befintliga flödesmätarna inte bedöms vara i tillräckligt gott skick föreslås istället att flödesmätarna som mäter ingående flöde till försedimenteringen används för att ge ett börvärde.

5.4.2 Ozondosering

I detta projekteringsstadium har den enklaste styrningen föreslagits, nämligen att ozonproduktionen styrs flödesproportionerligt utifrån en satt ozondos. Denna styrning har varit standard på små verk under 100 000 pe med små variationer i DOC (Miehe m fl, 2017). Mer avancerad styrning kan också väljas och det finns relativt driftsäkra tekniker för detta, se avsnitt 3.1.2 för en mer ingående diskussion om styrning.

Det finns också möjlighet att sänka ozondosen vid höga flöden för att vara säker på att allt ozon reagerar under den kortare kontakttid som högre flöden resulterar i. Med denna typ av drift kan man spara energi och syrgas samt ta in högre flöden i kontakttanken. Detta är vanligt på många anläggningar i Tyskland och Schweiz där en stor del av årsflödet behandlas i läkemedelsreningen (Miehe m fl, 2017).

5.4.3 Anpassning till befintligt styrsystem

Öresundsverket har idag ett SCADA system, Cactus Eye för processen. Ny PLC med operatörspanel programmeras för att autonomt hantera processtyrningen inom ozonanläggningen, samt tillhörande syrgastankar. PLC ansluts till SCADA systemet via fiber. Samförläggs i högspänningsschakt i lämplig sträckning.

Antalet styrda och styrande objekt är ett 60-tal, vilket bedöms ge ett signalomfång av ca 300 signaler.

PLC ska vara lika befintliga inom verket av drift & underhållsskäl, fabrikat ABB, typ 800M med I/O kort typ 810K.

5.5 Kylning

Ozongeneratorerna kräver kylning för att fungera då ozon snabbt bryts ner till syrgas vid höga temperaturer. Det går ungefär åt 10 kWh el/kg producerad O₃ (Cimbritz m fl, 2016). Denna siffra kan man använda för att grovt uppskatta kylbehovet i ett tidigt projekteringsstadium (Löfgren, personlig kommunikation 2019-04-24). Behovet av kylvatten har uppskattats till 44 m³/h på Öresundsverket. Detta flöde gäller för max ozonproduktion med en temperatur på ingående kylvatten till ozongeneratorerna på 22°C. Kylvattnet föreslås cirkuleras i en slutna krets för att kunna garantera att kylvattnet som kommer i kontakt med ozongeneratorerna håller en hög kvalitet. Kylvatten kyls i sin tur med renat avloppsvatten från pumpsumpen som ligger i anslutning till kontakttanken. För att nå en önskvärd temperatur på kylvattnet i den slutna kretsen kommer således ett större flöde av renat avloppsvatten behövas. Detta flöde har uppskattats till 60 m³/h.

5.6 Ozoninblandning

I beskrivningen av funktionen och i flödesschemorna har Sweco utgått från att inblandning sker via diffusorer. Det finns andra tekniker för inblandning, t ex med injektion följt av omblandning, t ex med statisk mixer. Inblandning med diffusorer är den vanligaste metoden då den inte ger någon tryckförlust och därmed inte kräver extra pumpar (Nilsson, 2017). Injektorer används inte på så många reningsverk. På reningsverket i Bad Sassendorf testades dock både injektorer och diffusorer. I testet kunde ingen skillnad i reningsgrad ses mellan de två systemen men injektorerna ökade energiförbrukningen jämfört med diffusorerna (Mulder m fl, 2017). Nilsson (2017) menar dock att injektorer har bättre förmåga att lösa ozonet i vattnet och därför bör den ökade energikostnaden som dessa system kräver jämföras med en potentiell minskning av ozonkonsumtionen som den bättre inblandningen leder till. Risken för bromatbildning bör också tas i beaktning när man väljer inblandningssystem då det finns indikationer på att injektorinblandning ökar bromatbildningen då den momentana koncentrationen av ozon blir högre än med diffusorer (Miehe m fl, 2017).

I Tabell 3, avsnitt 3.1.1 har ett par referensanläggningar med ozoneringssteg och olika typer av inblandning listats. Keramiska diffusorer är den vanligaste diffusortypen. Diffusorer av polyuretan och silicon har också testats, men utan att någon skillnad har observerats (Miehe m fl, 2017).

5.7 Kontakttank

Se avsnitt 3.1 för storlek och uppehållstid. Föreslagna dimensioner kan utläsas i Bilaga 4 – Layoutritningar – Öresundsverket (2019-09-27).

5.8 Ozondestrukturer och syrgashantering

Ozonhaltsmätare installeras före och efter ozondestrukturen. Mätaren före destruktorn syftar till att reglera doseringen av ozon då ozon i off-gasen tyder på att allt tillsatt ozon inte har reagerat. Ozonhaltsmätaren efter destruktorn har som funktion att säkerställa att inget ozon släpps ut till omgivningen.

Gasen som släpps ut från ozondestrukturen är praktiskt taget ren syrgas. Denna kan antingen ledas till något av de syreförbrukande biostegen alternativt ledas ut i omgivningen. Åtgärder kommer behöva genomföras för att minimera riskerna med att släppa ut ren syrgas till omgivningen. Avledning av syrgas efter ozondestrukturer kan ske i en liten skorsten av syrafast stål på taket av anläggningen, så att utsläppspunkten har avstånd till brännbart material och syrgasen snabbt kan spridas ut i luften genom diffusion.

Syrgas är en oxiderande och brandunderhållande gas. Det är väsentligt att syrgas inte kommer i kontakt med brännbart material. Därför är det viktigt att material i kontakt med syrgas väljs med omsorg. Rörledningar och utrustning i syrafast stål är lämpligt material. Koppar är också ett lämpligt material för syrgas.

I lagertank hålls flytande syrgas som är mycket kall och det finns risk för köldskador. Ingen obehörig ska vara nära lagertank som ska hållas inhägnad. Gasleverantör gör en riskgenomgång på platsen före en installation av en lagertank.

I kontaktbassängerna kommer det att finnas material i rostfritt stål och betong i kontakt med syrgas vilket inte bedöms utgöra något problem.

Enligt AGA Gas (telefonkontakt) finns det inga föreskrifter gällande utsläpp av syrgas till omgivningen.

Föreskrifterna i AFS 1997:7, "Gaser - Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om gaser samt styrelsens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna", anger att:

- I lokal, där syrgas hanteras, skall ventilationen vara sådan, att syrgaskoncentrationen i luften normalt inte överstiger 22 volymprocent.
- Brandunderhållande gas skall hanteras så att risken för antändning av kläder eller brandfarliga ämnen och föremål i närheten motverkas.

5.9 Säkerhetssystem

I byggnaden med ozonreaktorerna rekommenderas minst två av varandra oberoende ozonhaltsmätare som varnar när halten ozon överstiger en viss nivå, samt stänger ner ozonproduktionen då ozonhalten överstiger en farlig nivå. En mer ingående riskanalys behöver göras för att bedöma placering och antal ozonhaltsmätare.

I kontakttanken kan även sprinklers installeras för att reducera överblivet ozon i luften då tanken behöver tömmas för underhåll. Sprinklers har inte tagits med i detta projekteringskede och behovet föreslås utredas vidare i en detaljprojektering.

För hantering av risker kopplade till syrgashantering, se avsnitt 5.8.

5.10 Provtagningsutrustning

Portabel eller fast provtagningsutrustning som kan styras på flöde föreslås för att kunna följa upp anläggningen. Kontaktbassängerna och respektive efterföljande MBBRer är lufttäta och håll för provtagnings slangar bör därför planeras för under detaljprojekteringen, om något av de lufttäta utrymmena väljs för uttag av provtagningsvatten.

5.11 Biologisk efterbehandling

Den biologiska efterbehandlingen rekommenderas ske i två MBBRer som är placerade i anslutning till kontakttankarna. Intaget sker via ett överfall där silar förhindrar att bärarna tar sig in i kontaktbassängen. Vidare förhindrar ett gaslås att ozonhaltig luft tar sig in i respektive MBBR. Bärarna hålls i rörelse med en omrörare som drivs av en motor placerad på taket till anläggningen. Utflödet sker genom en silplåt som spänner över delar av sidväggarna och hela kortsidan. Silpåten håller bärarna kvar i MBBRen vid utflödet.

Lämplig bärare för ändamålet är t ex Anox Kalndess K5. Denna bärare är tillverkad i High-Density Polythylene (HDPE) som är ett material som klarar låga ozonhalter i vattnet. Bärarmaterialet bedöms lämpligt för detta ändamål. Lämplig fyllnadsgrad är <60 % och den specifika ytan är 800 m²/m³.

5.12 Kemikaliebehov

För tvätt av värmexchangen föreslås att en CIP-modul används. Vid behov kopplas CIPen in till värmexchangen och cirkulerar kemikalier (lut och syra) som tar bort avlagringar och påväxt. Utrustningen som behövs i detta fall är liten. Uppskattningsvis räcker det med en CIP med en lagringsvolym på 100 l. Denna volym avser CIPens blandningstank.

6. Maskinbyggnad och bassänger

6.1 Beskrivning

De nya ledningarna från spolvattenreservoaren dras in till sugbrunnar i den föreslagna byggnaden. I sugbrunnarna installeras vertikala kolumnrörspumpar. Sugbrunnarna är del av en byggnad som innefattar en högdal i tre plan och intilliggande bassänger.

I källarplan (nivå +0 m) placeras inkommande 800-ledningar, sugbrunnar samt kylvattenpumpar och värmexchallare. I markplan (ca +3,5 m) placeras ozonaggregat i varsin del av processrum och ett elrum utförs centralt mellan ozonaggregaten. I byggnadens ändar utförs kanaler i betong som leder vattnet från lyftpumpar till ozonbassänger. På det översta planet (+7,3 m) placeras ett ozondestruktionsaggregat och ett ventilationsrum med ventilationsutrustning. Kolumnrören för lyftpumparna sticker upp genom bjälklaget och i taket placeras lyftbalkar för lyft av pumparna. Luckor i bjälklaget gör det möjligt att lyfta ner pumparna på mellanplan i marknivå. En dörr på

det översta planet med utvändig trappa ner till tak över bassänger gör det möjligt att gå ner på bassängtak från byggnadens högdal.

Bassänger ihopbyggda med högdal är två parallella ozonbassänger där vardera bassängen är försedd med mellanväggar som bildar fyra zoner. En smal zon för inlösning av ozon efterföljd av en kontaktzon och därefter ytterligare en inlösningsszon och sedan en kontaktzon.

För en mer utförlig beskrivning av grundläggning, armering, och hållfastighet, se avsnitt 6.4.

6.2 Dimensionering

För dimensioner av byggnaden se Bilaga 4: Layoutritning – Öresundsverket.

6.3 Lokalisering och påverkan på kringliggande infrastruktur

Lokaliseringen av läkemedelsreningen syns i Figur 5. I figuren syns även lagertanken för flytande syre med tillhörande förångare som placeras på en gräsyta norr om inloppspumpstationen. Ledning/slang från förångare vid lagertanken och till ozonanläggning placeras i mark i skyddsror.



Figur 5. Lokalisering av läkemedelsreningen på Öresundsverket med tillhörande syrgastank för flytande syre.

6.4 Erforderliga byggnadsarbeten

6.4.1 Grundläggning och förberedande arbeten

Första arbetet blir etablering av byggarbetsplatsen och omläggning av alla befintliga rör och kablar inom området för de nya bassängerna.

Pålning bedöms behövas för nya anläggningsdelar, se befintlig geoteknisk undersökning: *Överteckning av Öresundsverket – PM Geoteknik, projekteringsunderlag NSVA* daterad 2016-11-21. Grundläggning utförs med pålning med betongpålar. Pålantalet bedöms till 48 st. SP2 pålar med en dimensionerande last av 900 kN.

Schakt skall utföras innanför tät stålspont och att grundvattenytan avsänks med pumpning i brunnar eller med Wellpoint metoden.

6.4.2 Betongarbeten, bottenplatta

Direkt efter schaktning utlägges en skyddsbetong på schaktbotten. En hel vattentät bottenplatta armeras och gjuts, preliminär tjocklek 400 mm. Bottenplattan förankras i pålarna för vattenupptryck orsakat av grundvatten. Armeringsmängden i bottenplattan bedöms till 40 kg/m².

6.4.3 Betongarbeten, bassäng och rörkällare

Bassängväggar med ensidigt vattentryck och eller jordtryck utföres med en preliminär tjocklek av 300 mm. Bassängväggar med vattentryck på båda sidorna kan utföras 250 mm. Armeringsmängden i betongväggar bedöms till 30 kg/m².

Gjutfogar mellan bottenplatta och bassängväggar förses med förtagning och fogband för kraftöverföring och vattentätning.

Bassängväggar som inte går ner till bottenplattan ställs på intermittenta betongklackar, dvs väggar med ursparingar i underkanten.

6.4.4 Betongarbeten, bjälklag över källare och bassänger

Bjälklag över bassänger och bjälklag över källare utföres preliminärt med 300 mm tjocklek. I källare placeras två betongpelare vid källartrappan för att ta upp last från bjälklag. Över bassängerna utvändigt görs ytan med fall utåt sidorna för vattenavrinning. Armeringsmängden i betongbjälklagen bedöms till 30 kg/m².

6.4.5 Betongarbeten, bjälklag över mellanplan

Utförs lika se avsnitt 6.4.2 - 6.4.4.

6.4.6 Byggnation av väggar och tak, övre plan

Övre plan utförs med stålstomme enligt följande beskrivning: Stålstomme bestående av VKR-pelare, takbalkar av VKR-profiler.

Telferbalkar av HEA-profiler skall monteras för lyftning av pumpar.

Ytterväggar utförs av isolerade plåtelement typ Paroc eller likvärdiga som skruvas fast i bakomliggande VKR-profiler. Yttertak utförs med bärande TRP-plåt på takbalkarna och ovanpå det hård mineralullsisolering och tätskikt.

Stål utförs varmförzinkat i rostskyddsklass C4, detta gäller både inomhus och utomhus.

6.4.7 Stomkomplettering

Följande stomkompletteringar blir aktuella:

- Ingjutningsgods för processutrustning och rör etc.
- Skyddsräcken på bassängtak mm.
- Telferbalkar
- Dörrar inkl. låsning och trycke
- Gallerdurksplan
- Gallerdurkstrappor inkl. räcken
- Fönster
- Taksäkerhetsanordningar
- Golvbeläggningar utförs med epoxi massabeläggning, halksäkert och städbart.
- Innerväggar som inte är av betong skall ställas på betongsockel, h=150 mm
- Plåtarbeten, huvar, hänggrännor, stuprör, gavelbeslag, hängskivor, dörr- och fönsteranslutningar, mm.
- Målningsarbeten invändigt
- Återfyllning, uppdragning av spont, återställning, markarbete

7. EI

7.1 Behov och anslutning

Preliminära effektuppgifter enligt denna rapport med bilagor pekar på ett effektbehov av ca 420 kW för processen. Ozontillverkning är effektkrävande och ganska stora flöden behöver pumpas. Med fastighetssystem inräknat (30 kW kyla, ventilation och belysning), samt osäkerhetsfaktor är det inräknat i denna rapport en installerad effekt av nära 500 kW, vilket skulle tillgodoses med ett ställverk med märkström av 800 A.

Tillgänglig effekt i Öresundskrafts nät bedöms i dagsläget som god för utökning till framtida effektuttag. Abonnemangsfrågor bör ses över i detaljprojekteringen. Reservkraftsanläggningen bedöms inte att klara effektuttaget för ozonanläggningen, åtminstone inte vid högflöden och med bibehållen redundans.

För att klara ozonanläggningen relativt stora effektbehov så måste elförsörjningen utökas. Förslagsvis installeras en lokaltransformator i ozonanläggningen, och ansluts till ett reservfack på skena A i högspänningsstationen, se avsnitt 2.6. Det innebär att ozonanläggningen inte

fungerar vid reservkraftsdrift och automatisk förbiledning aktiveras vid nätbortfall. Schaktning av högspänningskabel, fiber för styr och kraftsignal kan ske i mestadels grönytor, undantaget hårdgjord yta framför entrén.

7.2 Installation

Ett separat elrum anordnas inom byggnaden, se avsnitt 6.1, med lågspänningsställverk, apparatskåp med PLC, fastighetscentral, nätverk och frekvensomriktare. Rummet bör vara minst 15 m², och ha plats med god åtkomlighet och kylning. Uppställning sker på respektive långsida i rummet (elrum är redovisat på planritning, se Bilaga 4 – Layoutritning Öresundsverket (2019-09-27)). Rummet förses med kyla för frekvensomriktarnas förlusteffekt. Ventilation till det fria för att undvika att aggressiva svavelväten förstör kopparledare. Skenor i ställverk, apparatskåp och potentialutjämningskenor utförs förtennade. Kretskort i frekvensomriktare utförs lackerade av samma anledning.

Ställverk utföres lika befintliga, fabrikat ABB typ MNS, med inkommande fack ACB 800 A. Utgående effektbrytare MCCB till huvudledningarna till fastighetscentral och styrsåp, samt gruppleddningar till frekvensomriktare över 15 kW. Effektbrytare förses med kommunikationsgränssnitt Modbus för signaler till överordnat styrsystem. Mindre motordrifter installeras i styrsåp. Ställverk utföres med kassetmonterade funktionsenheter, förses med ljusbågsvakter och jordningskopplare. In- och utgående fack förses med multiinstrument som förutom vanliga el-storheter loggar energiförbrukning.

Styr signaler från syrgastankar ansluts till styrsåp, en klassningsplan för EX installationer behöver göras.

Anläggningen åskyskyddas till minst nivå 3 enligt SS-EN 60355-2, och potentialutjämnas rigo-röst.

8. Riskanalys

I samband med förprojekteringen genomfördes en riskworkshop med syfte att identifiera möjliga risker under ett framtida byggprojekt. Under workshopen identifierades potentiella faror i samband med samtliga faser under ett projekt: projektering, upphandling, genomförande och drift. Riskerna med dessa faror bedömdes sedan genom att workshopdeltagarna fick bedöma konsekvenserna av de identifierade farorna och sannolikheten att de inträffar. Efter denna riskanalys gick samtliga faror igenom och de mest betydande vad gäller risk kompletterades med åtgärder för hur risken kan minimeras. En del risker bedömdes för små för att behöva hanteras och kunde istället accepteras.

Resultatet från riskworkshopen med tillhörande åtgärder ses i Bilaga 5: Resultat riskworkshop Öresundsverket och Lundåkra reningsverk (2019-09-27).

9. Sammanställning kostnadskalkyl

9.1 Investeringskostnader

Kostnader för tillbyggnad av läkemedelsrening på befintligt reningsverk uppskattas till ca **110 MSEK** och presenteras i Tabell 6.

Investeringskostnaderna omfattar kostnader för mark-, ledningar-, bygg-, vent-, VS-, maskin, el & automationsarbeten. I markarbeten ingår bl.a. pålning, spontning och grundvattensänkning.

Kostnadsbedömningarna inkluderar kostnader för frakt, montage och entreprenörsarvode. I entreprenörsarvodet ingår kostnader för etablering, städning, bodar, ställningar, byggel, försäkringar och bankgaranti. Vidare ingår installationsentreprenörens arbeten med konstruktion och monteringsritningar, relationsritningar och driftinstruktioner. I entreprenörsarvodena ingår även projektledning, tester, provningar, besiktningar, garantier, centraladministration och vinst.

Kostnader för maskinell utrustning är detaljkalkylerad och prisuppgifter finns inhämtade från leverantörer. Även kostnader för bygg och el är detaljkalkylerad.

Tjugo procent påslag för oförutsedda utgifter finns med i entreprenadkostnaden.

Byggherrekostnader för projektledning, projektering, upphandling, byggledning, kontroll, CE märkning, slutdokumentation och igångkörning ingår. Byggherrekostnaderna har beräknats som ett schablonpåslag på entreprenadkostnaderna.

Kostnadsnivån är september 2019. Investeringskostnaden påverkas direkt av det allmänna konjunkturläget för bygg- och anläggningsarbeten. I ett läge med en överhettad marknad och få anbudsgivare kan investeringskostnaderna öka. Likaså kan investeringskostnaderna bli lägre om konjunkturen går ner och det blir en hårdare konkurrens.

Moms är inte medräknat.

Tabell 6. Investeringskostnad läkemedelsrening på Öresundsverket.

Kostnadsdel	Summa (MSEK)
Mark	7,1
Bygg	20
VVS	2,8
Maskininstallationer	39
El och automation	3,4
Oförutsett (20 %)	14
Summa entreprenader – Entreprenadkostnad	87
Byggherrekostnad	22
ANLÄGGNINGSKOSTNAD	110

9.2 Driftkostnader

Följande poster har inkluderats i driftkostnads kalkylen:

- Personalkostnader för provtagning, tillsyn och underhåll. Provtagningsfrekvensen är uppskattad till 16 gånger/år med ett tidsanspråk på 4 arbetstimmar/tillfälle. Behovet av tillsyn och underhåll har uppskattats till 6 timmar/vecka. Kostnader för analyser av läkemedelsrester har inte tagits med i driftkostnads kalkylen.
- Energikostnader för pumpning och ozonproduktion. Nödvändig lyfthöjd för intagspumparna (effektivitet 60 %) har antagits som 3,5 mvp. Den specifika energikonsumtion för

ozonproduktion har satts till 8,5 kWh/kg O₃. Utöver dessa stora förbrukare finns det mätare, automatventiler, kylvattenpumpar, luftkompressorer, ozondestruktorn, omrörare till MBBRen som förbrukar energi. Samtliga av dessa förbrukare är små med en nominell effekt på ett par kW. Den totala effekten för dessa förbrukare har uppskattats till 10 kW med en 50 % drifttid. Elkostnaden har satts till 1 kr/kWh.

- Kostnader för syre är uppskattat till 1,25 kr/kg O₂. Konsumtionen är beräknad utifrån en ozonhalt på 10 wt% ozoneringssteget.
- Kostnader för hyra av syrgastank och tillhörande utrustning.
- Kostnader för energi och syre har antagits bero linjärt på belastningen på reningsverket uttryckt i personekvivalenter. Belastningen har då antagits vara 170 000 pe och 220 000 pe 2019 respektive 2035.
- Den årliga underhållskostnaden är beräknade utifrån schabloner på investeringen: 0,2 % av bygg, 0,1 % av mark- och ledning, 1 % av maskin, 1 % av el och automation, 1 % a VVS.

Samtliga driftkostnader presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Driftkostnader för läkemedelsreningen på Öresundsverket.

Kostnads- post	Enhet	Förbrukning		Specifik kostnad	Enhet	Årskostnad	
		Nuläge	2035			Nuläge	2035
Energi	kWh/år	1 600 000	2 070 000	1	kr/kWh	1 600 000	2 070 000
Syre	ton/år	1 400	1 900	1 250	kr/ton	1 750 000	2 380 000
Personal	h/år	376	376	600	kr/h	230 000	230 000
Hyra	-	-	-	-	kr/år	80 000	80 000
Underhåll	Schablon på investering					500 000	500 000
Totalt						4 200 000	5 300 000

10. Vidare utredningsfrågor

10.1 Vidare provtagning

Mätningar på DOC och nitrit föreslås för att få ett bättre underlag till en framtida upphandling, se avsnitt 2.8.2.

Ett dos-respons-test föreslås för att minimera risken för att bromat bildas i en framtida anläggning, se avsnitt 2.8.4. Även provtagning av krom (totalhalt) föreslås för att ge underlag till en bedömning över riskerna att krom (VI+) bildas under ozoneringen.

Provtagning på slamhalten efter slutsedimenteringen föreslås för att bekräfta datan från online-mätarna, se avsnitt 2.8.3.

Ett reaktionstest kan också göras för att beräkna reaktionstiden för ozon i den aktuella vattenmatrisen. Ett sådant test kan ge värdefull information om uppehållstiden i kontakttanken är tillräcklig.

10.2 Framtida fosforkrav

Vid rapportens datering håller NSVA på att ta fram en ny tillståndsansökan för Öresundsverket. Med ett nytt tillstånd följer också nya villkor och det är troligt att villkorskraven på utgående halter av fosfor kommer att skärpas. Skärpa krav kommer innebära en effektivisering av nuvarande drift alternativt en utbyggnad av vissa reningssteg på Öresundsverket. En möjlig åtgärd för att förbättra fosforavskiljningen är att renovera och förbättra sandfiltren. En sådan ombyggnad kommer påverka föreslagna läkemedelsrening vilket bör tas i beaktning vid en framtida detaljprojektering.

10.3 Ozondosering vid höga flöden

I en framtida detaljprojektering kan ozondoseringen ses över vid höga flöden. På många anläggningar reduceras halten vid höga flöden med stort tillskott av regnvatten för att reducera syre- och energikonsumtionen. Denna typ av styrning möjliggör också att ett större flöde än det föreslagna kan behandlas i ozoneringssteget alternativt att en något mindre ozonreaktor kan projekteras.

10.4 CFD-modellering

I en så kallad CFD-modellering simuleras flödet i en föreslagna tankutformning för att se om utformningen kan leda till ett ojämnt flöde över tankens tvärsnitt. I detaljprojekteringen kan en sådan simulering utföras för att minimera risken för att kvalitetssäkra utformningen av kontakttanken.

11. Slutsats

I detta projekt har en anläggning för läkemedelsrening på Öresundsverket dimensionerats och förprojekterats. Den föreslagna lösningen bedöms påverka reningsverkets befintliga processer minimalt och kunna avlägsna läkemedel från avloppsvattnet i enlighet med de riktlinjer som finns i Tyskland och Schweiz då det är erfarenheter från dessa länder som har legat till grund för dimensioneringen.

12. Referenser

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K. & Olshammar. 2017. *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapportnummer: C 234.

Hutchinson, T.H., Hutchings, M.J. & Moore, K.W. 1997. A Review of the Effects of Bromate on Aquatic Organisms and Toxicity of Bromate to Oyster (*Crassostrea gigas*) Embryos. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 38:238-243.

GSchV, 2018. Gewässerschutzverordnung 814.201, vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Juni 2018).

Karlin, P. 2018. Befolkningsprognos 2018 – Helsingborgs stad.

KOM-M.NRW. 2016. *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage.

Miehe, U., Stapf, M. & Schuman, P. 2017. *Studie über Effekte und Nebeneffekte bei der Behandlung von kommunalem Abwasser mit Ozon*. Kompetenzzentrum Wasser Berlin.

Mulder, M., Antakyali, D., Ante, S. 2015. *Costs of Removal of Micropollutants from Effluents of Municipal Wastewater Treatment Plants - General Cost Estimates for the Netherlands based on Implemented Full Scale Post Treatments of Effluents of Wastewater Treatment Plants in Germany and Switzerland*. STOWA and Waterboard the Dommel, The Netherlands.

Naturvårdsverket. 2017. *Advanced wastewater treatment for separation and removal of pharmaceutical residues and other hazardous substances - Needs, technologies and impacts*. Report 6303.

Nilsson, F. 2017. *Application of ozone in wastewater treatment: Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge*. Dissertation. Lund: Department of Chemical Engineering, Lund University.

Stapf, M. & Miehe, U. 2019. Aspects to be considered for design of ozonation. Joint Technical Workshop "Ozonation for advanced wastewater treatment". Presented at Tekniska verken March 14th, 2019. Online Access: [http://www.cwpharma.fi/en-US/News_and_events/Technical_Workshop_on_Ozonation_1432019\(49825\)](http://www.cwpharma.fi/en-US/News_and_events/Technical_Workshop_on_Ozonation_1432019(49825))