



CHALMERS

Reduktion av mikroföroreningar, främst läkemedel, ur avloppsvatten

ACEX10-20-71

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik
20-05-14

NATHALIE VAHLUND
VENDELA LINDSTRÖM
ALEX POROTA
ISABELLA LYNGSÖ

Handledare: Britt-Marie Wilén

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2020 www.chalmers.se

Sammanfattning

I denna rapport gjordes en litteraturstudie för att sammanställa vad som sker inom avancerad rening för avloppsvatten i Sverige. Det har under senare tid blivit uppmärksammat att om läkemedel inte renas bort från avloppsvatten innan det släpps ut, så kan det ha negativa effekter på miljön. Schweiz har länge varit ledande inom området avancerad rening av avloppsvatten och därmed har en del av arbetet gått ut på att se vad som har skett där, när det kommer till deras lagstiftning för läkemedelsrening, forskning och tillämpningar som gjorts. En kartläggning av vilken forskning samt vilka pilotanläggningar som har testas i Sverige har även gjorts.

Ryaverket som drivs av det kommunala bolaget Gryaab AB, har varit en fallstudie för arbetet. I ett framtida scenario med lagstiftning om reduktion av läkemedel och andra mikroföroreningar är det troligt att Ryaverket kommer att få utsläppskrav på sig eftersom det är ett av de största avloppsreningsverken i Sverige. Det har undersökts vilken metod som skulle vara mest fördelaktig för Gryaab att tillämpa om det skulle komma krav på avancerad rening i Sverige. Fokus har legat på metoder som använder aktivt kol, vilket innefattar granulerat aktivt kol och pulveriserat aktivt kol, samt metoden ozonering. Dessa har beskrivits i arbetet och utifrån dessa och storleken på Ryaverket så har en grov kostnadsuppskattning och en miljökonsekvens gjorts.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att utifrån ett kostnadsperspektiv är ozonering det mest fördelaktiga för Gryaab att tillämpa, däremot är det stora kostnader det handlar om och om det är relevant för Gryaab att implementera, är svårt att dra slutsatser om. Utifrån ett miljöperspektiv är ozonering även här den mest fördelaktiga metoden utifrån ett livscykelperspektiv då det kräver sammanlagt mindre energi och resurser. Däremot har denna metod fler hälsorisker som måste tas hänsyn till samt utveckla ett säkert arbetssätt vid dess tillämpning.

Abstract

In this report a literature study was carried out to collect information about what has been done in advanced wastewater treatment in Sweden. During recent years, multiple observations have been made that pharmaceuticals released into the water system, from wastewater treatment plants, can have negative effects on the aquatic environment. Switzerland is one of the leading countries when it comes to advanced wastewater treatment. Therefore, a part of this project has been to chart the development of their legislation of pharmaceuticals in wastewater. Different applications of advanced wastewater treatment methods as well as what research has been done in this area. An introduction of what has happened in Sweden so far has also been done, which has included different pilot studies and research that has been done.

The Rya wastewater treatment plant, operated by the municipal company Gryaab AB, has been used as a case study for this project. In a future scenario with legislation of pharmaceutical and other micropollutants removal, it is probable that the Rya wastewater treatment plant will face discharge limits as it is one of the largest plants in Sweden. Gryaab was therefore used to determine which methods of advanced wastewater treatment that would be most profitable for their wastewater treatment plant, if one day Sweden are to enforce a legislation. The focus was put on the methods ozonation and activated carbon, this includes granulated activated carbon (GAC) and powder activated carbon (PAC). These methods have been explained thoroughly in the report. Based on these methods and the size of the Rya wastewater treatment plant a rough cost estimation and an environmental analysis has been made.

To conclude it can be observed that based on the cost, ozonation would be the most favorable method for Gryaab to implement, however the costs for this would still be high and whether this is reasonable is unclear from the information gathered in this project. Based on an environmental perspective ozonation is the most favorable method considering in a lifecycle perspective it requires less energy and resources. However, this method is more hazardous for humans, which should be accounted for.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
2 Teori.....	2
2.1 Lagstiftning i Sverige	2
2.2 Generella reningssteg i Sverige	3
2.2.1 Mekanisk rening	3
2.2.2 Biologisk rening	3
2.2.3 Kemisk rening	3
2.3 Avancerad rening med aktivt kol.....	3
2.3.1 Pulveriserat aktivt kol.....	4
2.3.2 Granulerat aktivt kol.....	5
2.4 Avancerad rening med ozonering	6
2.5 Introduktion av Gryaabs reningsverk.....	7
3 Metod	8
3.1 Genomförande.....	8
4 Resultat: Sammanställning av det som sker i Schweiz.....	9
4.1 Lagstiftning om avancerad rening i avloppsreningsverk i Schweiz	9
4.2 Forskning i Schweiz.....	10
4.3 Tillämpning av ozonering respektive aktivt kol i Schweiz	11
4.3.1 Tillämpning av ozonering i Schweiz	12
4.3.2 Tillämpning av aktivt kol i Schweiz	12
4.4 Kartläggning och bakgrund till den nya lagstiftningen i Schweiz.....	13
4.4.1 Bakgrund till den nya lagstiftningen i Schweiz.....	13
4.4.2 Project Fishnet: Declining fish yields in Switzerland.....	13
4.4.3 National research program (NRP) 50: 'Endocrine Disruptors: Relevance to Humans, Animals and Ecosystems'	14
4.4.4 Strategy Micropoll	14
5 Resultat: Sammanställning av det som sker i Sverige.....	15
5.1 Läkemedel som skall prioriteras i Sverige	15
5.2 Forskning i Sverige.....	16
5.2.1 Forskning på LTH.....	16
5.2.2 Forskning på KTH	18
5.3 Tillämpning av ozonering respektive aktivt kol på Ryaverket.....	19
5.3.1 Implementering av Ozonering	19
5.3.2 Implementering av pulveriserat aktivt kol.....	20
5.3.3 Implementering av granulerat aktivt kol	21
5.4 Pilotexperiment i Sverige	22
5.4.1 Himmerfjärdsverkets pilotanläggning med metoden ozonering.....	22
5.4.2 Himmerfjärdsverkets pilotanläggning med metoden granulerat aktivt kol	23
5.4.3 Nykvarnsverkets pilotanläggning med metoden ozonering.....	26
5.4.4 Kalmar avloppsreningsverks pilotanläggning med metoden granulerat aktivt kol	27
5.4.5 Ullared reningsverks pilotanläggning med metoden ozonering.....	29
5.5 Sammanställning av alla pilotexperiment som beskrevs ovan	31
5.6 Kostnadsberäkningar för Gryaab att implementera metoder för avancerad rening.....	33
5.6.1 Kostnadsberäkningar Gryaab idag.....	33

5.6.2 Kostnadsuppskattning för granulerat aktivt kol på Gryaab	34
5.6.3 Kostnadsuppskattning för pulveriserat aktivt kol på Gryaab.....	38
5.6.4 Kostnadsuppskattning för ozonering på Gryaab	39
5.6.5 Sammanställning av kostnadsberäkningarna för Gryaab	41
5.7 Miljökonsekvensanalys.....	41
5.7.1 Miljökonsekvenser med aktivt kol.....	41
5.7.2 Miljökonsekvenser med ozonering.....	43
6 Diskussion	44
6.1 Lagstiftning i Schweiz jämfört med Sverige.....	44
6.2 Reningen av läkemedel med de olika metoderna för avancerad rening.....	45
6.3 Kostnadsuppskattningar för de olika metoderna på Gryaab.....	47
6.3.1 Diskussion kring kostnadsberäkningar av ozonering.....	48
6.3.2 Diskussion kring kostnadsberäkningar av GAK	48
6.3.3 Diskussion kring kostnadsberäkningar av PAK.....	49
6.4 Va-taxa diskussion och jämförelse Sverige och Schweiz	50
6.5 Diskussion kring miljökonsekvensanalys	50
7 Slutsats	52
8 Referenser	53
Bilagor.....	I
Bilaga 1: Flödesschema för Gryaabs reningsverksanläggning	I

1 Inledning

I inledningen presenteras bakgrund och upplägg av rapporten. Syftet går här igenom och även en förkortad version av metoden. Då rapporten är relativt stor så har många avgränsningar gjorts och även de presenteras här.

1.1 Bakgrund

Avloppsvatten samlas ihop från hushåll, industrier och andra verksamheter som har vätskeformigt avfall för att sedan föras vidare till ett reningsverk. Som det ser ut idag i Sverige så renas avloppsvatten främst från organiskt nedbrytbart material, total fosfor samt totalkväve (1). Efter reningen så förs vattnet ut till olika vattenmiljöer beroende på lokaliseringen av reningsverket. Om vattnet då inte blivit helt renat från dylikt, så kommer det påverka miljöer och omgivning runtomkring. Under senare tid har det börjat diskuteras allt mer om mikroföroreningar som tillkommer i vattnet uppströms och inte renas bort samt vilka problem det medför. Dessa mikroföroreningar innefattar bland annat mikroplaster och läkemedel. I denna rapport kommer främst läkemedel att vara i fokus. Miljöpåverkan på den kommer även att studeras i denna rapport.

Under de senaste 20 åren har mycket forskning kring avancerad avloppsrening initierats. Schweiz är ett av de länder som ligger i framkant, då lagstiftning kring vilka och hur mycket läkemedel som skall reduceras redan existerar (2). Hur avancerad rening fungerar i Schweiz kommer att kartläggas i denna rapport, samt en sammanställning om vad som sker i Sverige i nuläget för att möjligtvis i framtiden kunna implementera avancerad rening i fler reningsverk. Detta är även relevant då det finns risk att det blir en mer sträng lagstiftning i EU inom snar framtid, som i sin följd kan kräva att bland annat läkemedel inte får släppas ut i vattnet i de mängder som görs idag (3).

1.2 Syfte

Syftet med denna rapporten är att göra en sammanställning över vad som har skett inom området avancerad rening av avloppsvatten, där en förståelse kring vad som har hänt och sker i Schweiz kommer att skapas. Samt en kartläggning över vad som sker i Sverige inom detta området. Ozonering och användning av aktivt kol kommer att vara de tekniker som är i fokus och en bedömning om hur dessa skulle kunna tillämpas på fallstudien, Gryaab (Ryaverket), kommer att göras. Denna bedömning kommer att baseras på en grov kostnadsuppskattning, miljökonsekvensanalys samt möjligheten till att reducera olika läkemedel.

Metoder som kommer att studeras i rapporten är främst ozonering samt användningar av aktivt kol, där kolet kan vara både granulerat och pulveriserat. Dessa metoder kan kombineras med de reningssteg som redan finns i reningsverken idag (4). Eftersom det är viktigt att kunna få en uppfattning om denna investering är värd att tillämpa här i Sverige, med avseende på priset och resultatet, så kommer studien innefatta en grov kostnadsuppskattning av dessa med en fallstudie av Gryaab. Rapporten kommer att baseras på andra studier och pilotprojekt som gjorts både i Sverige och i utlandet, och slutsatser kommer att dras utifrån den litteratur som finns tillgänglig. Eftersom publiceringen och framställningen av rapporter tar tid innan de blir tillgängliga och då avancerad rening av avloppsvatten är ett relativt nytt fenomen, så har rapporter som är några år gamla använts, detta är en nackdel då studier om avancerad rening av avloppsvatten har under de senaste åren blivit mer uppmärksammat. Det sker mycket utveckling och forskning om avancerad rening av avloppsvatten, därför är det ett betydelsefullt arbete och nya artiklar och rapporter publiceras regelbundet.

1.3 Avgränsningar

Mikroföroreningar utgör en olikartad och mycket stor grupp av ämnen varav att en del avgränsningar har behövs göras. Läkemedel, pesticider, mikroplast och biocider är endast några exempel av ämnen som utgör den stora gruppen mikroföroreningar (4). Då det är en så pass stor grupp av olika ämnen, har vi valt att begränsa vårt arbete till endast läkemedel. Detta kommer som följd innebära att vi inte har riktat in oss på exempelvis mikroplastens miljöpåverkan. Detta val är även relevant då vi har valt att göra en fallstudie av Gryaab och deras förstudie som kommer presenteras längre fram i rapporten.

Vi har även valt att lägga vårt fokus på två länder: Sverige och Schweiz. Schweiz har valts då de är framåtsträvande och har en relativt ny lagstiftning när det kommer till avloppsrening för mikroföroreningar (4). Vi har även valt att utgå ifrån Sverige. Detta för att få en god bild av hur avloppshantering fungerar och hur man ser på reduktion av läkemedel i avloppsvatten mer generellt vilket är det mest relevanta för oss. Annars finns det en risk att arbetet kommer bli alldeles för omfattande.

Ännu en avgränsning som vi har valt att göra är att fokusera på specifikt två reningsmetoder. De två metoder som introducerades tidigare i planeringsrapporten, rening med aktivt kol (både granulerat och pulveriserat) och rening med hjälp av ozonering, är särskilt intressanta då mycket framsteg har gjorts för dessa metoder (4). Andra avancerade metoder, såsom nano filtrering och osmos kommer inte de heller gås igenom (5). Vissa läkemedel tas bort på biologisk väg i avloppsreningsverket, dels genom adsorption till slammet och dels genom biotisk eller abiotisk nedbrytning. Detta behandlas inte i den här rapporten (4).

Vi har även valt att avgränsa vår målgrupp till forskare, processtekniker och va-konsulter, då detta arbete kommer att vara till stor hjälp för den målgruppen. Vi kommer därför strukturera upp och skriva rapporten på ett vetenskapligt och sakligt sätt, på en hög akademisk nivå.

2 Teori

I teoridelen beskrivs kort hur den svenska lagstiftningen om avloppsrening har ändrats genom historien i Sverige. I detta avsnitt beskrivs också de generella reningsstegen som används idag. De mer avancerade reningsmetoderna, såsom aktivt kol och ozonering, presenteras också i detta kapitel. Även Ryaverket, som är en fallstudie i denna rapport, introduceras och de olika reningsmetoder på avloppsreningsverket beskrivs.

2.1 Lagstiftning i Sverige

Redan i början av 1940-talet introducerades regler i vattenlagen om utsläpp av avloppsvatten. År 1956 bildades Statens vatteninspektion, som en ny myndighet för tillsyn av sjöar och andra områden runtom vattendrag (6). Några år senare, 1971 och 1979, gjordes en stor satsning från statens sida för utbyggnad av kommunala avloppsreningsverk (6). Dessa insatser påvisade stor förändring kring närliggande vattenmiljöer och ledde till att sjöar och vattendrag blev påtagligt renare (6). Miljöbalken kom ut 1999 som ett samlat regelverk med ett bredare perspektiv på vattenområdet och inkluderade även störningar av den yttre miljön runtom vattendrag. I Sverige idag är nästintill alla hushåll i tätorterna sammankopplade medpåkopplade till kommunala avloppsreningsverk och ungefär 95 % av avloppsvattnet genomgår då både biologisk och kemisk rening (6). De kommunala avloppsreningsverken tar i huvudsak hand om avloppsvatten från tätorter, tillskillnad från permanent- eller fritidshushåll i glesbygd har ofta egna anläggningar, som kallas enskilda avlopp (4).

2.2 Generella reningssteg i Sverige

De flesta avloppsreningsverk (främst kommunala) fungerar likadant och har generellt samma processteg och metodik när det kommer till reningen. Kombinationen av mekanisk, biologisk och kemisk rening är det vanligaste (4). Vissa av de olika processtegen kan variera beroende på storlek på reningsverk och recipient. Avloppsvattenrening inleds alltid med någon form av mekanisk rening, till följd av biologisk- respektive kemisk rening. Dessa generella steg presenteras här mer ingående.

2.2.1 Mekanisk rening

Det första steget är som, nämns ovan, mekanisk rening i reningsprocessen, här avskiljs större fasta partiklar såsom plast, hår, textilier och papper. Detta reningssteg sker i galler, sandfång och genom försedimentering (4). De större partiklarna avskiljs vid gallren, vilket är viktigt så att saker och ting inte fastnar i kommande sandfång. Sandfånget består av en bassängliknande del med en ficka som enkelt kan fånga upp partiklar som med sin tyngd åker ner till botten. Alla de partiklar som av någon anledning inte har fångats upp avskiljs sedan i försedimenteringen. De tyngre partiklarna sjunker till botten och med hjälp av skrapor förs de till en slamficka. Därifrån går slammet till slambehandlingen (4).

2.2.2 Biologisk rening

I det biologiska reningssteget används mikroorganismer, framför allt bakterier, som frodas på det överblivna organiska materialet från den mekaniska reningen. Största delen av det organiska materialet är löst i avloppsvattnet. Ungefär 20 % av kvävet förbrukas av mikroorganismer och ungefär 90 % av de organiska ämnena avlägsnas från vattnet (4). Vid nedbrytning av det organiska materialet tillförs syre genom att lufta tankarna. Mikroorganismerna, klumpar ihop sig och avskiljs sedan i sedimenteringsbassänger, denna metod kallas aktivslammetoden (4). Kväve kan tas bort på biologisk väg genom två processer, nitrifikation och denitrifikation. Vid nitrifikationen omvandlas ammonium till nitrat (i luftade tankar) och vid denitrifikationen omvandlas nitrat till kvävgas (i oluftade tankar). Dessa processer sker i olika zoner i aktivslamanläggningen (7). Även fosfor kan tas bort i den biologiska reningen där fosfor kan tas upp i cellerna i vissa typer av bakterier. Detta är en cyklisk process som kräver både luftade och oluftade zoner (7).

2.2.3 Kemisk rening

I det kemiska steget, som typiskt är det sista stegen i reningsprocessen, avskiljs framför allt fosfor från avloppsvattnet (4). Vilket görs vid tillsats av fällningskemikalier, baserade på aluminium eller järn, som i sin tur faller ut fosfor. Efter flockbildning lösgörs slammet, med hjälp av exempelvis sedimentering (4). Ibland tillsätts kemikalier för fosfatfällning innan försedimentering eller direkt till det aktiva slammet, vilket kallas simultansfällning (4). Då gör fällningskemikalien nytta vid flockbildning av bakterier.

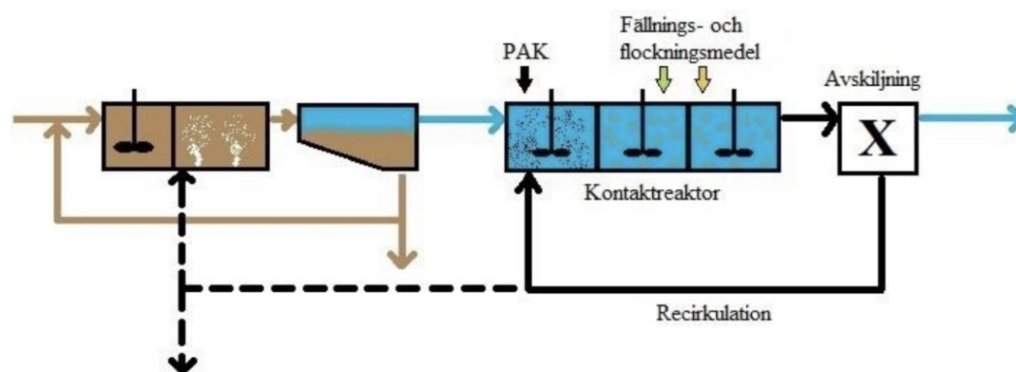
2.3 Avancerad rening med aktivt kol

Mikroföroreningar såsom läkemedel tas endast delvis bort i den konventionella processen men för att ta bort ett bredare spektrum av mikroföroreningar behövs avancerad teknik såsom adsorption till aktivt kol eller ozonering (4). Dessa två metoder är de som används mest och har där valts att fokusera på. Aktivt kol kan användas för att avskilja organiska ämnen, däribland läkemedel, vid avloppsrening. Avskiljningen bygger på en separationsprocess och sker genom adsorption till kolstrukturen. För att få en så effektiv avskiljning som möjligt, är det viktigt med en hög specifik yta. Det finns två olika metoder som kan användas när det kommer till aktivt kol. Avloppsvattnet kan antingen doseras med pulveriserat aktivt kol

(PAK), eller genom filtrering genom granulerat aktivt kol (GAK) som ett slutsteg. Dessa två metoder diskuteras vidare nedan (4).

2.3.1 Pulveriserat aktivt kol

När pulveriserat aktivt kol ska tillsättas, måste det kunna lagras på avloppsreningsverket (4). Pulvret blandas med vatten före tillsättning för att minska damning och för att kunna kontrollera dosering (8). När PAK hanteras, används inert gas, för att underlätta processen. Hantering och pumpning av PAK, medför mycket slitage, därför måste stålqualiteten för vissa utrustningsdelar uppfylla vissa krav. När PAK lagras, medför det en explosionsrisk, därför krävs det en EX-klassning, dvs. att risk för explosion finns (4). Figur 1 visar hur PAK kan tillsättas i ett avloppsreningsverk.



Figur 1. Generell lösning för hur PAK kan tillsättas till en kontaktreaktor i ett kompletterande steg, där X motsvarar en separationsprocess för avskiljning och recirkulation av PAK (4). Återgiven med tillstånd.

När PAK har tillsatts, krävs en reaktionstid på cirka 30 minuter, innan kolet med adsorberade ämnen kan avskiljas. Det finns olika metoder för separation av kol (8). Membranfiltrering är ett exempel. PAK-slammet kan också avskiljas genom att genomgå olika steg, fällning, flockning, sedimentering och slutligen sandfiltrering (4). Det går åt mycket energi för att framställa aktivt kol, därför måste kapaciteten för adsorption av olika ämnen utnyttjas effektivt. Detta kan göras genom att använda recirkulation av aktivt kol för att på så sätt inte behöva tillsätta lika mycket nytt aktivt kol. Recirkulationen kan göras på olika sätt, det förbrukade aktiva kolet kan exempelvis föras tillbaka till den biologiska reningen och lämnar sedan anläggningen med överskottsslam som förbränns. Framställning av aktivt kol är som tidigare nämnts en mycket energikrävande process och därför kommer de flesta processlösningar med PAK att medföra en ökning av elförbrukningen på avloppsreningsverket (4).

Att få in PAK i en avloppsreningsprocess kan göras på olika sätt. Mängden PAK som ska doseras beror på olika faktorer, exempelvis vilken avskiljning som önskas eller hur mycket aktivt kol som ska recirkuleras. Det finns en sammanställning av följande nyckeltal (4):

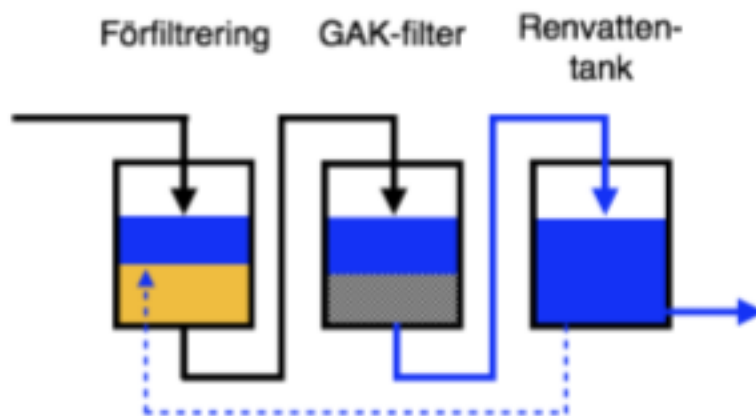
- 10-20 mg PAK/l i dosering
- Uppehållstider motsvarande ca 30 minuter

Om tillsatsen av PAK och den biologiska reningen sker i samma reningssteg, behövs inga extra kontaktreaktorer, då uppehållstiden i aktivslambassängen räcker för att läkemedlen ska adsorberas på det aktiva kolet. Det aktiva kolet avskiljs tillsammans med aktiva slammet (4).

2.3.2 Granulerat aktivt kol

En annan metod som kan användas i stället innefattar filtrering genom en bädd av granulerat aktivt kol. Som i fallet för tillsats av pulveriserat aktivt kol, är det bra att man tillsätter kolet efter att vattnet har renats från mycket av det organiska materialet, för att kolet ska kunna användas så effektivt som möjligt. En annan viktig faktor är att innehållet av partiklar ska vara lågt för att filtrets makrostruktur inte ska blockeras och förhindra ett effektivt utnyttjande av kolets mikrostruktur (4, 9).

Figur 2 visar en processutformning som har utvärderats med stor framgång i ett av de fem projekten FRAM (fullskalig rening av mikroföroreningar) som gjorts i rapporten från havsochvattenmyndigheten, där målet var att utvärdera avskiljning av organiska mikroföroreningar med granulerat aktivt kol (GAK).



Figur 2. Översiktlig skiss av förfiltrering med efterföljande filtrering genom granulerat aktivt kol i FRAM-projektet (4). Återgiven med tillstånd.

Processen för aktivt kolfilter påminner mycket om processen av sandfilter för polering av avloppsvatten. Densiteten är dock olika för kolet och sanden, där sandens densitet är högre, vilket påverkar backspolningen. Ett så kallat genombrott uppstår efter en viss tid då avskiljningen avtagit och uttrycks ofta i antal filtrerade bäddvolymeter. Detta innebär att avskiljningen försämras för ett eller flera ämnen. Vid genombrottet måste kolet ersättas med nytt eller regenereras och vid regenereringen mineraliserar de ämnen som adsorberats genom att kolet upphettas (4, 9).

Tillverkningen och regenereringen av aktivt kol kräver mycket energi, precis som för tillverkning av PAK. Denna process med filtrering genom GAK-filter ger, som i fallet med PAK, en liten ökning av energiförbrukningen på avloppsreningsverket. Det går åt mycket energi till att spola filtret (4, 10).

Följande nyckeltal har tagits fram för dimensionering av GAK enligt de projekt som gjorts och beskrivits i havochvattens rapport:

- Kontakttid i filtret: >10 minuter
- Filtreringshastighet: 6-10 m/h
- Regenerering: >20 000 bäddvolymeter

De filter som används vid processen för granulerat aktivt kol har ungefär samma kriterier som sandfilter, till skillnad från spolningen av filtret som anpassas efter uppströms processer och eventuell förbehandling och genomförs därför mer sällan än för sandfilter (4). Antal bäddvolymeter som behövs varierar från studie till studie, men i de försök som gjorts inom bl.a. FRAM uppgått till över 20 000 bäddvolymeter. För att få en bättre ekonomi och resurseffektivitet behövs långa intervall mellan kolbyten (4).

2.4 Avancerad rening med ozonering

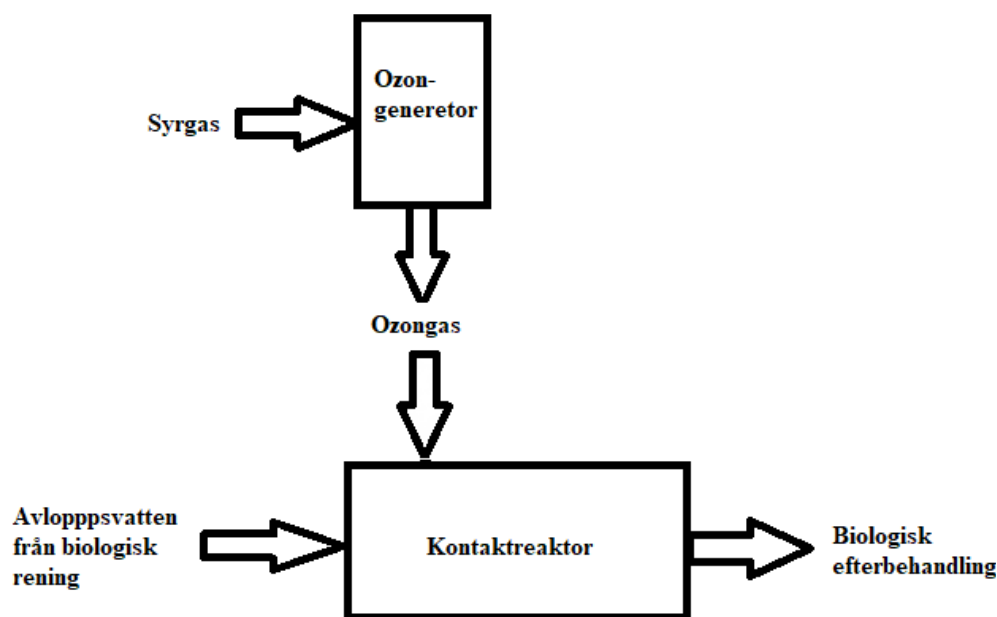
Ozonering är inte en helt ny oprövad reningsteknik (4, 11). Reningstekniken har sedan tidigare används inom dricksvattenproduktion för till exempel desinfektion (10, 12). Studier har visat att ozonering är en av de mest kostnadseffektiva reningstekniker för oxidation av svårnedbrytbara organiska föroreningar (11). Vid oxidation av föroreningarna som finns i avloppsvatten sker dock inte en fullständig nedbrytning av de organiska ämnena (8, 9). Olika experiment har visat att koncentrationen av organiskt kol inte förändras mycket efter ozonering (4). Ozonering verkar vara en reningsteknik som snarare omvandlar de organiska föroreningar än att fullständigt bryta ner dem (4, 9).

När ozonering transformerar organiska föroreningar bildas olika typer av transformationsprodukter (11, 13). Vissa transformationsprodukter är stabila medan andra är nedbrytbara (11). De flesta studier har visat att ozonering minskar toxiciteten i avloppsvatten, men det finns studier som har visat att även ekotoxikologiska transformationsprodukter kan bildas vid ozonering (4). En biologisk efterbehandling bör därför ske efter ozonering för att bryta ner de ekotoxikologiska transformationsprodukterna (2, 14).

Reningsteknik med ozon är inte selektiv (2). Allt organiskt innehåll i avloppsvatten genomgår ozonering, även de organiska föreningar som inte klassas som farliga föroreningar (4, 11). Det gör att ozonering kräver energi för att oxidera föreningar som inte behöver oxideras (4). Det är därför bättre att biologisk rena avloppsvatten innan ozonering för att minska ozonbehov och energibehov (4).

Ozongas (O_3), som används vid ozonering, bildas i en ozongenerator (4, 15). Eftersom ozongas är explosiv och instabil måste gasen generas på reningsverket då det inte är lätt och säkert att transportera och lagra gasen (4, 11). Syrgas (O_2), som används för att producera ozongasen, kan däremot importeras till reningsverket i flytande form och lagras i en syretank (15). Syrgas kan också produceras på reningsverket ur luften i atmosfären (11, 15).

Själva ozoneringen sker i en kontaktreaktor där ett flöde av avloppsvatten från biologisk rening och ett flöde av ozongas från ozongenerator reagerar med varandra (11, 15). Uppehållstiden i kontaktreaktor är ungefär 10–25 minuter, vilket gör att utrymmeskravet är lågt om man jämför med andra enhetsoperationer på ett reningsverk (4). Dosering av ozongas i kontaktreaktor kan enkelt ändras beroende på reningsbehov och hur stort vattenflöde som ska oxideras (2, 4). Denna flexibilitet är en stor fördel på ett avloppsreningsverk (4). Figur 3 nedan illustrerar översiktligt hur ozonering på ett avloppsreningsverk går till.



Figur 3. Denna figur illustrerar översiktligt hur en ozonanläggning på ett avloppsreningsverk ser ut baserat på beskrivningen ovan om ozonering. Själva ozoneringen sker i kontaktreaktorn. Enhetsoperationer som till exempel pumpar och även energibehov som behöver tillföras till enhetsoperationer har inte tagits med i figuren.

Den totala energianvändningen i olika ozonanläggningar kan skilja sig åt mycket beroende på hur anläggningsutformningarna ser ut (4, 11). Om syrgas, som används för att generera ozongas, produceras ur luft i atmosfären på avloppsreningsverket blir den totala energianvändningen större jämfört med om syrgas levereras till avloppsreningsverket (2, 16). Förutom energianvändningen för syrgasproduktion utgör en stor del den totala energianvändningen av energiförbrukning i pumpar och kylning av ozongenerator på ozonanläggningen (4, 16). Energianvändningen beror framför allt av ozonbehovet som i sin tur beror av mängden organiskt material i avloppsvatten som flödar in i kontaktreaktorn (16).

2.5 Introduktion av Gryaabs reningsverk

I arbetet studeras Gryaabs reningsverk på Hisingen, Ryaverket, närmare för att kunna avgöra om metoder så som aktivt kol och ozonering är möjliga att tillämpa på detta reningsverk. Gryaab kommer att vara en fallstudie genom rapporten. För att göra detta krävs en förståelse om hur reningsverket ser ut i dagsläget.

I slutet på 2018 var det 970 976 personer som var ansluta till Ryaverket, här räknades industrier samt andra verksamheter med genom att dela mängden tillfört BOD₇ från verksamheterna med 70 gram BOD₇ person och dygn för att få ut deras bidrag i personekvivalenter (1). BOD står för biokemisk syreförbrukning och är en indikation för renheten hos vatten, under sju dygn förvaras ett vattenprov tätt och syremängden mäts för att veta hur mycket syre som har oxiderats. Rent vatten har BOD 0 (17). Reningen fokuserar idag på att reducera mängden organiskt nedbrytbart material, totalkväve och totalfosfor (1).

Processen på Ryaverket, har liknande komponenter som de generella reningsstegen som presenterades ovan men processen är mer komplex, i den mening att det finns många reningssteg. I följande avsnitt presenteras processen mer utförligt. För att underlätta

förståelsen har även ett processschema över anläggningen lagts in i bilaga 1. På grund av liten text i figuren så är den inte tydlig, därför har processen även beskrivits i texten.

Först passerar vattnet genom ett grovgaller, följt av ett luftat sandfång och därefter fingaller. I dessa steg tas de stora partiklarna bort så som toapappers- och matrester. Detta förs bort för förbränning vid Renovas anläggning. Sedan förs vattnet vidare till försedimentering, därefter till det aktiva slammet och till sist till eftersedimenteringssteget (1). En del partikulärt material separeras bort i försedimenterings steget (primärslam) och förs vidare för behandling, vilket beskrivs senare, slam separeras även i eftersedimenteringstanken, där en del recirkuleras tillbaka till de aktiva slambassängerna. Resten först bort som överskottsslam (sekundärslam) Flödet förs vidare och delas upp mellan biobäddarna där nitrifikation sker. En viss del av detta flöde ut från den nitrifierande biobädden recirkuleras tillbaka till det aktiva slammet och blandas med inkommande avloppsvatten samt returslam från eftersedimenteringen för att åstadkomma en för-denitrifikation. Resterande flöde går sedan till en nitrifierande anläggning med rörliga bärare (s.k. MBBR) följt av en efterdenitrifikation i MBBR med tillsats av extern kolkälla. Det finns även en möjlighet att leda det nitrifierade avloppsvattnet från biobäddarna direkt till efter-denitrifikationen. Till slut passerar vattnet en skivfiltrering samt värmeväxlas med ett fjärrvärmesystem för att sedan släppas ut i älven (1).

Utsläppspunkten ligger 850 meter väster om Älvsborgsbron. Det primära slammet blandas med sekundärslammet och avvattnas, varefter slammet förs till en mesofil rötningskammare där biogas tillverkas. Biogasen förs vidare till Göteborgs Energi för att genomgå fler processer innan den går att använda som fordonsgas. En sista avvattning sker med hjälp av skruvpressar och sedan är slammet redo att föras vidare för att användas som gödsel i jordbruk eller också för tillverkningen av olika jordprodukter (1).

3 Metod

Under metoden beskrivs en mer genomgående del om genomförandet av rapporten. Då detta är en litteraturstudie, har olika databaser använts och under metoden kartlagts över hur dessa har använts.

3.1 Genomförande

För att uppnå projektmålen har en litteraturstudie gjorts. Det har gjorts litteratursökningar för att ta fram information om de olika reningsmetoderna som görs i Sverige respektive Schweiz, både inom forskning och tillämpningar. Exempel på tillämpningar är pilotexperiment som görs och har gjorts på olika reningsmetoder, såsom granulerat aktivt kol och ozonering. Specifikt Schweiz har valts att gå igenom lite mer noggrant då deras lagstiftning skiljer sig från svensk och är mycket mer framåtsträvande vad gäller rening av mikroföroreningar.

För att få fram relevant information och intressanta studier, har olika databaser från Chalmers biblioteks hemsida använts. Databaser som Web of Science, Scopus och PubChem. Vetenskapliga sökmotorer som Google Scholar har även visat sig vara en bra informationskälla för att hitta bland annat avhandlingar och andra publikationer från olika universitet, såsom KTH, Lund och exempelvis Zürich. Då forskningen inom reducering av mikropartiklar och då även de olika metoderna vi har valt att fokusera på är relativt nya, när det kommer till avloppsrening, så har information angående vissa delar varit svårtillgänglig och då har företag, kommuner och universitet kontaktas direkt via mejl eller telefon. Andra

sidor som vi har använt oss av är Naturvårdsverket, VA-teknik Södra, Svenskt Vatten, Havs- och Vatten myndigheten och Gryaab hemsida. Detta har gett en bred grund och är trovärdiga källor. En kostnadsuppskattning på de olika reningsmetoderna har presenterats. Med hjälp av en handbok skriven av IVL Svenska Miljöinstitutet, har en övergripande kostnadsuppskattning gjorts för pulveriserat aktivt kol, granulerat aktivt kol samt ozonering. Dessa reningsmetoder har sedan jämförts med varandra. När de olika reningsmetoderna jämförts har också en miljökonsekvensanalys gjorts. I miljökonsekvensanalysen kommer bland annat de kortsiktiga och långsiktiga effekterna på miljön att tas fram.

En intervju med tre representanter, Maria Neth, Susanne Tumlin och Gustaf Ernst, från Gryaab har gjorts och har lagt en viktig bas för vår fallstudie. Med anledning av utbrottet av Corona viruset ställdes studiebesöket in och istället hölls en intervju över Zoom. Maria Neth sitter även på avdelningen för vatten- och miljöteknik som industridoktorand och hennes expertis har använts i vår rapport. Som nämndes lite kort ovan så har Schweiz jämförts med Sverige, vad gäller lagstiftning av avloppsrening. Deras lagstiftning har presenterats, vad för relevant forskning, vilka tillämpningar som görs och även miljökonsekvenser på grund av lagstiftning har diskuterats. Här har liknande sökverktyg som nämns tidigare användas, men även schweiziska- och europeiska myndigheter, såsom EDA (Swiss Federal Department of Foreign Affairs), EAWAG (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), FOEN (Federal Office for the Environment) med flera. Alla källor som har använts har källkritiskt granskats.

4 Resultat: Sammanställning av det som sker i Schweiz

Under resultatdelen kartläggs först en bild av Schweiz och dess lagstiftning angående rening av avloppsvatten. Forskning från exempelvis Zürich beskrivs, tillämpningar och miljökonsekvenser av den nya lagstiftningen kartläggs också.

Eftersom Schweiz har legat i framkant när det kommer till att använda avancerad rening i avloppsreningsverk och även införa en lagstiftning så det är relevant att få en uppfattning om vad lagstiftningen innebär, vad för forskning som har gjorts samt vilka tillämpningar som finns i landet. Även bakgrunden till den nya lagstiftningen och varför det blev aktuellt från första början presenteras i detta avsnitt.

4.1 Lagstiftning om avancerad rening i avloppsreningsverk i Schweiz

Schweiz var det första landet att införa en lagstiftning på avancerad rening av läkemedel. Det beror på lite olika faktorer men den mest avgörande anledningen är att forskning har visat på att det fanns effekter av avloppsvatten på vattenmiljön som var i närheten av utsläppen (4). En annan faktor var att de vill skydda dricksvattnet eftersom föroreningar från reningsverken kunde påverka detta (4).

Lagen trädde i kraft år 2016 och grundades på många olika forskningsprojekt som visade att genom att reducera mängden mikroföroreningar så skulle det förbättra kvaliteten på vattnet märkbart. För att utföra avskiljningen av läkemedel krävdes nya reningsmetoder i reningsverket, dessutom skulle kostnaderna för installationen samt reningen öka (4). Eftersom befolkningen i Schweiz själva var intresserade av denna förändring så kommer det till stor del att finansieras av förhöjda kostnader för vatten- och avloppsavgifter (4). Va-taxan innan detta tillägget låg på cirka 0,7 CHF/m³ och var förväntad att öka med ungefär 10-20% när den avancerade reningen tillkom (15, 18). Denna avgift kommer att vara förhöjd under

utbyggnaden av de olika reningsverken och sedan när investeringarna är gjorda så kommer avgifterna att förändras och troligtvis sänkas om man är kopplad till större reningsverk (15, 18). Investeringskostnader kommer även att täckas med hjälp av en fond som startats där alla invånare kommer att betala 9 CHF per person och per år fram tills år 2034 (19). Anledningen till att intresset är så pass stort är att reningsverken ligger långt ifrån havet och därmed kommer de små skillnaderna och ansträngningarna som görs ha en stor påverkan (4).

Den nya lagstiftningen gäller de större reningsverken i Schweiz, alltså större än 80 000 pe. De reningsverk som är mindre kommer generellt inte få krav på införandet av avancerad rening, däremot kommer vissa mindre att slås ihop med större reningsverk. Utbyggnaden utav 100, av totalt ungefär 750, reningsverk har planerats vara klart till år 2040 (4).

Listan med ämnen som ingår i lagen finns nedan i tabell 1. Det finns två olika grupper bland ämnena som är baserade på hur lätta de är att reducera från avloppsvattnet med de två olika teknikerna aktivt kol och ozonering. Den första gruppen, som är enklare att reducera, består av alla ämnen förutom candesartan och ibesartan samt två ämnen som ej togs med i denna lista eftersom de ej var läkemedel (mekoprop, som är en biocid, och bensotriazol som är ett medel för att förhindra korrosion). Reningsverken väljer sex av ämnena på listan som skall analyseras, av dessa måste fyra väljas från första gruppen och två från den andra. Kravet är att mer än 80% reduktion skall ske på 90% av de ämnen man har valt ut att testa (4). Reduceringen ska ske med avseende på vattnet som kommer in till reningsverket och vattnet som sedan går ut.

Tabell 1. I tabellen visas de läkemedel som finns med i den schweiziska lagstiftningen (4, 20).

CAS-nummer	Substans	Användningsområde
71675-85-9	Amisulprid	Lugnande
298-46-4	Karbamazepin	Smärtstillande
59729-33-8	Citalopram	Antidepressiv
81103-11-9	Klaritromycin	Makrolid antibiotika
15307-86-5	Diklofenak	Antiinflammatorisk
58-93-5	Hydroklortiazid	Antihypertensivt medel
37350-58-6	Metoprolol	Antihypertensivt medel
93413-69-5	Venlafaxin	Antidepressiv
139481-59-7	Candesartan	Blodtryckssänkande
138402-11-6	Ibesartan	Antihypertensivt medel

Listan på olika ämnen är ständigt under arbete och uppdateras kontinuerligt då man hittar nya ämnen som kommer kunna påverka vattenmiljön och naturen negativt. Hormonstörande ämnen är till exempel inte med på denna listan, men är med i EU:s bevakningslista samt Sveriges prioriteringslista som har nämnts senare i avsnitt 5.1 (4).

4.2 Forskning i Schweiz

Schweiz har kommit väldigt långt vad gäller forskning på rening av avloppsvatten och hantering av mikroföroreningar. Avloppsvattnet från 14 kommuner i Schweiz renas i vattenreningsverket ARA i Schönaue och är en av de större anläggningarna för avloppsrening (19). Mellan åren 2016 till 2019 byggdes ARA Schönaue ut för att kunna utföra den avancerade reningen, genom dosering av aktivt kolpulver i avloppsvatten och därefter avskiljning med trumfiltrering, var det första stora projektet som genomförts globalt. Denna teknik där det aktiva kolpulvret tillsätts direkt, är fördelaktig jämfört med ozonering på grund

av att det inte uppkommer några farliga biprodukter. Resultatet var väldigt bra och reningskapaciteten har varit hög och den lagstadgade elimineringskapaciteten uppnås med god marginal, där en medelhög elimineringskapacitet är över 80 %. Mängden doserat aktivt kol för denna eliminering ligger till och med under det förutspådda behovet från piloten. Under arbetets gång förbättrades även kapaciteten avsevärt för det biologiska reningssteget (19).

Mycket forskning har gjorts på EAWAG som är ett institut kopplat till tekniska högskolan i Zürich (ETH). I en av deras rapporter som heter 'Micropollutants: the Swiss strategy' är bakgrunden från tidigare projekt att utbytet av fisk minskat, hormonella störningar har påträffats, otillräcklig utspädning av behandlat avloppsvatten och installation av ytterligare behandlingssteg (21). Studien, där 11 specifika mikroföroreningar har studerats, visar att mångfalden av arter minskar när avloppsvatten når ytvatten.

Avloppsreningsverket ARA Neugut använder sig av ozonering för att rena avloppsvatten. En annan anläggning renar avloppsvattnet med pulveriserat aktivt kol, sandfilter och biologisk rening istället, denna heter Bachwis Herisau. Dessa två metoder har visats minska föroreningarna med i genomsnitt 80 %. De studerade föreningarna är diklofenak, trimethoprim, sulfapyridin, carbamazepin, clarithromycin, sulfatmethoxazol, metoprolol, methylbenzotriazol, bezafibrat, benzotriazol, atenolol, mecoprop, atrazin och iopromid. Vissa av dessa ingår i tabell 1 ovan där reningsanläggningarna måste välja sex att reducera. Resultatet var också en minskning av ekotoxiska effekter och ekonomisk fördelaktighet. Problemen är mycket kopplade till spädning av avloppsvatten och de två alternativ som studerades var ozonering och pulveriserat aktivt kol (21). I en annan rapport som heter 'Elimination of micropollutants- the Swiss approach', nämns bland annat projektet 'Strategy Micropoll' som var ett projekt som leddes av FOEN (Federal Office for the Environment), se avsnitt 4.4.4. (22). Problemet med urlakning av svårnedbrytbara föreningar och effekterna på vattnets fauna och flora tas upp i rapporten. Detta visade sig leda till betydande belastning på vattenresurser, kostnadsökning för avloppsrening och folk som är villiga att betala (22).

I en studie 'Treatment of micropollutants in municipal wastewater: ozone or powdered activated carbon?' studerades 70 olika föreningar och det visade sig att 50 av dessa togs bort i genomsnitt i de konventionella metoderna (23). När ett nitrifikationssteg lades till ökade borttagandet av flertalet ämnen signifikant. Både ozonering och pulveriserat aktivt kol minskade koncentrationen av de kvarvarande föreningarna i genomsnitt med mer än 70 % med en genomsnittlig ozondos på 5,65 mg ozon per liter eller en genomsnittlig PAK dos på 13 mg per liter. Ozoneringen visade sig vara mer förenings-specifik än PAK och den var också mer effektiv på att nästan helt och hållet ta bort vissa föreningar, medan PAK var bättre på ett brett spektrum av mikroföroreningar. Effektiviteten av ozoneringen var starkt beroende av mikroföroreningar med elektronrika delar, medan effektiviteten av PAK förbättrades för hydrofoba eller positivt laddade föreningar. Båda metoderna visade sig vara ekonomiskt lönsamma, PAK var generellt bättre på att minska toxiciteten av utsläppen (23).

4.3 Tillämpning av ozonering respektive aktivt kol i Schweiz

I och med att den nya lagen trädde i kraft i januari 2016 har flera avloppsreningsverk med aktivt kol respektive ozonering redan byggts ut i Schweiz (15, 24). De reningstekniker som har tillämpats mest, när det gäller reduktion av läkemedelsrester, är rening med hjälp av pulveriserat aktivt kol (PAK) och ozonering (11, 24). I detta avsnitt kommer två olika avloppsreningsverk att beskrivas. Det ena avloppsreningsverket är ARA Neugut i Dübendorf

där en ozonanläggning har byggts ut (15, 25). Det andra avloppsreningsverket, som kommer att presenteras, är ARA Bachwis i Herisau där avloppsvatten renas med hjälp av pulveriserat aktivt kol (15).

4.3.1 Tillämpning av ozonering i Schweiz

ARA Neugut i Dübendorf är Schweiz första fullskaleanläggning med ozonering (26). Själva reningsverket har funnits i Dübendorf sedan 1965 och totalrenoverades 1990 för att utöka den biologiska reningen (15). I samband med den nya lagen byggdes en ozonanläggning på reningsverket och ozonanläggningen togs i drift 2014 (27). Maxflödet in till Ara Neugut är 660 l/s och ozonanläggningen är anpassad till att klara detta flöde (15). Ungefär 50 % av det organiska material som flödar till reningsverket kommer från olika livsmedelsindustrier (28).

Uppehållstiden i kontaktreaktorerna uppgår till 13 minuter när det är maxflöde in till reningsverket (15). Vid medelflödet är uppehållstiden cirka 30 minuter (15). Uppehållstiden kan också variera eftersom kontaktreaktorerna har två olika doseringspunkter på ARA Neugut (15). Lägsta reaktionstid i kontaktreaktorerna är ungefär 10 minuter (15). När kontaktreaktorerna byggdes på reningsverket sparades plats för byggandet av ett nytt sandfilter som är tänkt att användas för att biologisk efterbehandla vattnet efter ozoneringen (28). Det sker en biologisk efterbehandling efter ozonering för att rena vattnet från farliga bi- och transformationsprodukter som bildas under ozoneringen (25, 28). Filtret, som används för att biologisk efterbehandla vattnet, spolas varannan dag (15).

Ara Neugut producerar inte egen syrgas utan reningsverket köper in flytande syre från ett företag som har verksamhet i samma stad (15). Företaget ansvarar för leverans, påfyllnad och säkerhetssystem (15). Syret levereras ungefär en gång per månad och lagras i en lagringstank på reningsverket (15). Eftersom Ara Neugut inte behöver producera egen syrgas, som behövs för att tillverka ozongas, utgår energianvändning och kostnader för syrgasproduktion på ozonanläggningen (11). Syret köps dessutom från ett lokalt företag, vilket gör att miljöpåverkan och kostnader för transport blir relativt låga (2).

Ozongas måste dock genereras på reningsverket eftersom ozongas är instabil och explosiv och därmed inte lätt och säkert att transportera och lagra gasen (4, 15). På reningsverket uppgår dosering av ozongas till 0,35–0,92 g O₃/g DOC (15). Driften av ozonanläggningen har fungerat väldigt optimalt (15). Det finns flera ozondetektor och alarm på anläggningen eftersom ozon måste handskas varsamt (15).

4.3.2 Tillämpning av aktivt kol i Schweiz

Ara Bachwis i Herisau är Schweiz första fullskaleanläggning med dosering av pulveriserat aktivt kol (PAK) och anläggningen togs i drift 2015 i samband med att den nya lagen trädde i kraft (15). En stor del av flödet, som renas på reningsverket, kommer från textilindustri som bland annat släpper ut persistenta kemikalier, blek- och ytbehandlingsmedel (29). Maxflödet in till Ara Bachwis är 310 l/s men normalflöde brukar vara ungefär 120 l/s (15).

Avloppsvatten, som flödar in till Ara Bachwins, renas först med mekanisk och biologisk rening (aktivslamprocess) innan vattnet leds vidare till PAK-anläggningen (29). Överskottsslam som uppstår efter behandling med pulveriserat aktivt kol avvattnas till en torrhalt (TH) på 10% (15). Slammet innehåller både biomassa och pulveriserat aktivt kol som har absorberat bland annat läkemedelsrester (29). Efter avvattning transporteras slammet till en lokal anläggning för rötning och förbränning av slammet (15).

Dosering av pulveriserat aktivt kol uppgår till 20 mg/l (15). PAK-doseringen varierar mycket eftersom doseringen är beroende av mängden organiskt material i vattenflödet (11). Vid flödet 170 l/s uppgår reaktionstiden i kontaktreaktorena till ungefär 30 minuter (15). Fe^{3+} doseras till PAK-steget för att underlätta sedimenteringen (15). Pulveriserat aktivt kol recirkuleras till biosteget för att maximera adsorptionen (15).

Densitet på pulveriserat aktivt kol, som levereras till reningsverket, varierar mycket (15). Vägning utförs därför väldigt noggrant när suspensionen bereds. Det är också viktigt att spola torrt pulveriserat aktivt kol med vatten vid uppmätning och dosering för att undvika igensättning (15). Ara Bachwins utför många batchtester på olika kolsorter innan den optimala kolsorten väljs ut och används i minst ett år (15). Den valda kolsorten byts ut efter ett år om bättre alternativ hittas (15).

4.4 Kartläggning och bakgrund till den nya lagstiftningen i Schweiz

För att förstå anledningen till den nya lagstiftningen för utsläpp av mikroföroreningar i Schweiz via avloppsvattnet, så behöver bakgrunden till den nya lagstiftningen kartläggas. Projekten och programmen som lade grunden för lagstiftningen kommer här presenteras. Något som även måste tas med i åtanke är att Sverige och Schweiz är två mycket olika länder, inte minst storleksmässigt men även till geografin. Schweiz som ligger i centrala Europa, med flertalet länder runtomkring och inget hav, tillskillnad från Sverige som har så pass mycket kust. Detta ger olika förutsättningar när det kommer till miljökonsekvenser.

4.4.1 Bakgrund till den nya lagstiftningen i Schweiz

Redan innan den nya lagstiftningen fastslogs 2016 så har mycket forskning angående mikroföroreningar i det schweiziska avlopps- respektive dricksvatten gjorts (30). Mycket av denna forskning visar att mikroföroreningar är ett nutida och framtida problem i Schweiz (31). En studie genomfördes av NAWA (National Surface Water Quality Monitoring Programme) för att se över tillståndet på schweiziska vattenreningsverk. Studien visade att av 111 olika reningsverk kvalificerades 30 % av dessa att vara allvarligt försämrade för den akvatiska närliggande miljön (30). De visades vara försämrade i form av deras förmåga att stödja deras naturliga biologiska och ekologiska funktioner. Vilket innebär alltifrån att vara en rik livsmiljö för fisk till att tillhandahålla säkert dricksvatten för människor.

Ett antal forskningsprojekt genomfördes i och med den nya lagstiftningen och har till stor del lagt grunden för lagstiftningen. Dessa studier var uppdelade i två delar: Den ena delen vid namn 'Project Strategy Micropoll' som fokuserar på mikroföroreningar som kommer från avfallsvatten (32), som presenteras redan i avsnitt 4.2. Det andra projektet var i sig uppdelad i flertalet mindre delar, vid namn 'Projekt Fishnet: Declining fish yields in Switzerland' och 'National research program 50 endocrine disruptors'(33-36). Dessa studier var uppdelade i två delar: Den ena delen vid namn 'Project Strategy Micropoll', som fokuserar på mikroföroreningar som kommer från avfallsvatten (32). Det andra projektet var i sig uppdelad i flertalet mindre delar, vid namn 'Projekt Fishnet: Declining fish yields in Switzerland' och 'National research program 50 endocrine disruptors'(33-36). De två sistnämnda projekten har haft ett fokus på den minskade fiskpopulationen i Schweiz och hur mikroföroreningar med hormonstörande ämnen påverkar fiskar, men även människor. Det har gjorts många andra relevanta studier, men de sistnämnda har lagt grunden för den nya lagstiftningen och därför relevanta att kartlägga. De olika projekten presenteras nedan:

4.4.2 Project Fishnet: Declining fish yields in Switzerland

Project Fishnet lanserades 1998 på grund av en 50 %-ig minskning av brun öring under en tidsram på 15 år (33). Detta upptäcktes i många floder och strömmar runtom Schweiz och

projektet hade som mål att utvärdera den bakomliggande orsaken till den uppenbarliga minskningen av brun öring. Projektet tog ungefär 5 år och en hel del mindre projekt gjordes vid sidan om för att få en större uppfattning om orsakerna och olika infallsvinklar. Projektet har även lagt grunden för framtida projekt. Resultatet av studien visar att det inte endast är en bakomliggande orsak för minskningen av brun öring, utan det är många effekter tillsammans (33). Fokus var från början inte mikroföroreningar, men resultaten från många sidoprojekt som gjordes visade att mikroföroreningar inte kunde uteslutas som en av orsakerna (33).

4.4.3 National research program (NRP) 50: 'Endocrine Disruptors: Relevance to Humans, Animals and Ecosystems'

Det Schweiziska nationella forsknings programmet, förkortat NRP, la en stor grund för dagens strategi i den avancerade reningen i landet (34, 37). Projekten pågick mellan 2002 till 2007 och blev tilldelat ungefär 155 Mkr (35, 36). Programmet startades för att utveckla tekniska- och vetenskapliga strategier för att se över risker samt faror då kemikalier med hormonstörande aktivitet har ökat avsevärt i det schweiziska avloppsvattnet (34, 36).

Programmet hade även som mål att strukturera upp en konstruktiv dialog mellan industrin, myndigheter och forskare för att få ihop en generell överenskommelse över vad för inverkan dessa kemikalier har på människor, djur och ekosystem (34). Flertalet representanter från de olika nämnda grupperna gick sedan ihop och godkände de olika överenskommelserna och kom därmed överens om att utsläpp av dessa kemikalier måste ses över.

Från delprojektet 'UV-filters in Sun Screens' visar laboratoriestudier att vissa UV-filter har endokrina effekter hos däggdjur samt fisk och det har även hittats som rester i ekosystem (34). Det nämns även att UV-filter med en hormonstörande effekt endast är en liten del av kemikalier med just dessa egenskaper. Från delprogrammet 'Brominated Flame Retardants' visar det sig att bromerade flamskyddsmedel utgör en fara och risk (35). Från det tredje delprogrammet 'Endocrine Disruptors in Waste Water and in the Aquatic Environment' som är väldigt relevant för vårt projekt, klargörs det att kemikalier med hormonstörande egenskaper utgör både ett lokalt och regionalt problem i Schweiz (36). Detta problem har uppmärksammats specifikt i områden där utspädning av det behandlade avloppsvattnet i det mottagande vattnet inte är tillräckligt (1:10 eller mer) (36).

4.4.4 Strategy Micropoll

Under 2006 startades ett projekt vid namn Strategy Micropoll av FOEN (The Swiss Federal Office for the Environment) och EAWAG med målet att utveckla en strategi för att reducera mikropartiklar från hushållsavlopp (32). Mikroföroreningar är ett regionalt problem i Schweiz, där negativa konsekvenser på ekosystemen och ämnen som samlas i dricksvatten är konsekvenserna. En ekosystempåverkan som tas upp är sex stycken mikroföroreningar, diklofenak, östrogener, vissa antibiotika och andra föreningar, överskrider detektionskriterierna för vattenkvalitet. Dessa problem är störst i befolkningstäta regioner på grund av en ökad mängd avloppsvatten i ytvatten (32). När det gäller olika metoder för att få bort mikroföroreningarna tas ozonering och pulveriserat aktivt kol upp.

Projektet avslutades 2011 och la en viktig grund för kommande lagstiftning. De viktigaste frågeställningarna för projektet var: "Har mikroföroreningar från städerna en negativ effekt på ytvattnet och grundvattnet i Schweiz?", "Är den nuvarande teknologin tillräcklig effektiv vad gäller reduktion av mikroföroreningar eller bör dagens avloppsvattenreningsverk uppdateras med ytterligare reningssteg?" och "Hur kan vi mäta och bedöma den minsta effekten dessa mikroföroreningar har?" (30, 38). Resultatet av Strategy Micropoll var att det är både tekniskt- och ekonomiskt möjligt att få bort de flesta mikroföroreningar med avancerad

rening, antingen ozonering eller aktivt kol (37). Detta skulle enligt projektet leda till en stor minskning av mikroföroreningar och därmed vara ett bra tillvägagångssätt.

5 Resultat: Sammanställning av det som sker i Sverige

En sammanställning av aktiviteter inom Sverige beskrivs i detta avsnitt, såsom vad för forskning som har gjorts på LTH (Lund Tekniska Högskola) och KTH (Kungliga Tekniska Högskola). I detta kapitel presenteras fallstudien på Gryaab och hur de olika metoderna med aktivt kol och ozonering skulle kunna tillämpas på Ryaverket idag samt förstudien som pågår på Gryaab just nu. Utöver det beskrivs också olika pilotexperiment med aktivt kol eller ozonering som har gjorts i Sverige, såsom Himmerfjärdsverket, Nykvarnsverket, Ullareds reningsverk och Kalmar avloppsreningsverk. De prioriterade läkemedel som förekommer i avloppsvatten samt EU:s direktiv tas också upp i detta avsnitt för att kunna diskutera hur väl de olika metoderna reducerar läkemedlen.

5.1 Läkemedel som skall prioriteras i Sverige

För att kunna analysera olika reduceringsmetoder av läkemedel så måste avgränsningar göras kring vilka ämnen som skall studeras. Enligt EU:s miljödirektiv så finns en bevakningslista över kemikalier med hög prioritet när det gäller vattensystem och det vattnet som släpps ut från reningsverk till olika miljöer. Denna lista innehåller kemikalier där endast ett fåtal är läkemedel/hormoner, dessa är diklofenak, etinylöstradiol, östradiol, erytromycin, och två andra sorters makrolid antibiotika (3). Erytromycin är också en variant av antibiotika som tillsammans med de två makrolid antibiotika tillkom till listan senare (3, 39). Denna lista skapades för att år 2015/2016 kunna påbörja insamling av mätdata av dessa ämnen i olika vattenmiljöer, detta har gjort och görs fortfarande idag för det tros vara ämnen som kan ha en negativ påverkan på den närliggande miljön (3, 39).

I Sverige finns idag ingen lagstiftning kring vilka mängder av läkemedel som skall reduceras, till skillnad från Schweiz. Däremot så görs mycket forskning om vilka avancerade reningsmetoder som skulle kunna implementeras i svenska reningsverk och därmed vilka substanser som skall följas och mätas. Landstingens nätverk för läkemedel och miljö, Svenskt Vatten, Mistra Pharma och Naturvårdsverket har bidragit till en lista med de läkemedel som skall prioriteras i Sverige (40). Här ingår även de läkemedel som finns på EU:s bevakningslista däremot så saknas ett ämne som har lagts till på EU:s bevakningslista men som inte inkluderades i Sveriges prioritetslista. Denna substans heter azitromycin och är en av de två makrolid antibiotika som nämndes tidigare (40). Den lades till i listan nedan, tabell 2, som innefattar alla dessa läkemedel och det är utifrån dessa som de olika forskningsresultaten och pilotanläggningarna har utvärderats ifrån, med fokus på EU:s övervakningslista. CAS-nummer samt typ av substans, som är inkluderat i tabellen är tagen från ChemSpider (20).

Tabell 2. I tabellen visas bevakningslistan av läkemedel med CAS-nummer i Sverige (40).

CAS-nummer	Substans	Användningsområde
83905-01-5	Azitromycin	Makrolid antibiotika
85721-33-1	Ciprofloxacin	Antibiotika
59729-33-8	Citalopram	Antidepressiv
81103-11-9	Klarotromycin	Makrolid antibiotika
15307-86-5	Diklofenak	Antiinflammatorisk
114-07-8	Erytromycin	Makrolid antibiotika
50-28-2	Estradiol/östradiol	Hormon
57-63-6	Etinylestradiol	Hormon
86386-73-4	Flukonazol	Antimikrobiell
15687-27-1	Ibuprofen	Antiinflammatorisk
298-46-4	Karbamazepin	Smärtstillande
65277-42-1	Ketokonazol	Antimikrobiell
6533-00-2	Levonorgestrel	Preventivmedel
114798-26-4	Losartan	Antihypertensivt medel
37350-58-6	Metoprolol	Antihypertensivt medel
59-05-2	Metotrexat	Antineoplastiskt medel
22204-53-1	Naproxen	Antiinflammatorisk/smärtstillande
604-75-1	Oxazepam	Ångestdämpande läkemedel
79617-96-2	Sertralin	Antidepressiv
723-46-6	Sulfametoxazol	Antibiotika
27203-92-5	Tramadol	Smärtstillande
738-70-5	Trimetoprim	Antibakteriellt läkemedel
82626-48-0	Zolpidem	Lugnande

5.2 Forskning i Sverige

Det pågår en hel del forskning i Sverige idag vad gäller förbättring av reningstekniker för avloppsrening. Det här avsnittet kommer främst beröra forskning på Lunds tekniska högskola (LTH) och på kungliga tekniska högskolan (KTH), då de är i framkant vad gäller forskning kring avloppsrening. Forskningen som görs på LTH handlar mycket om ozonering och aktivt kol. Forskningen som görs på KTH däremot, handlar mer om att förbättra de reningsmetoder som redan finns idag och göra dem mer effektiva istället för att forska kring nya reningsmetoder.

5.2.1 Forskning på LTH

I en telefonintervju med Ellen Edefell (personlig kommunikation, Ellen Edefell, 05-03-20), doktorand på Lunds tekniska högskola, Inst. för kemiteknik/Sweden Water Research, menar Edefell att Lund fokuserar mycket på processtekniska lösningar i deras forskning. Det pågår just nu två stora projekt Lund. Det ena heter 'Bonus cleanwater' och startade i april 2017 och kommer avslutas i april 2020 (41). Syftet med projektet är att bestämma källor för olika utsläpp och utveckla tekniska lösningar och testmetoder för analyser av mikroplaster och mikroföroreningar. Bakgrunden till projektet handlar också om att minska tillförseln av läkemedelsrester och mikroplaster till Östersjön. Det finns ett nära samarbete med slutanvändarna för att:

- bestämma källor, avloppsvatten eller dagvatten, för utsläpp av olika mikroföroreningar och mikroplaster
- utveckla tekniska lösningar för nedbrytning och avskiljning av mikroföroreningar

- utveckla testmetoder för analys av mikroföroreningar i olika typer av vatten (dag-, lak- och avloppsvatten).

Målet är inte att hitta en enda lösning som passar alla föroreningar och vattendrag, utan handlar istället om att hitta olika lösningar för olika utmaningar (41). För att kunna utveckla reningstekniker för avloppsrening behöver energiförbrukningen bli lägre. En annan utveckling handlar om att ge upphov till mindre bildande av transformationsprodukter än de lösningar som finns i nuläget (41).

Man arbetar mycket i pilotskala i Lund. På Lundåkraverket arbetar man med läkemedelsrening i pilotskala. Man forskar på hur man kan bli av med läkemedelsrester i avloppsvattnet, genom två tekniker (41). Den ena är biologisk rening och den andra ozonering. I den biologiska reningen utnyttjas organismerna som finns på reningsverken naturligt och försöker specificera dem på läkemedelsrening (41). När det gäller ozoneringen tillverkas ozongasen på plats i en generator och sedan bubblas den igenom det relativt rena avloppsvattnet för att kunna plocka bort sådant som inte naturligt försvinner på reningsverken, till exempel läkemedelsrester. Förhoppningen är att applicera denna reningsmetod på de svenska reningsverken för att kunna bli av med läkemedelsresterna (41).

Det andra projektet som görs i Lund och pågår parallellt, heter 'Less is more'. Projektet är ett samarbete mellan fyra länder som gränsar till Östersjön Syftet med projektet är att på ett kostnads- och energieffektivt sätt undersöka och utvärdera reningsmetoder av mikroföroreningar (41). Granulerat aktivt kol används och filtret är tänkt att användas som ett sista reningssteg där mikroföroreningar kan adsorberas. Det finns pilotanläggningar i Sverige, Danmark och Litauen. På Svedala reningsverk i Sverige kommer en unik pilotanläggning byggas. Den kommer helt baseras på mekanisk rening med membran och kolfilter. I Danmark och Litauen, kommer kolfiltret att implementeras som slutsteg i processen. För att förhindra igensättning av kolfiltret i processen, vill man kunna separera fosfor, organiskt material och suspenderade ämnen från avloppsvattnet innan kolfiltret (41). Laboratieförsök kommer också göras och tillsammans med pilotförsöken ska man undersöka hur filtrets egenskaper påverkar absorptionen av mikroföroreningar. En annan sak som kommer testas är om restprodukterna kommer kunna användas till näringsåtervinning och biogasproduktion (41).

Den biologiska reningen är inte komplett och renar inte bort alla läkemedel. Vissa läkemedel försvinner dock nästan helt. Ibuprofen, exempelvis försvinner med den biologiska reningen som finns idag, till 99 % (41). Vilka läkemedel som går att rena bort och inte med biologiska metoder beror på den kemiska strukturen hos läkemedlet. Vissa hormoner, samt diklofenak bryts knappt ned men där kan ozonering och aktivt kol komma in för att på så sätt bryta ned dessa föreningar.

På intervjun förklarade Edefell att analyskostnaderna för läkemedel är mycket dyrare än för kväve och fosfor. Edefell berättade vidare att i framtiden kommer de fortsätta att titta vidare på processlösningar som är kopplade till verkligheten (personlig kommunikation, Ellen Edefell, 05-03-20). Det ska alltså finnas ett samband mellan den forskning som görs och vad som praktiskt görs på reningsverken.

År 2018 beviljade Naturvårdsverket och Svenskt Vatten medel för att starta en beställargrupp för sina medlemmar (42). Syftet med beställargruppen är att de ska underlätta införandet av avancerad rening av bland annat läkemedelsrester på svenska reningsverk men också bygga upp kunskap om mikroföroreningar. Beställargruppen består av cirka 20 personer från VA-

organisationer i Sverige. Beställargruppen ska bidra till en kostnadseffektiv teknik för avancerad rening, förstå var i processen mikroföroreningarna avskiljs och förstå hur utsläpp från avloppsvatten kan begränsas (42).

I en rapport där Edefell varit med att författa visar resultatet att Kalmar reningsverk effektivt kunde minska utsläppen av mikroföroreningar genom ultrafilter som behandlar renat avloppsvatten och efterföljande filter med granulerat aktivt kol. Efter ett års drift visar resultatet på goda reningsresultat (24). I studien utvärderades möjligheten att bygga ut Kalmar reningsverk och även andra, genom att använda ultrafilter och granulerat aktivt kol efter den konventionella reningen med bland annat aktivt slam. Resultatet visade att ultrafiltret avskilde partiklar effektivt med en porstorlek på 0,02 µm. Filtret gav också en hög reduktion av totalfosfor och bakterier (24).

När det gäller det granulerade aktiva kolfiltret adsorberades sedan de flesta mikroföroreningarna, många av dem som finns på EU:s bevakningslista, däribland diklofenak. Kombinationen med ultrafilter och GAK-filter fungerade bra ur driftsynpunkt. Det visade sig att GAK-filtret är en enkel teknik, medan ultrafilter kräver en högre kompetens och passar lite bättre för större verk. En framtida fullskaleanläggning i Kalmar diskuteras senare i rapporten. Kostnaderna skulle uppgå till 1,6 kr/m³ renat avloppsvatten för membranläggningen och 1,2 kr/m³ för GAK-filtren (24). Denna pilotanläggning diskuteras vidare i avsnitt 5.4.4.

Deltagare från bland annat LTH har varit med på en studieresa till Schweiz respektive Tyskland och sammanställt fakta från studieresan samt litteraturstudier har gjorts och presenteras i deras rapport (15). I Tyskland och Schweiz har de första avloppsreningsverken byggts ut som reducerar läkemedelsrester och andra svårnedbrytbara organiska föroreningar. Detta var också en anledning till varför studieresan genomfördes. Pulveriserat aktivt kol och ozonering är de metoder som ofta används vid för avancerad rening.

Ett problem som finns med ozonering är de nedbrytningsprodukter som bildas i efterbehandlingen och kan vara skadliga för recipientens ekosystem (15). Resultatet visade att flera av reningsprocesserna kan tillämpas på svenska reningsverk, medan andra kan vara lite mer svåra att tillämpa, till exempel då slam ska återföras till åkermark. När det kommer till energianvändning för ozonering uppstår det till stor del på reningsverket, medan det för aktivt kol uppstår i tillverkningen av aktivt kol och inte så mycket vid användningen. Rapporten kan medföra att processingenjörer, drifttekniker och andra som jobbar med driften av anläggningarna kan få en introduktion till tekniker som kan komma att bli aktuella i svenska avloppsreningsverk (15).

5.2.2 Forskning på KTH

Forskningen som görs på KTH handlar mycket om att förbättra de redan befintliga reningsmetoderna som finns för avloppsreningen. En del forskning har dock gjorts på nya reningstekniker, där Berndt Björleinius har forskat på både ozonering och aktivt kol, där tidiga studier på KTH med ozonering och adsorption till aktivt kol i samarbete med kommuner gjorts. I avhandlingen 'Pharmaceuticals- improved removal from municipal wastewater and their occurrence in the Baltic Sea' skriven av Berndt Björleinius diskuteras två forskningsområden, det första är en utvärdering av avancerad rening för att ta bort läkemedelsrester från kommunalt avloppsvatten och det andra om förekomst och nedbrytning av läkemedelsrester i Östersjön (43). Två pilotanläggningar, en stationär och en mobil, med bland annat aktivt kol och ozonering, designades vid fyra reningsverk. Resultatet visade att

granulerat och pulveriserat aktivt kol tog bort minst 95 % av läkemedelsresterna. Avskiljningsgraden ökade om doserad PAK recirkulerades eller kontakttiden var längre. Ozoneringen resulterade i en avskiljning på 87–95 % av läkemedelsrester vid en dosering av 5–7 g/m³.

I en telefonintervju med Andrew Martin, professor vid institutionen energiteknik för energiteknik på KTH berättar Martin att han har med några andra forskare på KTH tillsammans med några industripartner tagit fram en vattenreningsteknik som tar bort Oxazepam och ett 20-tal andra läkemedelsrester från avloppsvattnet (personlig kommunikation, Andrew Martin, 2020-03-11). Den nya tekniken kallas membrandestillering (MD) och har testats vid MD-anläggningen på Sjöstadverket. Martin säger att avloppsvatten inklusive läkemedelsrester värms upp med hjälp av fjärrvärme, en del av vattnet förångas och passerar ett tunt membran och genom en luftspalt. Vattnet kondenseras sedan mot en kall yta. Detta medför att det som blir kvar på membranets första sida är läkemedelsresterna och på den andra sidan produceras rent vatten. Det blir alltså en effektiv destillering. Tekniken visade sig ha en hög separation. En utmaning är dock att det går åt mycket energi i processen, vilket är en begränsning (44).

5.3 Tillämpning av ozonering respektive aktivt kol på Ryaverket

I dagsläget finns det inga utsläppskrav på läkemedelsrester på Ryaverket (1). Avloppsreningsverket renar bara avloppsvatten från fasta partiklar, organiskt biologiskt nedbrytbart material (BOD), fosfor och kväve (1). De reningsmetoder som används på Ryaverket idag är mekanisk, kemisk och biologisk rening, som nämns i avsnitt 2.2 samt 2.5 (1). I framtiden kommer sannolikt det bli utsläppskrav även på läkemedelsrester och de reningsmetoder som finns på avloppsreningsverket i nuläget kommer inte att kunna effektivt rena bort läkemedelsrester (15). Rening med hjälp av ozonering och aktivt kol är de reningsmetoder som har visat sig kunna rena bort läkemedelsrester väldigt bra (11, 15).

Ryaverket beviljades bidrag på 3.2 miljoner från Naturvårdsverket 2019 för att genomföra en förstudie om tekniker för läkemedelsrening och den kommer att pågå till oktober 2020 (45). En intervju (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10) gjordes med förstudiens projektledare Gustaf Ernst och Susanne Tumlin som är utvecklingsingenjör på Ryaverket och leder ett delprojekt av förstudien. På intervjun förklarade Ernst att förstudien är uppdelat i tre delar. Den första delen går ut på att utreda möjligheter att införa ozonering, pulveriserat aktivt kol och respektive granulerat aktivt kol på Ryaverket för att rena bort läkemedelsrester. I delprojekt 2 ska labbtester och klargörandestudier göras för rening med hjälp av ozonering och pulveriserat aktivt kol. I delprojekt 3 ska en hållbarhetsanalys av de olika alternativen göras.

På intervjun berättade Ernst vidare att förstudien är det första steget i omställningen av Ryaverket och de olika alternativa reningsmetoderna ska utvärderas. Efter förstudien görs en förprojektering där implementering av reningsteknikerna undersöks noggrannare och därefter görs projekteringen av omställningen innan den valda reningsmetoden sedan ska installeras på Ryaverket. Tumlin betonade att även om förstudien inte är det slutliga underlaget för omställningen ska förstudien vara tillräckligt noggrant för att kunna ta beslutet om vilken reningsmetod som ska implementeras på Ryaverket.

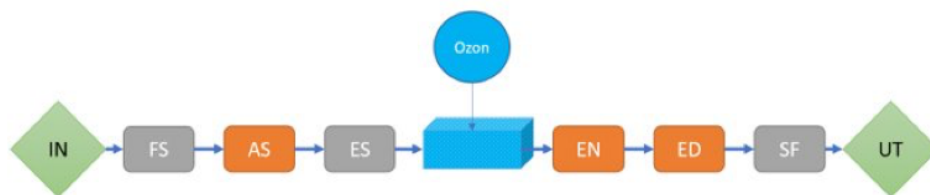
5.3.1 Implementering av Ozonering

Under intervjun diskuterades det hur och var på Ryaverket implementering av ozonering skulle ske. Ernst fortsatte att förklara hur avloppsvatten skulle kunna renas med hjälp av

befintliga reningsmetoder i kombination med ozonbehandling och han presenterade även ett flödesschema (se figur 4). Det är viktigt att notera att figur 4 inte visar vad som först händer med avloppsvatten när vattnet når reningsverket. Avloppsvatten från exempelvis hushåll innehåller ofta pappershanddukar och annat skräp som har bland annat spolats ner i toaletten. Eftersom ozonering inte är selektiv, reagerar allt organiskt innehåll i avloppsvatten med ozongas (2). Avloppsvatten renas därför först med hjälp av mekanisk och biologisk rening innan vattnet behandlas med ozonering för att minska ozonbehov och därmed minska energibehov i ozonanläggningen (4). Mekanisk och biologisk rening kan läsas mer om i avsnitt 2.2 och 2.5.

Precis som figur 4 visar, sker ozonbehandlingen efter försedimentering (FS), behandling med aktivt slam (AS) och eftersedimentering (ES). Ernst förklarade på intervjun att Ryaverket kommer behöva köpa in en reaktor där flödet från eftersedimentering och ett flöde av ozongas får reagera med varandra. Ernst berättade vidare att ozongasen måste genereras på reningsverket eftersom det är svårt att lagra och transportera gasen då den är explosiv och instabil.

Under ozoneringen kan det bildas transformationsprodukter och biprodukter som är skadliga för människor och miljön (4). Ernst nämnde att bromat, som är cancerogent, kan bildas vid ozoneringen om bromid finns i avloppsvatten. Ernst förklarade att en efterbehandling bör ske efter ozonering för att rena avloppsvatten från farliga transformationsprodukter och biprodukter. Precis som figur 4 visar, efterbehandlas avloppsvattnet med befintliga reningsmetoder för efternitritifikation (EN), efterdenitritifikation (ED) och sist med skivfilter (SF). Dessa reningsmetoder kan läsas mer om i avsnitt 2.2 och 2.5.



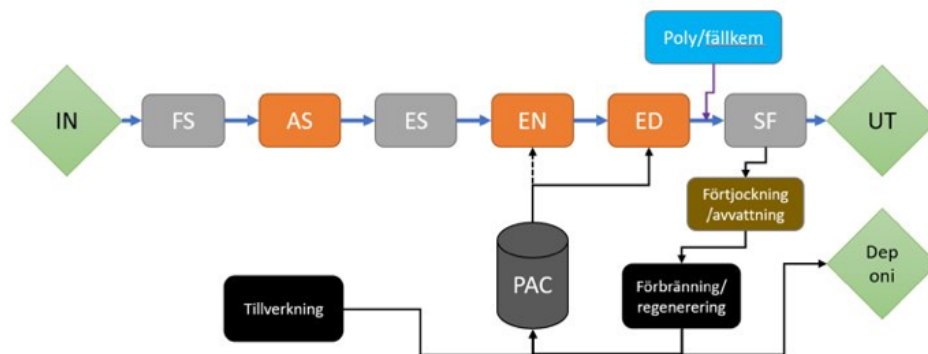
Figur 4. Figuren presenterades på intervjun och illustrerar hur ozonbehandling skulle kunna implementeras på Ryaverket. Den visar hur avloppsvatten renas med hjälp av de reningsmetoder som finns idag i kombination av ozonering.

5.3.2 Implementering av pulveriserat aktivt kol

I förstudien utreds också hur avloppsvatten skulle kunna renas med hjälp av de reningsmetoder som används idag i kombination med pulveriserat aktivt kol (PAK). Figur 5 nedan illustrerar reningsprocessen som har tagits fram i förstudien. Precis som flödesschemat i figur 5 visar, sker försedimentering, behandling med aktivt slam och eftersedimentering innan avloppsvatten behandlas med pulveriserat aktivt kol. På intervjun förklarade Ernst att pulveriserat aktivt kol lagras och doseras antingen till reaktor för efternitritifikation (EN) eller reaktor för efterdenitritifikation (ED). Ernst påpekade att det bästa alternativet är att dosera till reaktor för efternitritifikation (EN) för att få längre uppehållstid (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Resultat i förstudien har visat att det krävs en lång uppehållstid för pulveriserat aktivt kol ska kunna reagera med läkemedelsrester.

Nästa steg i reningsprocessen är att fånga upp det aktiva kolet på befintliga skivfilter (SF) för att avskilja det aktiva kolet från vattnet. Precis innan skivfiltreringen tillsätts polymer för att det aktiva kolet ska kunna fastna lättare på skivfiltret. Ernst betonade att det utreds fortfarande

om det aktiva kolet samlas upp helt och hållet på befintliga skivfilter. Slammet från skivfiltreringen kommer innehålla både biomassa och pulveriserat aktivt kol som har absorberat läkemedelsrester. Slammet avvattnas för att sedan förbrännas. Ernst förklarade att Ryaverket kommer behöva köpa in nytt aktivt kol hela tiden eftersom det förbrukade aktiva kolet förbränns och inte återvinns. Ernst lyfte också fram att pulveriserat aktivt kol sliter på befintliga utrustningar på reningsverket, exempelvis pumpar.



Figur 5. Figuren presenterades på intervjun och illustrerar hur pulveriserat aktivt kol skulle kunna implementeras på Ryaverket. Den visar hur avloppsvatten skulle kunna renas med hjälp av de reningsmetoder som finns idag i kombination med pulveriserat aktivt kol. PAC (Powder Activated Carbon) är förkortningen för pulveriserat aktivt kol på engelska.

5.3.3 Implementering av granulerat aktivt kol

Den sista alternativa reningsmetod som utreds i förstudien är hur avloppsvatten kan renas med hjälp av reningsreningsmetoder som finns i dagsläget i kombination med granulerat aktivt kol. Figur 6 som Ernst presenterade på intervjun liknar mycket den befintliga reningsprocessen på Ryaverket som kan läsas mer om i teoridelen. I flödesschemat nedan behandlas inte avloppsvatten med granulerat aktivt kol förrän i slutet av reningsprocessen. På intervjun betonade Ernst att ett filter med granulerat aktivt kol upptar en väldigt stor yta, vilket är ett stort problem, då det inte finns mycket ledig plats på Ryaverket.

En viktig fråga som utreds är hur mycket vatten som kan köras igenom filtret med granulerat aktivt kol innan filtret är mättat på mikroföroreningar och måste bytas ut. Ernst påpekade att kostnader för filtret med granulerat aktivt kol blir stora om vattnet som körs igenom filtret är förorenat eftersom filtret då måste bytas ut oftare. Ernst berättade vidare att i denna process är vattnet som körs igenom filtret fri från partiklar eftersom avloppsvatten behandlas på slutet av reningsprocessen (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10).



Figur 6. Figuren presenterades på intervjun och illustrerar hur granulerat aktivt kol skulle kunna implementeras på Ryaverket. Den visar hur avloppsvatten skulle kunna renas med hjälp av de reningsmetoder som finns idag i kombination med granulerat aktivt kol.

5.4 Pilotexperiment i Sverige

Detta avsnitt handlar om olika pilotexperiment som har utförts i Sverige som innefattar avancerad rening med antingen granulerat aktivt kol eller ozonering, pulveriserat aktivt kol har inte täckts i denna del då det fanns svårigheter i att hitta rapporter om svenska reningsverk som testat denna metod i pilotskala. Ett pilotexperiment innebär att metoderna för avancerad rening testas i reningsverket med ett mindre flöde än det vanliga. Resultatet som kommer att presenteras av dessa olika pilotprojekt kommer att vara den procentuella reduktionen av läkemedel, men eftersom de olika anläggningarna är placerade på olika geografiska platser så kommer inte koncentrationerna in till anläggningen av varje läkemedelssubstans vara densamma. Vilket i sin tur kan ge ett missvisande resultat då det kan vara svårare att reducera låga koncentrationer med 50% jämfört med om de är höga koncentrationer.

5.4.1 Himmerfjärdsverkets pilotanläggning med metoden ozonering

Ett reningsverk som har testat ozonering i pilotskala är Himmerfjärdsverket i Grödinge. SYVAB (Sydvästra Stockholmsregionens VA-verksaktiebolag) som äger och driver reningsverket, bad IVL Svenska Miljöinstitutet att genomföra pilotexperimentet år 2013. Enligt Miljörapporten från år 2013 så är den maximala belastningen för anläggningen 381 014 pe. Efter alla reningsstegen förs vattnet ut till Himmerfjärden (46).

Under två månaders tid (januari och februari år 2013) utfördes pilotexperiment genom att det utgående vattnet från luftningen passerade ozoneringsanläggningen för att sedan föras tillbaka till mellansedimenteringsbassängerna (46). Ozonanläggningen var från WEDECO Xylem (Modular 4HC), den bestod av ett reaktionskärl på 13,9 liter varav 15 liter syrgas kunde levereras från syrepaketet per timme (med ett tryck på 0,5 bar). Vattenflödet till pilotanläggningen var endast 100 l/h. Fyra olika ozondoser (2,1, 3,6, 6 och 9 mg O₃/l) testades i detta pilotexperiment. Studien omfattar ungefär 20 läkemedel, dessa finns nedan i tabell 3. Dessa läkemedel har tidigare visat sig vara vanligt förekommande att passera genom reningsverk (47).

Pilotanläggningen testades med olika ozonhalter 2,1 mg O₃/l, 3,6 mg O₃/l, 6 mg O₃/l och 9 mg O₃/l för att kunna konstatera vilken dos som är mest effektiv. Slutsatsen tydde på att med en ozondos på över 9 mg O₃/l ger en rening av alla läkemedel till låga halter men med en så hög dos kan även fler farliga ämnen bildas av ozonet, enligt rapporten är konsekvenserna av detta ännu inte kartlagt. Alltså rekommenderas en dos på 6 mg/l vilket skulle ge en god rening av många läkemedel, däremot innan dosen kan bestämmas för en fullskalig anläggning, så bör fler tester på mikroföroreningar analyseras för att få mer underlag (47).

Nedan i tabellen 3 visas koncentrationerna av de läkemedel som skulle testas eftersom de förekom i vattnet som lämnar anläggningen, samt koncentrationen av läkemedel då ozondosen var 6 mg/l. Reduceringen av varje substans visas även också i kolonnen till höger i samma tabell (47). Reduceringen av doxycyklin är negativ, vilket innebär att det inte reduceras utan att mängden efter ozoneringen är större jämfört med reningen utan ozonering, detta var inte kommenterat i rapporten men det stod att resultaten har påverkats av analysosäkerheten (47).

Tabell 3. I tabellen visas resultatet av ozonförsöket vid Himmerfjärdsverket, koncentrationen innan och efter ozoneringen samt den procentuella reduceringen (47).

Substans	Koncentration innan ozonering (µg/l)	Koncentration efter ozonering (6mg O ₃ /liter) (µg/l)	Procentuell reducering (%)
Diklofenak	0,607	< 0,032	95
Enalapril	< 0,022	< 0,022	Gick ej att mäta
Etinylöstradiol	< 0,200	< 0,200	Gick ej att mäta
Furosemid	0,961	< 0,100	90
Sulfametoxazol	0,037	< 0,009	76
Hydroklortiazid	1,600	< 0,006	100
Ibuprofen	0,054	< 0,030	44
Naproxen	0,052	< 0,019	63
Östradiol	< 0,100	< 0,100	Gick ej att mäta
Östriol	< 0,100	< 0,100	Gick ej att mäta
Östron	< 0,050	< 0,050	Gick ej att mäta
Warafarin	< 0,004	< 0,004	Gick ej att mäta
Ramipril	< 0,015	< 0,014	7
Norfloxacin	< 0,055	< 0,051	7
Koffein	0,458	< 0,088	81
Atenolol	0,482	< 0,011	98
Ciprofloxacin	1,299	< 0,028	98
Paracetamol	0,099	< 0,0083	92
Terbutalin	< 0,030	< 0,025	17
Trimetoprim	0,147	< 0,0056	96
Ranitidin	0,154	< 0,036	77
Metoprolol	3,534	< 0,013	100
Oxazepam	0,351	0,062	82
Karbamazepin	0,539	< 0,0062	99
Ketoprofen	< 0,037	< 0,036	3
Finasterid	< 0,018	< 0,013	28
Amlodipin	0,224	< 0,010	96
Propanolol	0,139	< 0,0072	95
Citalopram	0,292	< 0,013	96
Noretindron	< 0,053	< 0,047	11
Bisoprolol	0,031	< 0,009	71
Progesteron	< 0,100	< 0,100	Gick ej att mäta
Simvastatin	< 0,024	< 0,014	42
Sertralin	0,016	< 0,010	38
Ketokonazol	< 0,020	< 0,016	20
Tetracyklin	0,105	< 0,031	70
Doxycyklin	< 0,074	< 0,078	-5

5.4.2 Himmerfjärdsverkets pilotanläggning med metoden granulerat aktivt kol

Himmerfjärdsverket har även testat att köra en pilotanläggning med membranbioreaktor (MBR), och granulerat aktivt kol för att se vilka olika resultat som kunde uppnås, detta gjordes också under året 2013 (48). Även detta projektet genomfördes av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Pilotanläggningen bestod av två seriekopplade kolonner i PVC med storlekarna 2 m högt och med en diameter på 1,5 m (48). Kolonnerna var fyllda med 14 kg granulerat kol (7 kg i varje) av typen Filtrasorb 400, Chemviron Carbon, vilket gav en kolbädd på 0,8 m höjd i varje kolonn. En dysa var placerad i mitten, på botten, av varje kolonn omgiven av grus. Kolonnerna hade inget lock och var öppna från toppen. Vattnet som kom ut ifrån MBR pumpades med en slangpump (WatsonMarlow 620 Du), till den första kolonnen via locket. I detta steg kunde flödet väljas mellan 0–600 l/h dock så täcktes alltid kolbädden av vatten. När vattnet runnit igenom den första kolonnen skickades det vidare till den andra kolonnen, på samma sätt via locket, här krävdes ingen pump utan kolonnerna placerades med en höjdskillnad (48).

Efter den andra kolonnen fanns en flödesmätare som gav det totala flödet samt flödet vid just den tidpunkten. Flödet kunde också kontrolleras manuellt. När vattennivån i kolonnerna blev för hög så backspolades kolonnen manuellt eller också så stoppades inkommande vatten så att backspolningen sedan kunde startas (48). Då kolbädden expanderar vid backspolning så sänktes flödet för att få utrymme för detta att ske, sedan så förde ett ventilsystem in luft från botten av kolonnen i ungefär två minuter, här sänktes flödet så pass att bädden expanderade till precis under bäddöverloppet. Detta gjordes för att slampartiklar skulle lossna från det aktiva kolet samt att filtret kunde blandas om. Sedan pumpades rent vatten upp underifrån för att tvätta bort slammet. Backspolningen tog sammanlagt fem minuter för varje kolonn och efteråt kördes processen igen vid behov. Proverna på vattnet togs efter MBR, den första kolonnen och efter den andra kolonnen (48).

Det var samma läkemedel som testades i detta pilotexperimentet som för pilotanläggningen med ozonering och resultatet visade att efter kolonn två kunde inga läkemedel mätas över kvantifieringsgränsen (LOQ står för level of quantification). Istället användes proverna från vattnet som kom ut från första kolonnen och då visas den mängd läkemedel som reducerats från MBR och första GAK filtret (48). Endast de läkemedel som var mätbara i vattnet in till pilotanläggningen togs med i tabellen. Resultaten finns nedan i tabell 4, här visas den procentuella reduceringen efter två olika tidsperioder. Den ena tidsperioden är efter 111 dygn i drift, med 14 dygns avbrott på grund av störningar, med en passerad mängd vatten på omkring 74 m³ (motsvarande 10 m³/kg kol i första kolonnen). Den andra provtagningen skedde efter 202 dygn där det uppskattas ha passerat 200 m³ vatten (motsvarande 28 m³/kg kol i första kolonnen) men på grund av att flödesmätaren inte fungerat under hela perioden så är detta endast en uppskattning.

I tabellen är vissa procentuella reduceringar angivna med > framför och detta innebär att minst denna reduceringen sker. Alla ämnen förutom koffein och ciprofloxacin var under kvantifieringsgränsen efter första kolonnen vilket innebär att det längsta mätbara värdet användes (48).

Tabell 4. Nedan i tabellen visas resultatet från pilotanläggningen med granulerat aktivt kol. Två olika tidsperioder togs med för att kunna jämföra resultaten, 111 dygn med 74 m³ vatten passerat, respektive 202 dygn med ca 200 m³ vatten passerat (48).

Substans	Procentuell reduktion (%) efter 111 dygn	Procentuell reduktion (%) efter 202 dygn
Diklofenak	>96	79
Enalapril	>84	>24
Furosemid	Gick ej att mäta	93
Sulfametoxazol	>96	58
Hydroklortiazid	>99	91
Ibuprofen	>99	90
Naproxen	>98	96
Warafarin	Gick ej att mäta	>65
Koffein	100	100
Atenolol	>99	84
Ciprofloxacin	97	97
Paracetamol	>95	Gick ej att mäta
Terbutalin	>88	Gick ej att mäta
Trimetoprim	>97	>93
Ranitidin	>99	>93
Metoprolol	>99	98
Oxazepam	>99	75
Karbamazepin	>99	83
Ketoprofen	>95	94
Amlodipin	>91	>60
Propanolol	>99	>98
Citalopram	>99	97
Bisoprolol	<99	>84
Simvastatin	>91	>69
Sertralin	>96	>99
Ketokonazol	>99	>97

Tetracyklin	>77	>89
-------------	-----	-----

För dessa resultaten angavs ingen uppehållstid av vattnet i GAK filtret, däremot genomfördes fler tester efter detta där rekommendationen av en uppehållstid på 10–15 minuter uppgavs. För att komma fram till det, testades tre olika uppehållstider, 16 min (52 l/h), 8,2 min (102 l/h) och 5,2 min (162 l/h) (48). Efter en uppehållstid på 8,2 min var resultatet en avskiljning på över 90% av de flesta ämnena förutom, endast sju av ämnena kunde fortfarande kvantifieras (48). Resultatet för denna anläggning är given i hur mycket vatten som passerat och vad det motsvarar i m³/kg kol, för att kunna jämföra det med andra filter.

5.4.3 Nykvarnsverkets pilotanläggning med metoden ozonering

Ännu ett reningsverk som har testat ozonering i pilotskala är Nykvarnsverket i Linköping. År 2014 så utförde Tekniska verken i Linköping AB och IVL svenska miljöinstitutet tester med ozonering under en period på 5 månader. Ett flöde på 1,5 m³/h leddes in till pilotanläggningen som lades till efter biosedimentationen. Syftet med denna studie var bland annat att utreda hur bra reduktionen av läkemedel var vid olika ozondoser där fokus låg på rening av vattenfasen och inte slammet (49). Nykvarnsverket är dimensionerat för 235 000 pe, men behandlar vanligtvis 180 000 pe. Efter reningsstegen släpps vattnet ut i Stångån. (49).

En extern pilotanläggning från Wedeco (EFFIZON GSO 10) kopplades in efter eftersedimentationen. Denna anläggning består av en syrgasproduktion av luft (pressure swing-metoden), ozongenerator (kapacitet 35 g ozon/h vid gasflöde 320 l/h), kylare, ozondestruktor, ozonmätare, reaktionskärl (två seriekopplade 115 liters kolonner. Ena kolonnen har nerströms- och den andra uppströmsflöde, båda har ozonblandning i botten med en diffusor och avgasningskammare (49). I avgasningskolonnen/avgasningskammaren ventileras restozon bort med backventiler (Mankell-ventiler) och en termisk-katalytisk destruktor. Sedan förs vattnet vidare till en utjämnings tank med bräddavlopp så att överskottet av löst ozon och syre kan reduceras genom luftning. Ytterligare löst syrgas reduceras i en provtagningstank genom stripping (en process där en komponent tas bort från en vätskeström med hjälp av en ångström) med kvävgas från syrgasgeneratoren. Vattenflöden åker sedan till biosteget som är ett nedskalat efterdenitrifikationssteg, där en kolkälla och fosforsyra doseras som motsvarar Nykvarnsverket efterdenitrifikation i fullskala. Därefter pumpas flödet vidare till den vanliga anläggningen efter inloppspunkten (49).

Från prover som togs efter det biologiska steget innan pilotanläggningen var i drift kunde 28 läkemedel detekteras av alla 42 läkemedel på den prioriterade listan. Utifrån dessa så visades endast läkemedel med en riskkvot på över 0,01 (49). Riskkvoten räknades ut genom att ta kvoten av koncentrationen som skulle åka ut till miljön, EC (environmental concentration), genom PNEC (predicted no effect concentration), där PNEC räknades ut genom att ta kvoten mellan NOEC (no effect concentration) gånger utspädningen genom säkerhetsfaktorn (49). Utspädningen till recipienten räknades ut genom att ta kvoten av årsmedelvärdet av flödet ut från anläggningen genom flödet i Stångån. Säkerhetsfaktorer bestämdes från fass.se och [wikipharma](http://wikipharma.se) genom att använda de ekotoxikologiska studier som hade gjorts i förstudien.

För substanserna östron, entinylöstradiol, östriol och levonorgestrel var mätmetoden inte känslig nog för att få ett användbart resultat. Istället användes studier som rapporterat om halterna i det utgående vattnet. I detta fall räknades också riskkvoten ut och jämfördes med ett YES-test för att det skulle vara trovärdigt (49). I tabellen 5 visas de substanser med en

riskkvot på över 0,01 och sedan hur de reducerades efter ozonering med en ozondos på 5 mg O₃/l (49).

Tabell 5. Tabellen visar utgående koncentrationer i vattnet med och utan ozonering, samt den procentuella reduktionen och riskkvoten på substansen.

Substans	Riskkvot (EC/PNEC)	Koncentration innan ozonering (µg/l)	Koncentration efter ozonering (µg/l)	Procentuell reduktion (%)
Oxazepam	6,3	0,3	0,1	67
Metoprolol	5,7	3,09	0,25	92
Östron	2,3	<0,023	<0,023	Gick ej att mäta
Trimetoprim	1,9	0,14	0,001	99
Etinylöstradiol	1,2	<0,158	<0,158	Gick ej att mäta
Östradiol	0,9	<0,146	<0,146	Gick ej att mäta
Propanolol	0,5	0,13	0,001	99
Levonorgestrel	0,5	<0,432	<0,432	Gick ej att mäta
Diklofenak	0,4	0,48	0,002	100
Amlodipin	0,3	0,09	0,00	100
Karbamazepin	0,2	0,57	0,001	100
Fluoxetin	0,1	0,01	0,002	80
Paracetamol	0,03	0,26	0,03	88
Östriol	0,02	<0,08	<0,08	Gick ej att mäta
Koffein	0,02	11,63	2,09	82
Furosemid	0,02	0,78	0,002	100
Naproxen	0,02	0,33	0,001	100
Ciprofloxacin	0,02	0,06	0,009	85
Citalopram	0,01	0,30	0,02	93
Ibuprofen	0,01	0,28	0,14	50
Atenolol	0,01	2,39	0,29	88
Tetracyklin	0,01	0,05	0,017	66
Sertralin	0,01	0,03	0,002	93

Numera körs Nykvarns reningsverk med en fullskalig ozonering men det visade sig inte räcka med 5mg O₃/l utan det krävdes 9 mg O₃/l istället vilket var oväntat (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). I denna rapport kommer endast det som står från rapporten om pilotexperimentet att används, men det är relevant att diskutera om ett pilotprojekt kan komma att göras om till en fullskalig anläggning.

5.4.4 Kalmar avloppsreningsverks pilotanläggning med metoden granulerat aktivt kol

Mellan februari 2017 och januari 2018 utfördes ett pilotexperiment med ultrafiltrering och granulerat aktivt kol för att undersöka hur bra olika läkemedel kunde reduceras. Projektet utfördes av Kalmar Vatten i samarbete med Lunds universitet, Sweden Water Research och Högskolan Kristianstad (24). Ultrafiltret användes för att främst reducera totalfosfor samt bakterier tillskillnad från GAK filtret som användes för att främst adsorbera mikroföroreningar såsom de läkemedel som finns med på prioritetslistan. Ytterligare en funktion som ultrafiltrets uppfyller är att ta bort en del av de ämnen som annars hade fastnat i det aktiva kolet för att på så sätt kunna använda det mer effektivt (24). Reningsverkets kapacitet är 70 000 pe och recipienten är Kalmarsund (24).

Vattnet in till pilotanläggningen åkte genom en sil där förfiltrering skedde innan det fördes in i pilotanläggningen. Ultrafiltreringsutrustningen hyrdes in från SUEZ med både apparatskåp och styrsystem. En öppen membrantank (anpassad för ett flöde på 4–6 m³/h) bestod av UF-membran som låg horisontellt och var dränkta. Membranen var av typen fibermembran modell in/ut, där vatten flödar från utsidan och in genom membranen, med en nominell porstorlek på 0,02 µm, ZW1000. Membranen har en ytterdiameter på 0,8 mm, smala och tätt packade. Tre membrankassetter fanns i UF-anläggningen. Innan det granulerade aktiva kolfiltret så fanns utjämningskankar för att bakspolning skulle undvikas från UF tanken. GAK-filtret hade en diameter på 1,3 m, filterbäddshöjd på 1,2 m (detta krävde ungefär 1,7 m³ aktivt kol av typen AquaSorb5000 8x30 mesh från Jacobi, storleken på granulatet var 1,4 mm). Flödet av vattnet kom in ovanför bädden av kol och åkte igenom för att sedan åka ut ur botten och kunde användas både under tryck och inte trycksatt, alltså atmosfärstryck. Filtret var dimensionerat för 12 m³/h av vattenflöde. Under detta experiment passerade ungefär 18 000 bäddvolymmer kolfiltret och hade en kontaktid på 16-21 minuter (24).

Resultatet av att använda kolfilter visade att efter en viss tid då pilotanläggningen har körts bör kolfiltret bytas ut då kolet binder in substanserna och efter en viss tid finns det inga ställen att binda till längre. Enligt denna studien då kolfiltret användes i 18 000 bäddvolymmer så rekommenderades det att byta ut kolfiltret efter 15 000 bäddvolymmer. Resultatet av reduceringen av läkemedel efter 15 000 bäddvolymmer finns nedan i tabell 6. Även resultatet efter 18 000 bäddvolymmer har tagits med.

Tabell 6. I tabellen visas resultatet av reduceringen av läkemedel med GAK som avancerad reningsmetod (24).

Substans	Procentuell reduktion efter 10 000 till 15 000 bäddvolymmer (%).	Procentuell reduktion efter 15 000 till 18 000 bäddvolymmer (%).
Citalopram	99	98
Diklofenak	76	76
Erytromycin	87	87
Flukonazol	59	50
Ibuprofen	77	84
Karbamazepin	85	83
Klaritromycin	98	95
Losartan	78	85
Metoprolol	97	95
Naproxen	72	77
Oxazepam	80	78
Sulfametoxazol	36	7
Tramadol	94	94
Trimetoprim	99	99
Venlafloxin	85	82
Zolpidem	95	94
Östron	96	98

5.4.5 Ullared reningsverks pilotanläggning med metoden ozonering

Ullared reningsverk är en av de reningsverk som har utfört en förstudie om avancerad avloppsrening som påbörjades år 2018 (50). Ullareds avloppsreningsverk har en hög belastning av läkemedel, då det är kopplat till Gekås och andra verksamheter som ligger i närheten. Den maximala belastningen på reningsverket är 7400 pe. Då det är många kunder som kommer för att handla men inte stannar länge (vid jämförelse av andra avloppsreningsverk som är kopplade till flera bostäder) så blir belastningen extra hög men även att flödet varierar väldigt mycket vid exempelvis julhandel och andra stora högtider (50).

Pilotanläggningen bestod av en trumfiltersanläggning, sedan en koaguleringsanläggning och till sist en ozoneringsanläggning. Recipienten från Ullareds ARV är Högvadsån, som ansågs vara ett riskintresse enligt Naturvårdsverket, detta innebär att det området skall skyddas från påtagliga skador i naturen (50).

Trumfilteranläggningen, som var från Nordic Water Dyna Drum, sattes in efter den biologiska reningen och hade kapaciteten att rena hela vattenflödet (50). Därefter kom koaguleringsanläggningen för att mer skulle filtreras bort. Denna pilotanläggningen implementerades in innan poleringssteget från den vanliga anläggningen som utför den kemiska fällningen av fosfor. Detta för att om det fanns mindre suspenderat material in i den enhetsoperationen ökar potentialen till läkemedelsrening även i den delen av anläggningen. Provtagning efter denna delen togs för att kunna analysera hur mycket som renades efter trumfiltret. Efter att vattnet hade passerat filteranläggningen så pumpades det vidare till ozonanläggningen (50).

Ozonanläggningen, RENA™ Vivo A2 från Ozontech, bestod av HELS™ elektrodfri ozongenerator, trycksensor, en 50 liters kontakttank samt en Oxidation Reduktion Potential elektrod för att kunna reducera mängden ozon i utgående vatten. Ozonet löstes upp i vattnet med en injektor och en extra tank användes för att öka kontakttiden till 20 minuter. Mängden ozon kunde styras både manuellt och automatiskt (50).

Först gjordes försök med hur mycket koagulator som skulle användas, dessa tester utfördes innan ozoneringen startades (50). Olika doser av Ekoflock testades och resultatet visade att den optimala mängden var 2 mg/l, vilket gav den lägsta mängden suspenderat material från trumfilteranläggningen. För att avgöra vilken mängd ozon som skulle tillsättas testades olika doser för korttidstesterna medans endast en av dessa testades som långtidstest, vilket var även de rekommenderade värdet som angavs i slutsatsen (50).

De läkemedel som analyserades finns med i tabell 7 nedan som innehåller resultatet från detta pilotexperimentet. Tabellen visar den reduktion av läkemedel som sker i anläggningen utan att använda ozonering samt den totala reduceringen när ozon används. Det biologiska steget är främst det steg som reducerar bort läkemedel innan ozon tillsätts. Resultatet för reduceringen innan ozoneringen är baserat på ett medelvärde av fyra inkommande och utgående koncentrationer till och från avloppet (50). För vissa värden av data så var koncentrationen lägre än kvantifieringsgränsen och därmed kunde inte en reduktion konstateras. I tabellen finns även värden som är negativa vilket betyder att koncentrationen ökar genom den biologiska processen (50).

Tabell 7. Nedan i tabellen visas hur Ullareds reningsverk reducerar läkemedel både innan ozoneringen kopplades in och efter, med ozonering som ett reningssteg (50).

Ämne	Procentuell reduktion (%) från det vanliga reningsverket	Procentuell reduktion (%) med 9,5mg O ₃ /liter
Östron	>94	Gick ej att mäta
Östradiol	>96	Gick ej att mäta
Etinylestradiol	>74	Gick ej att mäta
Amlodipine	-3	>54
Atenolol	59	64
Bisprolol	-6	>84
Karbamazepin	-19	>76
Citalopram	-9	>92
Diklofenak	-47	>94
Fluoxetin	-10	Gick ej att mäta
Furosemid	24	>97
Hydroklortiazid	-27	69
Ibuprofen	82	Gick ej att mäta
Ketoprofen	78	Gick ej att mäta
Metoprolol	-1	62
Naproxen	86	>56
Oxazepam	-4	61
Paracetamol	94	Gick ej att mäta
Propanolol	-5	>57
Ramipril	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Ranitidin	68	Gick ej att mäta
Risperidon	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Sentralin	32	Gick ej att mäta
Simvastatin	>95	Gick ej att mäta
Terbutalin	10	Gick ej att mäta
Warfarin	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Benzylpenicillin	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta

Ciprofloxacin	88	>67
Clarithromycin	-2	81
Clindamycin	-1098	>94
Doxycycline	60	Gick ej att mäta
Erytromycin	-27	95
Fusidinsyra	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Linezolid	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Metronidazol	-106	Gick ej att mäta
Moxifloxacin	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Norfloaxin	63	Gick ej att mäta
Rifampicin	79	Gick ej att mäta
Sulfametoxazol	89	Gick ej att mäta
Tetracyklin	85	>55
Trimetoprim	-172	>97

5.5 Sammanställning av alla pilotexperiment som beskrevs ovan

Nedan i tabell 8 har alla resultaten från de tre olika pilot-anläggningarna sammanställts med utgångspunkten från de läkemedel som är med på Sveriges prioritetslista och EU:s direktiv där den procentuella redueringen visas (40). De olika pilotexperimenten har sammanställts för att visa vilka läkemedel som generellt är svåra att reducera bort med hjälp av de två metoderna ozonering samt granulerat aktivt kol samt se hur de olika resultaten har skiljts sig från varandra. För Himmerfjärdsverket användes resultaten från pilotprojektet där 200 m³ vatten hade passerat. För Ullareds reningsverk togs resultatet av redueringen som skedde endast från ozoneringen, eftersom det var den data som togs från de andra anläggningarna och därmed ger ett mer jämförbart resultat.

Tabell 8. I tabellen visas en sammanställning av resultaten från alla pilotanläggningar som togs med i denna rapport, de läkemedel som är med i listan är de som togs fram i Sveriges prioritetslista. Resultatet är från styckena ovan och kommer från källorna (24), (47-50).

Substans	Himmerfjärds- verket (ozonering)	Himmerfjärds- verket (GAK)	Nykvarns- verket (ozonering)	Kalmars- verk (GAK)	Ullareds reningsverk (ozonering)
Azitromycin	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Ciprofloxacin	98	97	85	Ingen data	>67
Citalopram	96	97	93	99	>92
Klarotromycin	Ingen data	Ingen data	Ingen data	98	Ingen data
Diklofenak	95	79	100	76	>94
Erytromycin	Ingen data	Ingen data	Ingen data	87	95
Östradiol	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta	Ingen data	Gick ej att mäta
Etinylestradiol	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta	Ingen data	Gick ej att mäta
Flukonazol	Ingen data	Ingen data	Ingen data	59	Ingen data
Ibuprofen	44	90	50	77	Gick ej att mäta
Karbamazepin	99	83	100	85	>76
Ketokonazol	20	>97	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Levonorgestrel	Ingen data	Ingen data	Gick ej att mäta	Ingen data	Ingen data
Losartan	Ingen data	Ingen data	Ingen data	78	Ingen data
Metoprolol	100	98	92	97	62
Metotrexat	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Naproxen	63	96	100	72	>56
Oxazepam	82	75	67	80	61
Sertralin	38	>99	93	Gick ej att mäta	Gick ej att mäta
Sulfametoxazol	76	58	Ingen data	36	Gick ej att mäta
Tramadol	Ingen data	Ingen data	Ingen data	94	Ingen data
Trimetoprim	96	>93	99	99	>97
Zolpidem	Ingen data	Ingen data	Ingen data	95	Ingen data

Det saknas en del värden i kolonnen för Nykvarnsverket vilket både beror på att vissa av substanserna inte ingick i den studien men även för att vissa ämnen valdes att inte tas med på grund av att riskkvoten var låg. Enligt resultatet visas det även vara svårt för alla fallen att testa för de hormonella substanserna (östradiol och etinylestradiol), detta beror på att det inte finns en bra analysmetod för att få värden som är pålitliga vid låga halter, dessutom finns det möjlighet att dessa reduceras i det biologiska steget (50).

De olika metoderna, ozonering och GAK, reducerar olika substanser olika bra enligt dessa tre pilotprojekt. Det vara viktigt att analysera vilka halter som finns i vattnet innan reningsverket för att uppskatta om en viss metod kan passa för reningen så att mest läkemedel tas bort. Utifrån dessa pilotprojekt finns ej nog med underlag för att konstatera vilka läkemedel som är svåra att reducera, det skulle krävas fler studier och djupare analyser eftersom dessa resultaten är sprida och koncentrationerna in till de olika reningsverken har troligtvis skiljt sig åt. Dessutom kan resultatet variera mellan de olika reningsverken då olika laboratorier med olika analysmetoder som har använts vilket kan ge olika värden. Däremot ger det en enkel överblick av vilka ämnen som faktiskt reduceras bort effektivt, till exempel citalopram, metoprolol och trimetoprim.

5.6 Kostnadsberäkningar för Gryaab att implementera metoder för avancerad rening

Nedan presenteras en kostnadsuppskattning för vad det skulle innebära om Gryaab skulle välja att implementera en av de avancerad reningsmetoderna, för att utföra reducering av läkemedel. För att göra detta krävs först information om vad anläggningens ursprungliga kostnader ligger på, för att sedan kunna jämföra med de andra kostnaderna som skulle tillkomma.

5.6.1 Kostnadsberäkningar Gryaab idag

Under året 2019 renade Gryaabs reningsverk 141 000 000 m³ vatten. Från det årets årsredovisning kunde det konstateras att kostnaderna för Gryaabs verksamhet låg på 350 059 tkr. Rörelsens kostnader innefattade råvaror och förnödenheter, övriga externa kostnader, personalkostnader samt avskrivningar (51). Rörelsens intäkter låg på 368 707 tkr och i denna ingick nettoomsättning, aktiverat arbete för egen räkning samt övriga rörelseintäkter. Intäkterna kommer främst från avgifterna som de anslutna ägarkommunerna betalar (325 000 tkr), bland dessa ingår följande kommuner Ale, Göteborg, Härryda, Lerum, Kungälv, Mölndal och Partille (51).

Från balansräkningen kan det avläsas att de materiella anläggningstillgångarna har ett värde på 1 423 341 tkr. I de materiella anläggningstillgångar ingår byggnader, mark, markanläggningar, maskiner, andra tekniska anläggningar, inventarier, verktyg, installationer, fordon och pågående nyanläggningar (51). Anläggningens sammanlagda anläggningstillgångar är 1 429 061 tkr, denna summa består av de materiella, immateriella samt finansiella anläggningstillgångar. Med dessa siffror framgår det att de materiella anläggningstillgångarna är överlägset störst. De materiella anläggningstillgångarna kan användas som en fingervisning av hur mycket de själva anläggningens delar kostar jämfört med hela Gryaabs verksamhet (51).

Va-taxan är uppdelad och skiljer sig åt från kommun till kommun. I tabell 9 finns va-taxan för de kommuner som är anslutna till Gryaabs reningsverk (52). Statistiken som använts är från Svenskt Vatten där statistiken var för en lägenhet vars definition var: "Ett flerbostadshus som är anslutet till vatten, spill- och dagvatten. 15 lägenheter, 1000 m² våningsyta, 800 m² tomtyta, vattenförbrukning m²/år, 2 stycken parallellkopplade vattenmätare q_n 2,5 m³/h" (52).

Tabell 9. I tabellen visas va-taxan för de olika kommunerna som är anslutna till Gryaabs reningsverk. Data är från år 2019. I tabellen visas även den genomsnittliga va-taxan som en person betalar för en liter vatten i öre/liter(52).

Kommun	Personer som bor i kommunen	Kr/månad för en lägenhet	Öre/liter för en lägenhet
Ale	30 926	339	3,05
Göteborg	571 868	271	2,44
Härryda	37 802	415	3,73
Lerum	42 137	461	4,15
Kungälv	45 086	448	4,03
Mölndal	68 152	298	2,69
Partille	38 443	352	3,16
Total mängd personer	834 414		

Kommun	Andel av totala mängden personer	Viktning av hur mängd som betalar varje pris (Andel*pris/liter)	
Ale	0,04	0,122	
Göteborg	0,69	1,6846	
Härryda	0,05	0,1865	
Lerum	0,05	0,2075	
Kungälv	0,05	0,2015	
Mölnadal	0,08	0,2152	
Partille	0,05	0,158	
Genomsnitt vad en person betalar (öre/liter) (summa av viktningssvärden)	2,28		

Va-taxan har varit låg eftersom de flesta investeringarna som gjorts för anläggningen redan har blivit betalda (53). Man tror att taxan kommer gå upp med 100 % över de 20 kommande åren eftersom nya investeringar som innefattar bland annat läkemedelsrening men även andra saker kommer att behövas göras. Om endast nödvändiga investeringar behövs göras så kommer den stiga med 60 % (53).

Tidigare i avsnittet 4.1 så går det att läsa om va-taxan i Schweiz, som låg på 0,7CHF/m³, och förväntades höjas med 10–20% när den avancerade reningen blev en lag. Enligt Forex hemsida så är 1 CHF värd 10,81 SEK (8 mars 2020) (54). Genom att räkna om kostnaderna till svenska kronor skulle va-taxan motsvara 0,76 öre/l innan den avancerade reningen kom och 0,83–0,91 öre/l efter att den avancerade reningen adderades till på priset.

De metoderna som Gryaab har övervägt att implementera är granulerat aktivt kol, pulveriserat aktivt kol samt ozonering, det har gjorts en grov kostnadsuppskattning för dessa vilket redovisas nedan.

5.6.2 Kostnadsuppskattning för granulerat aktivt kol på Gryaab

Om metoden granulerat aktivt kol skulle väljas som den avancerade reningen av avloppsvattnet så skulle denna rening i fallet för Gryaab ske efter skivfiltreringen. Anledningarna till detta har beskrivits under avsnitten 5.2 samt 5.3.2 i rapporten. Skivfiltreringen i reningsanläggningen har en kapacitet på 8 m³/s (1). Alltså måste den tillagda avancerade reningen också ha en kapacitet på detta flöde.

Eftersom det inte finns så många reningsverk som är lika stora som Ryaverket så har det varit svårt att hitta ett bra underlag för var kostnaderna kan hamna. I dessa kostnadsberäkningarna har kostnadsuppskattningarna som har hittats multiplicerats upp så att skalorna på reningsverket stämmer överens och så har en uppskattning gjorts.

Enligt kostnadsberäkningarna som gjordes för Kalmars reningsverk, som 70 000 pe är anslutna till, så skulle en fullskaleanläggning med endast GAK- och inte UF-anläggningen ge en kostnad på 1,2 kr/m³ vilket skulle motsvara en total årskostnad på 8 Mkr (räknat med en livscykel på 30 år). Denna uträkningen togs fram baserat på de pilotexperiment som hade utförts tidigare och enligt detta kunde följande parametrar bestämmas för att utföra en kostnadsberäkning (24). Det skulle krävas 100 ton/år aktivt kol där priset skulle ligga på 24 000 kr/ton (24). Dimensioneringsflödet till GAK-anläggningen skulle vara 900 m³/h vilket

motsvarar 0,25 m³/s. Kontakttiden skulle vara tio till tolv minuter och backspolningen skulle ske en gång i månaden (24). Med denna anläggning skulle fyra parallella linjer att köras samtidigt för att klara av mängden vatten (24).

GAK-anläggningen skulle designas med stort fribord för att det skulle bli högt filtertryck vid den normala driften, samt att när backspolningen skedde skulle inget av kolet följa med (24). Det bestämdes att fyra linjer med redundans skulle användas för att få en kontinuerlig drift så att underhåll av ett filter inte skulle stanna upp hela processen. För backspolningen krävdes en lagringstank för filtrerat vatten, backspolningspumpar, blåsmaskin (för att få in luft till filterbädden som är ett steg i backspolningen) (24). Ett lagringsutrymme för aktivt kol inkluderas för att undvika långa driftstopp vid byte av ett filter då det blir effektivare. Utjämnings tankar skulle också installeras för att kunna justera flödet samt använda till backspolningen. Materialen som skulle användas är platsgjutna betongkonstruktioner för de olika tankarna samt bassängerna med en överbyggnad. Alla maskiner för processen skulle utformas för helautomatisk drift. Rörledningar skulle vara av syrafast stål och plast (24).

En tidigare kostnadsbedömning hade gjorts för en sandfilteranläggning med fyra filter av konsulter och leverantörer. Denna kunde justeras till de dimensioner som krävdes i detta fall och sedan användas eftersom det är en liknande process. Kostnaderna för investeringen av projektet inkluderade arbetsområdena bygg och mark samt efterbehandling, process och maskin, el och styr, VVS, och markledningar. Även oväntade kostnader och övriga byggherreomkostnader togs med för att få en totalkostnad för projektet samt en 20% redundans för att få en hög driftsäkerhet (24). I tabell 10 nedan visas de olika uppskattade kostnaderna för varje arbetsområde för investeringen för Kalmarsreningsverk (24). För driftkostnaderna räknades behovet av mängden aktivt kol och hur många bäddvolymmer samma kol kunde användas till, för att fortfarande få en god rening. Personalkostnaderna uppskattades också efter erfarenheterna från pilotexperimenten som sedan skalades upp till en fullskalig anläggning. Driftkostnaderna redovisas även också i tabellen. Ett antagande som gjorts är att nytt granulerat kol köps in hela tiden och ingen regenerering av kolet görs (24).

Tabell 10. I tabellen presenteras kostnadsuppskattningen för GAK-anläggningen som Kalmarreningsverk har gjort för de olika delarna i processen. Både investeringen samt driftkostnaderna visas nedan i tabellen (24).

	Vad	Kostnaden (Mkr)	Andel av den totala kostnaden
Investeringskostnad	Process och maskin	18,7	0,22
	Bygg och mark	53,55	0,63
	El och styr	5,95	0,07
	VVS	5,95	0,07
	Markledningar	0,85	0,01
	Totalt	85	
Driftkostnad (per år)	El	0,02	0,01
	GAK	2,5	0,71
	Personal	0,2	0,06
	Underhåll	0,8	0,23
	Totalt	3,52	

Kalmarsreningsverk är mycket mindre jämfört med Gryaabs reningsverk och skiljer sig även åt på flera andra faktorer, bland annat recipienten. Det dimensionerade flödet som deras fullskaliga anläggning skulle klara av var 32 gånger mindre än den kapaciteten som skivfiltrena skulle klara av i Gryaabs reningsverk. Det är en väldigt stor skillnad men eftersom även Kalmarsreningsverk använder parallellkopplade tankar för att utföra adsorptionen till kolet, skulle det vara en möjlighet för Gryaab att också göra det. Eventuellt kanske 128 (32x4) tankar är ett stort antal och större tankar kan användas i Ryaverket istället, men grova uppskattningar utifrån Kalmarreningsverks beräkningar används i detta fall. Det skulle ge en investeringskostnad på 2 720 Mkr och en driftkostnad på 1 12,64 Mkr/år. Kostnaden antas fortfarande vara 1,2 kr/m³ (0,12 öre/liter).

En kostnadsuppskattning utfördes även av IVL svenska miljöinstitutet där olika avancerade reningsmetoder analyserades för att få fram kostnaderna (11). I den rapporten utfördes en förenklad kostnadsanalys för bland annat en BAF(GAK)-anläggning som ifall den skulle användas i Gryaabs reningsverk skulle placeras på samma sätt som GAK-anläggningen som nämndes ovan, sist i processen. BAF står för biologisk aktivt filter som kan bestå av olika filtermaterial, i detta fallet skulle då granulerat aktivt kol användas som filtermaterial (11). I BAF(GAK)-metoden renas vattnet genom adsorptionen till det aktiva kolet samtidigt som biologisk nedbrytning sker. Genom att det även sker nedbrytning så blir inte det granulerade aktiva kolet fullt lika snabbt och kan bytas mer sällan. För kostnadsanalysen från denna rapporten användes MBR och CAS (conventional activated sludge) som det biologiskt aktiva filtret. Reningsgraden för denna metod är generellt sätt lika bra som GAK där endast adsorption sker, eller bättre (11).

Kostnadsuppskattningen i IVL svenska miljöinstitutets rapport är baserad på olika företag både från Sverige och utlandet, där de gavs samma dimensioneringskrav. Målet med rapporten var att få uppgifter om investeringskostnad, driftkostnad, samt den totala årliga reningskostnaden, dessa skulle innehålla inköp, installation, drift, underhållsarbete, byte av delar när livslängden är uppnådd men ej kostnaderna för skrotningen (11). Detta hade även kompletterats och jämförts med information från andra rapporter. Uträkningarna baserades på nuvärdesmetoden med en reell kalkylränta på 5% och livslängden på de olika komponenterna låg på 30 år eller mer (11). Det förekom en del skillnader mellan företagens värden vilket berodde på att de inte hade räknat på samma sätt, vissa hade en annan kalkylränta och en annan livslängd. Driftkostnaderna inkluderade inte heller alltid samma parametrar såsom kostnad för reparationer med mera, alltså kan priserna skilja sig åt en del från det reella värdet (11). Kostnaderna för markarbeten, betongbassänger och andra byggtekniska anläggningar har antagits till dubbla priset av inköpspriset, vilket är baserat på tidigare erfarenheter.

Specifikationerna som företagen fick ge offerter för var som följande, dimensioneringsflödet uppskattades till 150 m³/(person * år), det DOC som skulle behandlas vidare i avloppsvattnet var mindre än 10 mg/liter, den nominala porstorleken i ultrafiltret var mindre än 0,2 µm (11). Förbrukningen av aktivt kol antas vara under 20 mg/l och kontakttiden i filterbädden är mer än 15 minuter (11). Ozondosen som uträkningarna är baserade på är mer än 5 mg O₃/l och kontakttiden för ozoneringen är mer än 10 minuter (11). För implementeringen av aktivt kol skulle en filterbädd och backspolningsutrustning som består av pumpar och en utjämningstank behövas (11). Denna installationen är, som nämndes tidigare i stycket, lik den för sandfilter. Mängden GAK som krävdes i anläggningen kunde relateras till koncentrationen av DOC, 2–2,5 mg GAK/mg DOC. Detta gäller för BAF(GAK), men om det endast skulle vara GAK skulle det krävas en större mängd kol (11).

En okänd mängd regenererat kol användes i denna rapport från IVL svenska miljöinstitutet, regenereringen skedde hos samma leverantör som producerade det aktiva kolet. Priser för elen antogs vara 0,8 kr/kWh och priset för det granulerade aktiva kolet var 20 000 kr/ton nytt kol samt 13 000 kr/ton regenererat kol (11). Personalkostnaderna uppskattades ligga på ett genomsnitt av 450 kr/h (11). Dessa kostnaderna varierade en hel del beroende på vilken leverantör mm. men i tabellen visas de värden som användes för uträkningarna (11).

Nedan i tabell 11 är resultatet från rapporten av vad kostnaden för BAF(GAK)-anläggningen skulle kosta i storleken 500 000 pe.

Tabell 11. I tabellen visas kostnaderna för en BAF(GAK)-anläggning av storleken 500 000 pe enligt IVL svenska miljöinstitutets kostnadsberäkning (11).

	Kostnader
Investeringskostnad	50 Mkr
Avbetalningskostnad	4,6 Mkr/år
Driftkostnad	19 Mkr/år
Specifik kostnad per m³ avloppsvatten	0,2-0,5 kr/m ³
Elförbrukning	<0,01 kWh/m ³

Kostnadsberäkningarna utfördes för en anläggning på 500 000 pe som störst vilket är nästan hälften av vad Gryaab's anläggning är idag. Genom att dubbla investerings-, avbetalnings- och driftkostnaden för dessa kostnaderna så skulle det kunna vara en grov uppskattning av vad det skulle kosta för Gryaab's reningsverk att bygga en BAF(GAK)-anläggning. Kostnaden för Gryaab's vattenrening skulle då vara densamma alltså 0,2–0,5 kr/m³ (0,02 öre/l), och investeringskostnaden skulle då vara 100 Mkr, avbetalningskostnaden 9,2 Mkr/år och till sist en driftkostnad på 19 Mkr/år.

Genom att använda de två källorna kan en grov uppskattning av vad kostnaden skulle vara för Gryaab att införskaffa och driva en GAK-anläggning tas fram. Eftersom ena kostnadsuppskattningen är gjord för en BAF(GAK)-anläggning kommer inte reningen ske enbart genom adsorption vilket kan leda till vissa osäkerheter i resultaten och troligtvis öka priset lite eftersom mer aktivt kol skulle krävas för att uppnå samma rening. Däremot så går det att använda gamla biobassänger för att bygga den avancerade reningen vilket skulle kunna minska Gryaab's investeringskostnader om de har tillgång till detta.

Nedan i tabell 12 har båda resultaten tagits med för att kunna ta fram ett medelvärde på vad denna avancerade reningsmetoden skulle kosta. För att göra resultaten mer jämförbara så har avbetalningskostnaden multiplicerats med livslängden av anläggning (30år) och lagts till i investeringskostnaden, detta visas i den fjärde kolonnen i tabellen nedan.

Tabell 12. I tabellen visas en sammanställning av de olika kostnaderna för en GAK-anläggning om Gryaab skulle installera det, samt et medelvärde på dem (11, 24).

Kostnaden baserad på	Kalmars-reningsverk	Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk.	Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk. Korrigerad.	Medelvärde, Graabs kostnad
Investerings-kostnader	2 720 Mkr	100 Mkr	376 Mkr	1 548 Mkr
Avbetalnings-kostnad	Finns ej	9,2 Mkr/år (30år)	Finns ej	Finns ej
Drift-kostnad	112,64 Mkr/år	38 Mkr/år	38 Mkr/år	75,32 Mkr/år
Specifik kostnad per dm ³ avloppsvatten	0,12 öre/liter	0,02-0,05 öre/liter	0,02-0,05 öre/liter	0,0775 öre/liter

Värdena från de två olika källorna varierar kraftigt. Om medelvärdet för investeringen av en GAK-anläggning analyseras så kan det konstateras att jämfört med dagens materiella anläggningstillgångar så skulle detta innebära en ökning med 52%, detta är om man räknar med att investeringen motsvarar materiella anläggningstillgångar. En jämförelse mellan driftkostnaden för Gryaabs potentiella GAK-anläggning och kostnaderna för dagens anläggning (båda för kostnaden per år) skulle innebära en ökning på 18%. Dessutom om man antar att den ökade kostnaden av den avancerade reningen enbart skulle läggas på va-taxan så skulle den genomsnittliga kostnaden ligga på 2,3575 öre/liter (2,28+0,0775), vilket motsvarar en ökning på 3%.

5.6.3 Kostnadsuppskattning för pulveriserat aktivt kol på Gryaab

För kostnadsuppskattning med metoden pulveriserat aktivt kol fanns det stora svårigheter i att hitta källor där denna metod hade testats, samt där kostnaden hade diskuterats här i Sverige. Utifrån de litteratursökningar som hade gjorts hittades ingen pilotanläggning som hade gjort detta och därmed blir denna uppskattning mer begränsad och kan endast utgå ifrån en källa.

IVL svenska miljöinstitutionen har utfört en kostnadsuppskattning för denna metoden också och därmed så har samma antaganden och uträkningsmetoder som i fallet för BAF(GAK)-anläggningen densamma (11). Ytterligare har det antagits att kostnaden för det pulveriserade aktiva kolet kommer att vara detsamma som för det granulerade aktiva kolet och detta antogs på grund av brist på information och data. Det var ett rimligt antagande eftersom det som skiljer sig åt mellan de två är storleken på grynen och därmed skulle skillnaden i priset troligtvis vara försumbar (11).

För att kunna få en bra rening med metoden med pulveriserat aktivt kol så krävs även ett till steg för att ta bort aktiva kolet från vattenfasen som i detta fallet är ultrafiltrering. Ultrafiltrering kräver underhåll i form av kemisk rening av membranen. Dessutom finns det fler krav som gäller i Sverige när det kommer till hanteringen av slammet som innehåller PAK och därmed kommer det bidra med högre kostnader (11). Enligt informationen från intervjun som hölls med en anställd på Gryaab så skulle det pulveriserade aktiva kolet tillsättas i efterdenitrifikationen eller efternitifikationen, där sedan kemikalier tillsätts så att

det sker en fällning och det aktiva kolet kan filtreras bort i skivfiltrena (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Detta skulle innebära att denna kostnadsuppskattningen skulle inkludera fler steg än de som Gryaab skulle behöva.

För kostnadsuppskattningen användes de dimensioneringskraven som nämnes i det tidigare avsnittet, utifrån dessa gavs uppgifter för kostnaderna från olika teknikleverantörer. Dessa var baserade på deras rekommendation om drift, tvätt av membran och installation (11). Ultrafiltreringen antogs ha en livstid på 7–10 år och PAK-dosen sattes till 15 mg/l. Enligt IVL svenska miljöinstitutets rapport visar det sig att den specifika kostnaden per mängd vatten inte förändras så mycket ju större anläggningen blir (11). Driftkostnaden består främst av byten av membran samt kolförbrukningen. Det fanns även stora osäkerheter investeringskostnader men likt fallet med BAF(GAK) så kunde befintliga bassänger användas vilket minskar kostnaden (11). Nedan i tabell 13 visas kostnaderna som uppskattats för en anläggning på 500 000 pe.

Tabell 13. Nedan i tabellen visas kostnadsuppskattningen från IVL svenska miljöinstitutets, för PAK-UF för en anläggning på 500 000 pe(11).

	Kostnader
Investeringskostnad	320 Mkr
Avbetalningskostnad	23 Mkr/år
Driftkostnad	65 Mkr/år
Specifik kostnad per m³ avloppsvatten	1,2 kr/m ³
Elförbrukning	0,1-0,55 kWh/m ³

För att räkna om dessa värden till en uppskattning för Gryaabs anläggning så görs det på samma sätt som för avsnittet 5.6.2. Avbetalningskostnaden, investeringskostnaden och driftkostnaden multipliceras med två eftersom Gryaabs anläggning är nästan dubbelt så stort som 500 000 pe. Därefter multipliceras avbetalningskostnaden med 30 eftersom det har beräknats för den livslängden. Detta summerades sedan med investeringskostnaden vilket ger en kostnad på 1 330 Mkr. Om en liknande jämförelse skulle göras med de materiella anläggningstillgångarna så skulle det innebära en ökning av 48%. Driftkostnaderna, 130 Mkr/år skulle då motsvara en ökning på 27% på de totala årliga kostnaderna. Den specifika kostnaden på liter skulle fortfarande vara densamma och ligga på 0,12 öre/liter. Om detta då skulle täckas enbart av va-taxan skulle det innebära att det skulle gå upp till 2,40 öre/liter (2,28+0,12), detta motsvarar en ökning på 5%.

5.6.4 Kostnadsuppskattning för ozonering på Gryaab

Om ozonering skulle integreras i dagens reningsverk och därmed vara lösningen på den avancerade reningen på Gryaab, skulle detta inkorporeras någonstans i mitten av reningsprocessen (presentation Gryaab+personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Mer specifikt, mellan biosedimentations- och efternitifikationsprocessen. I en pilotanläggning i Linköping för ozonoxidation placerades ozoneringen som precis nämnts efter eftersedimenteringen, för att utnyttja eventuellt ökat biologiskt tillgängligt organiskt kol från oxidationen (49). För att kunna integrera ozoneringen här, måste de omkringliggande rengöringsstegens vattenkapacitet tas hänsyn till Se figur 4, i avsnitt 5.3.1 för en tydlig bild av vart ozonreaktorn skulle implementeras på Gryaab. Ett annat alternativ hade varit att integrera ozonreaktorn direkt efter skivfiltret.

Projektet på Nykvarnsverket, se avsnitt 5.4.3, genomfördes under 12 månader och försöksperioden med ozonering varade ungefär 5 månader och detta skedde mestadels under 2014. Kostnaderna för dessa olika delar som används vid ozonering är svåra att få tag på och stod inte med i rapporten från Nykvarnsverkets projekt (49). Men som nämnt tidigare så är Nykvarnsverket dimensionerat för 235 000 pe, med ett genomsnitt på 180 000 pe, vilket är väldigt mycket mindre än Gryaab's personekvivalenter och kan vara svårt att jämföra med. Enligt ett projekt vid namn 'Läkemedel – förekomst i vattenmiljön, förebyggande åtgärder och möjliga reningsmetoder' som genomfördes 2005 till 2009 med pengar från Stockholmsstad så är totalkostnaden för reningsverk för mer än 100 000 personer 0,6 SEK/m³ (8).

Ozon är relativt billigt och blir billigare ju större reningsverket är, då ozon kan tillverkas på plats och inte behöver transporteras in (8, 49). Från studien gjord av IVL Svenska Miljöinstitutet går det att räkna ut att det skulle bli en årlig driftkostnad på ca 3 Mkr/år för en anläggningsstorlek på ca 200 000 pe. För att kunna räkna översiktligt hur stora kostnaderna hade blivit för Gryaab att implementera ozonering så har kostnadsuppskattningen i IVL:s rapport använts och som redan nämnts i avsnitt 5.6.2 är den rapporten baserad på olika företag både från Sverige och utlandet. För en anläggningsstorlek på 500 000 pe presenteras de relevanta kostnader i tabell 14 nedan (11).

Tabell 14. Visar de kostnaderna som tillkommer med ozonering som avancerad reningsmetod på en anläggningsstorlek med 500 000 pe (31).

	Kostnader
Investeringskostnad	28-60 Mk
Avbetalningskostnad	2-4,5 Mkr/år
Driftkostnad	6,5 Mkr/år
Specifik kostnad per kubikmeter avloppsvatten	0,14-0,15 kr/m ³
Elförbrukning	0,1-0,3 kWh/m ³

Kostnadsberäkningarna utfördes för en anläggning på 500 000 pe som störst vilket är nästan hälften av vad Gryaab's anläggning är idag. Genom att dubbla investerings-, avbetalnings- och driftkostnaden för dessa kostnader så skulle det kunna vara en grov uppskattning av vad det skulle kosta för Gryaab's reningsverk att bygga en ozonanläggning och driva en. Då det redan är ungefärliga kostnader så har ett medelvärde av de kostnaderna används. Kostnaden för Gryaab's vattenrening skulle då vara 0,14-0,15 kr/m³, investeringskostnaden skulle bli ungefär 88 Mk, avbetalningskostnaden i sin tur 6,5 Mkr/år och driftkostnaden 13 Mkr/år. Även här så kan avbetalningskostnaden multipliceras med livslängden av anläggningen, vilket är 30 år och läggas till på investeringskostnaden. Detta för att få fram en förenklad kostnad. Vilket skulle medföra ett totalt värde av 283 Mkr på investeringskostnaden.

Om ozonering skulle implementeras på Gryaab skulle det innebära en driftkostnadsökning på 4 % och en investeringskostnadsökning (uträknat med de materiella anläggningstillgångarna) på 17 %. Detta är väldigt generellt uträknat, utan felmarginal. Utöver detta så är ett antagande som tas att den specifika kostnaden för rening av en kubikmeter avloppsvatten kommer att vara ett tillägg på va-taxan. Om en överslagsräkning görs för att se hur mycket va-taxan skulle

förändras i genomsnitt för personer som är anslutna till Gryaab, det skulle då bli 2,2945 öre/liter (2,28+0,0145). Detta motsvarar en ökning på 1%.

5.6.5 Sammanställning av kostnadsberäkningarna för Gryaab

För att sammanställa resultatet som tagits fram för de olika metoderna så har kostnaderna för granulerat aktivt kol, pulveriserat aktivt kol och ozonering samlats i tabell 15 nedan. Även värdena för Gryaabs anläggning så som den är i dagsläget har tagits med längst ner i tabellen.

Tabell 15. I tabellen visas en sammanställning av de olika kostnaderna för de olika metoderna.

Metod	Granulerat aktivt kol	Pulveriserat aktivt kol	Ozonering
Investeringskostnad	1 548 Mkr	1 330 Mkr	283 Mkr
Vilken ökning det skulle motsvara i materiella anläggningstillgångar	52%	48%	17%
Driftkostnad	75,32 Mkr/år	130 Mkr/år	13 Mkr/år
Vilken ökning det skulle motsvara i årliga kostnader	18%	27%	4%
VA-taxan (öre/liter)	2,3575	2,40	2,2945
Ökning av Va-taxan	3%	5%	1%

Enligt tabellen så syns det tydligt att ozonering skulle vara det billigaste alternativet. Däremot skulle elkostnaden öka signifikant, vilket inte togs med i denna uträkningen. Båda metoderna med aktivt kol har liknande kostnader där PAK har lite lägre investeringskostnader men istället högre driftkostnader i jämförelse med GAK. Aktivt kol skulle innebära stora investeringskostnader vilket troligtvis inte skulle vara gynnsamma om inte en lag träder i kraft och kräver denna rening eller om reningen är signifikant mycket bättre med dessa metoderna jämfört med ozonering. Annars ur ett ekonomiskt perspektiv skulle ozonering vara det som är den mest kostnadseffektiva metoden. Ytterligare en faktor som nämnts tidigare i rapporten är att denna kostnadsuppskattningen troligtvis är överskattad då flera studier har visat att ju större avloppsreningsverken blir, desto mindre blir kostnaderna per mängd renat vatten (11, 55). Med hur mycket det är överskattat är däremot okänt.

5.7 Miljökonsekvensanalys

Ur ett miljöperspektiv är den bästa tekniken den vars miljöpåverkan är minimal (11). Många miljöaspekter behöver vägas in och förutom klimatpåverkan (Global Warming Potential, GWP) tas även bildning av marknära ozon, försurning, ozonutsläpp, eutrofiering och andra aspekter med. Dessa behöver kvantifieras genom exempelvis koldioxidekvivalenter för GWP (11). Denna översiktliga miljökonsekvensanalys beskriver hur granulerat aktivt kol, pulveriserat aktivt kol och ozonering påverkar miljön, men är begränsad eftersom ingen livscykelanalys görs i denna rapport.

5.7.1 Miljökonsekvenser med aktivt kol

En studie som gjorts vid namn 'Environmental impact associated with activated carbon preparation from olive-waste cake via life cycle assessment', handlar om att man använder biprodukter från olivavfall för att bilda ett biobaserat aktivt kol (56). Resultatet visar att den största miljöpåverkan fås då fosforsyra används som gödselmedel för majoriteten av de

testade faktorerna. Förurningspotential (62 %), eutrofiering (96 %), ozonnedbrytningspotential (44 %), giftighet för människa (64 %), giftighet för vatten (90 %) och giftighet för mark (92 %). En av de största effekterna på miljön visade sig vara global uppvärmning, mätt i CO₂ ekvivalenter/100 m³ vatten (57). Det ackumulerade energibehovet för produktion av aktivt kol från biprodukterna som kommer från olivavfall blev 167,63 MJ. Användandet av fosforsyra och elektricitet för produktionen av aktivt kol var de största faktorerna som var ansvariga för de flesta miljöeffekterna (56). Vissa ändringar eller modifieringar i processen med produktionen av aktivt kol, såsom implementering av syntesgasåtervinning och återanvända det som en energikälla samt återvinning av fosforsyra kan medföra minskade kostnader och minskad miljöpåverkan (56).

Aktivt kol är väldigt effektivt på att ta bort rester från läkemedel ur avloppsvatten. Det har visat sig att fiskar som har simmat i renat avloppsvatten får förändringar i sitt hormonsystem och i levern (58). Många standardläkemedel, bland annat smärtstillande och ångestdämpande innehåller potenta substanser som kan orsaka skador i naturen var för sig. Skadorna kan exempelvis handla om genetiska defekter och skador på fortplantningssystem. Ännu värre är om en cocktaileffekt uppstår av flera olika substanser som kan leda till oförutsägbara konsekvenser (58). Miljöbelastningen från tillverkningen och användandet av aktivt kol måste vägas mot nyttan av att reducera mängden läkemedel innan utsläpp till recipient.

En annan studie som heter 'Analysis of environmental impact of activated carbon production from wood waste', visar hur aktivt kol producerat från matavfall påverkar miljön. Aktivt kol är kol producerat från kolbaserade källor (59). I studien analyserades produktion av aktivt kol genom karbonisering och aktivering med avseende på miljöpåverkan och mänsklig påverkan. Metoden som användes i studien var en LCA-analys för att kunna studera miljöpåverkan och den funktionella enheten var ett ton matavfall. Återvinningsprocessen för träavfall för produktion av aktivt kol analyserades. Växthusgaser som släppts ut från 1 kg aktivt kol som producerats genom matning av träavfall utvärderades. Resultatet visade att den globala uppvärmningspotentialen minskade med cirka 9,96 kg CO₂-ekvivalenter jämfört med processen med stenkol, som är den fossila råvaran till aktivt kol. Resultatet visade också att systemet med aktivt kol genom att använda ett ton träavfall har en miljömässig fördel på 163 kg CO₂-ekvivalenter för att minska den globala uppvärmningspotentialen, jämfört med samma mängd träavfall som deponeras genom deponi (59).

I svenska miljöinstitutets 'Handbok för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk' har en miljöpåverkansanalys gjorts av bland annat aktivt kol (11). I analysen nämns det att nya tekniker som användning av biokol som tillverkas från reningsverkets eget slam eller från andra substrat är ett alternativ som kan vara väldigt fördelaktigt i bedömningen även om exakta emissioner inte kan kvantifieras eftersom referensanläggningar saknas. Då har istället antaganden beskrivits och känslighetsanalyser gjorts för att kunna få en indikation på teknikens potential och miljöpåverkan. Biologiskt aktivt filter med granulerat aktivt kol som filtermaterial och biokol var system som undersöktes. När det kommer till systemgränsen uppströms definieras den genom emissioner, material-och energiresurser som gått åt för att generera energi, kemikalier och material som går åt att rena vattnet. För kombinationen med aktivt kol är transport till och från regenereringsanläggningen inkluderad beroende på om och vart den sker. Hänsyn tas även till kolets vatteninnehåll före och efter regenerering. Klimatpåverkan beskrivs i CO₂-ekvivalenter och klimatpåverkan påverkas bland annat av vilken energiproduktion som används (11).

Miljöaspekter kopplade till GAK är relaterade till tillverkningen, eftersom stora mängder resurser för utgångsmaterial och energi behövs (11). När GAK-tillverkningen och till största delen regenereringen sker utanför Sverige används fossila bränslen i väldigt stor utsträckning för energiproduktion vilket leder till en större miljöpåverkan än om en svensk energimix istället skulle användas. Den här energiförbrukningen medför även annan miljöpåverkan som exempelvis eutrofiering och försurning. På grund av att tillverkningen och regenereringen sker utanför Sverige måste även transport av nu och förbrukad GAK ske, vilket påverkar miljön. Om GAK skulle kunna tillverkas eller regenereras i Sverige i framtiden skulle miljöpåverkan minska vad gäller tillverkning, regenerering och transporter, där transporter står för minst miljöpåverkan.

Ett annat alternativt sätt att producera aktivt kol från organiskt substrat som reningsverkets eget slam, skulle minska GAK-filtrets miljöpåverkan enormt. Och genom att bättre utnyttja kolet minskar miljöpåverkan från tillverkning och regenerering av kolet. Ett flerfilterssystem skulle kunna minska behovet av kol kraftigt. Energiförbrukningen vid driften är minimal och endast vid inmatning och backspolning krävs energi, därför är miljöpåverkan mindre från energiförbrukningen vid drift än för andra energikrävande alternativ (11).

När det kommer till produktionen och regenereringen av PAK så har den samma miljöpåverkan som GAK med den höga energiförbrukningen som huvudaspekt (11). Men, en fördel med PAK är att regenererat kol helst produceras som PAK och tillgången bör därför vara enklare. Utveckling av biokol skulle även här vara en aspekt som medför fördelar både kostnadsmässigt och miljömässigt i framtiden. Vid rengöringen av membranerna finns det en risk att klororganiska föreningar, så kallade trihalometaner, bildas och om högklorerade föreningar bildas är de väldigt stabila och kan då bidra till en mycket negativ miljöpåverkan vid utsläpp till recipient på grund av toxicitet (16). Andra miljökonsekvenser är en möjlig ökning av klimatpåverkan på grund av ökad energianvändning och därmed utsläpp vid produktionen av energi. För PAK-UF (inkl. PAK-MBR) fås en effektiv rening och den åstadkommer en desinfektion av vattnet (11, 60). Metoden skapar inte några farliga nedbrytningsprodukter och den kan i framtiden gynnas av biokolproduktion. Processen kräver dock mycket energi och material av aktivt kol och mycket energi och kemikalier vid UF-drift. Mikroföroreningar överförs till slammet/PAK-slurry som kräver separat hantering. PAK leder till högre kostnader och miljöpåverkan då regenerering av PAK vanligtvis inte är möjligt (11, 60).

5.7.2 Miljökonsekvenser med ozonering

Ett stort problem med ozonering är de farliga bi- och transformationsprodukter som bildas (4, 15). Bromat, nitrosaminer och formaldehyd är några exempel på toxiska biprodukter som bildas under ozonering (11, 49). Dessa biprodukter har ekotoxikologiska effekter och måste avskiljas från vattnet efter ozonering (11). Biologisk efterbehandling har visat sig kunna bryta ner bi- och transformationsprodukter och därmed reducera de ekotoxikologiska effekterna (4).

Ett annat miljöproblem med ozonering är den höga energianvändningen på ozonanläggningar (2). Energianvändningen för en ozoneringsanläggning varierar dock mycket beroende på hur anläggningen är utformad och den befintliga infrastrukturen (4). Om syrgas, som behövs för att tillverka ozongas, produceras på anläggningen blir den totala energianvändningen större jämfört med om syrgasen istället levereras till anläggningen från ett externt företag som har verksamhet i samma stad (15). Men ur ett livscykelperspektiv ska även energi som går åt för syrgasproduktionen tas med i en miljöanalys även om syrgas inte produceras på plats (11).

Förutom energianvändningen för syrgasproduktion utgörs en stor del av den totala energianvändningen av energibehov i ozongenerator som producerar ozongasen (11). Energiförbrukningen i ozongeneratoren beror av ozonbehovet som i sin tur beror av mängden organiskt material i avloppsvattnet som flödar in i kontaktreaktorn (4, 15). Även pumpar och kylningar på ozonanläggningen står för en stor del av den totala energianvändningen (4).

Ozongasen är instabil och explosiv, vilket gör att det blir extra viktigt att tänka på arbetsmiljörisker när gasen används som reningsteknik (2). Vid höga temperaturer kan ozongasen till och med orsaka brand (4). Gasen kan även ge upphov till hud-, ögon- och luftvägsirritation (11). Ozongasen måste därför handskas väldigt varsamt. Det har också visat sig att lång eller upprepad exponering av ozongas kan leda till organskador och genetiska defekter (11). Ozonering är dock ingen helt ny teknik och flera säkerhetssystem på ozonanläggningarna är redan utvecklade för att kunna hantera säkerhetsrisker (4, 11).

Ett ytterligare arbetsmiljöproblem är hantering av flytande syre som i vissa fall levereras till en ozonanläggning (11, 15). Även syrgas som produceras på anläggningen utgör en stor risk (11). Syre i sig är inte farligt (61). Syre finns ju redan i havet, jordskorpan och luften (62). Men när luft eller exempelvis textilier har en hög syrehalt påskyndas förbränningen och brand kan då uppstå (63). Om syre på anläggningen, eller under transport, skulle läcka och luften i omgivningen får högre syrehalt än vanligt kan många ämnen som annars inte brinner börja brinna (11, 63).

6 Diskussion

Diskussionen är uppdelad i 5 olika avsnitt. I det första avsnittet jämförs lagstiftningen i Schweiz med hur en liknande lagstiftning skulle kunna införas i Sverige. I det andra avsnittet diskuteras hur väl de olika avancerade reningsmetoderna reducerar läkemedelsrester. I det tredje avsnittet diskuteras skillnaden i kostnader för de olika metoderna och felkällor bakom kostnadsuppskattningarna. I det fjärde avsnittet diskuteras hur va-taxan kan komma att påverkas om de olika avancerade reningsmetoderna implementeras på Ryaverket, jämfört med hur va-taxan påverkades i Schweiz. Slutligen diskuteras denna rapports miljökonsekvensanalys och dess felkällor.

6.1 Lagstiftning i Schweiz jämfört med Sverige

Lagstiftningen i Schweiz är något som Sverige i framtiden eventuellt kan utgå ifrån om det skulle införas en lagstiftning i landet. Eftersom varje reningsverk fick välja, utifrån de förutsättningar som fanns, vilka läkemedel som skulle renas så gav de en tillgänglighet att anpassa kraven för varje anläggning (15). Detta skulle kunna införas i Sverige som en början för att få upp standarden på alla reningsverken och tackla de läkemedel som har störst påverkan, däremot finns det en del skillnader mellan reningsverk i Sverige och Schweiz. En av skillnaderna är var reningsverken ligger, generellt i Schweiz så är inte recipienterna stora vattenkällor så som hav utan främst mindre floder, detta gör att det inte blir lika mycket utspädning när vattnet väl kommer ut. Till skillnad från Schweiz så varierar recipienten kraftigt i Sverige då vissa reningsverk ligger nära havet vilket innebär att vattnet som lämnar reningsverket kommer att spädas ut till större grad medans vissa reningsverk är mer lika de i Schweiz där det sker väldigt lite utspädning (4). Därmed skulle det vara av större intresse att anpassa eventuell lagstiftning så att den generella effekten på miljön skulle bli densamma för alla reningsverk. Detta för att undvika att lägga onödiga resurser på rening som inte gör någon större skillnad.

Gryaab skulle i detta fallet vara ett reningsverk där recipienten är ett stort hav och därmed sker en hel del utspädning av det avloppsvatten som släpps ut (1). Därför skulle det eventuellt kunna bli ett av de reningsverk som inte prioriteras för avancerad rening utan bibehåller reningen som den är idag. För detta skulle det dock krävas att det inte blir större konsekvenser av läkemedlen i havet jämfört med vad det gör i andra recipienter där avancerad rening är tillämpad. Detta leder då till ännu en punkt där kostnaderna, som redan idag varierar en del mellan de olika kommunerna, skulle eventuellt kunna regleras så att det inte blir en klassfråga om hur mycket vatten man har råd med. Eller att det påverkar sitt val av vilken kommun som man vill bo i på grund av va-taxan. Det borde istället bli något som alla i landet måste bidra till och att det från en klumpsumma delas ut till de reningsverk som då har ett krav av avancerad rening. Alltså måste det övervägas om dessa kostnader för avancerad rening skall läggas som en ökning av va-taxan eller fördelas på något annat sätt.

6.2 Reningen av läkemedel med de olika metoderna för avancerad rening

Hälften av de 10 läkemedel som finns med på listan i lagstiftningen för avancerad rening i Schweiz finns även med på listan för de prioriterade substanserna i Sverige (4, 40). Däremot finns det ännu fler på Sveriges lista, detta skulle kunna bero på att det inte finns en lagstiftning kring dessa så även läkemedel där det inte finns analysmetoder tillgängliga för att mäta koncentrationen kan tas med i listan. Detta visades på flera av de pilotexperiment som studerades i denna rapport då det var flera substanser som var med på listan och skulle mätas, men känsligheten på analysinstrumenten var inte hög nog och därmed kunde koncentrationen inte mätas (24, 47-50). Ett genomgående problem i många pilotprojekt var att hormonstörande ämnen inte gick att mäta vid de låga halterna och därmed fanns inga resultat för dessa ämnen. Däremot är konsekvenserna från att släppa ut hormonstörande ämnen väl känt vilket gör att det skulle vara viktigt att kunna ta reda på hur man kan få en uppfattning av hur mycket de reduceras, detta studerades inte närmare i denna rapport. Det kan dock konstateras att det krävs förbättrade analysmetoder för att kunna utföra tester på vattnet som genomgått avancerad rening och sedan släpps ut från reningsverken. Alternativt att den lägsta detekterbara mängden för analysmetoden är under en gräns så att det inte finns en påverkan på omgivande miljön av detta, detta skulle däremot skilja sig från varje anläggning då recipienten inte är densamma och utspädningen som sker när avloppsvattnet släpps ut kan variera kraftigt. I varje fall skulle mycket arbete krävas för att ta fram den information vilket också skulle leda till mer kostnader.

I denna rapport studerades vattenfasen flitigt men slammet studerades väldigt lite, detta skulle behövas titta vidare på eftersom vissa läkemedel togs bort vid vattenfasen och istället fastnade i slamfasen. I Sverige är det väldigt viktigt att kunna använda slammet till jordbruket, vilket hade kunnat försvåras om slammet istället skulle innehålla alla läkemedel som reducerats bort från vattenfasen (11). Om man skall diskutera utifrån de olika metoderna så skulle slammet troligtvis inte vara ett problem för ozonering då läkemedel skall brytas ned till andra beståndsdelar vilket sker i vattenfasen (4).

För granulerat aktivt kol så skulle det inte heller vara ett så stort problem då det skulle läggas till som ett sista steg och vara som ett extra filter (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Det skulle främst vara regenereringen av det aktiva kolet som skulle behandla det adsorberade läkemedlen och även den metoden har inte studerats närmare i denna rapport. För pulveriserat aktivt kol så skulle det kunna bli ett problem då det aktiva kolet kan tillsättas i ett tidigare steg av reningen för att få en längre uppehållstid, och detta måste därmed separeras bort från vattenfasen i slutet (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10) (11). Eftersom kolet är med i både vattenfasen och även med slammet

så skulle det eventuellt krävas mer rening för att bli av med det från både vattenfasen och slamfasen. Detta påstods även i IVL Svenska miljöinstitutets rapport att PAK skulle kräva separat slamhantering (11). De studierna som har använts och utgått ifrån i denna rapport har främst diskuterat reningen av vattenfasen och därmed finns det inte nog med information för att dra slutsatser kring vilken metod som är bäst i förhållande till läkemedel i slamfasen. Varav det skulle behöva läggas mer fokus på slamhanteringen.

Om en jämförelse görs på hur de olika metoderna, ozonering, granulerat aktivt kol och pulveriserat aktivt kol reducerar olika läkemedlen i svenska reningsverken så kan endast ozonering och granulerat aktivt kol jämföras i detta fall, eftersom det inte hittades några pilotprojekt som tillämpade pulveriserat aktivt kol i Sverige. Även effekter som de individuella läkemedlen har på miljön då de släpps ut har inte fokuserats på i denna rapport. Genom att utgå från resultaten från de fem pilotexperimenten så finns det ingen data eller så gick det ej att mäta värden från följande läkemedel: azitromycin, östradiol, levonorgestrel och metotrexat (24, 47-50). Vissa av dessa är hormonstörande vilket har visat sig vara svårt att mäta och andra har inte funnits med på listan av läkemedel som projektet valt att analysera. Det kan bero på att de analyslabbs som använts inte hade metoder för dessa läkemedel, men anledningen stod inte i rapporterna.

Vissa andra ämnen som uteslöts i flera pilotanläggningar var: klarotromycin, erytromycin, flukonazol, losartan, tramadol och zolpidem. Det är många ämnen som ej har mätts vilket leder till en osäkerhet i vilken metod som är mest effektiv men genom att kolla på de värden där data finns så kan de två pilotprojekten för Himmerfjärdsverket jämföras (47, 48). Detta ger en bra jämförelse mellan GAK och ozon eftersom det inkommande flödet med olika läkemedel bör vara relativt likt eftersom det är från samma reningsverk. Generellt sätt så kan det konstateras att GAK renar bort mest av de flesta läkemedlen, alla (som det finns data för) reduceras till 80% eller mer, förutom diklofenak, oxazepam och sulfametoxazol (48). Alltså renas nio av tolv läkemedel på en standard som den schweiziska lagstiftningen skulle kräva. Däremot är reningen med ozonering i Himmerfjärdsverket mindre effektiv (47). Här renas endast sju av tolv läkemedel på en standard som den schweiziska lagstiftningen skulle kräva och dessutom de läkemedel som ligger under, har en mycket lägre reduktion än vad som krävs. De som inte når upp till en rening på 80% är: Ibuprofen, ketokonazol, naproxen, sertralin och sulfametoxaz (47). Vissa är desamma som för GAK-anläggningen men det finns inte ett tydligt mönster.

Genom att jämföra båda GAK-anläggningarna med de tre ozoneringsanläggningarna så kan man konstatera att diklofenak reduceras effektivare med ozonering (ca 20% bättre) men att ibuprofen reduceras mer i GAK-anläggningen (24, 47-50). Generellt så är inte ibuprofen det största bekymret när det gäller avancerad rening, eftersom det går att reducera bort till stor del i den biologiska reningen (64). Dock så behövs det säkerställas att det faktiskt reduceras bort i just det reningsverket där den avancerade reningen inte tar hand om det. Det tyder även på att karmazepin tas bort bättre med ozoneringen jämfört med GAK, här skiljer sig det dock med 10–15% förbättring (24, 47-50). Ullareds reningsverk, som använde den avancerade reningsmetoden ozoneringen har generellt sätt väldigt låga värden av reduktion jämfört med de andra anläggningarna som använde sig av ozonering. Detta kan bero på att just det specifika reningsverket har en hög belastning samt att det redan var konstaterat att det finns höga nivåer av läkemedel i det kringliggande vattnet (50). Det kan även bero på att mängden organiskt material i vattnet är högt.

Som nämnts i ett tidigare stycke så renar Himmerfjärdsverket nio av tolv läkemedel till mer än 80% med GAK-anläggningen och sju av tolv med ozoneringen (47, 48). Nykvarnsverket som använde ozonering renar åtta av tio läkemedel till mer än 80% (49). Kalmar avloppsreningsverk med en GAK-anläggning renade nio av femton läkemedel och till sist Ullareds reningsverk renade fyra av nio läkemedel till mer än 80% (24, 50). Det är ingen självklarhet vilken teknik som bör väljas genom att endast väga in vilka läkemedel som reduceras. Det kräver en djupare förståelse kring varför Ullareds reningsverk inte hade en lika hög reduktion som de andra anläggningarna med ozonering samt en förståelse kring vilka läkemedel som är viktigast att avskilja. Genom att endast utgå från de siffror som precis diskuterades ovan och bortse från Ullareds reningsverk så skulle GAK och ozonering ge en lika stor reningsgrad, om man däremot räknar med Ullared så skulle genomsnittet för ozonering sjunka och en GAK-anläggning skulle vara att föredra. Sammanfattningsvis skulle det kunna konstateras att det inte finns nog med underlag för att utse vilken metod som är effektivast och både GAK och ozonering ger en bra rening. Om man då skulle utgå från lagstiftningen i Schweiz om att sex läkemedel skall väljas och reduceras till över 80% så skulle båda metoder fungera. Det går dock inte att specialisera samma läkemedel som finns med på listan i Schweiz då inte alla analyserades i dessa pilot-experiment.

Enligt IVL Svenska Miljöinstitutets rapport så skulle en BAF(GAK)-anläggning rekommenderas om endast en enskild teknik skulle användas och annars så var en kombination av BAF(GAK) och ozonering det första alternativet för en anläggning som redan har membranbioreaktorer, eftersom Gryaab redan har det har därför det scenariot utgått ifrån (11). Efter en BAF(GAK)-anläggning skulle PAK-UF anläggning användas där stora fördelen med ultrafilter är möjligheten till att filtrera bort mikroplaster, denna möjlighet finns inte för de andra metoderna (11). I fallstudien som gjordes med Gryaab så diskuterades enbart GAK och inte som en kombination med biologiskt aktivt filter, eller ozonering och även endast PAK och inte med ett ultrafilter då skivfilter skulle sköta avskiljningen av det aktiva kolet. Därmed är det inte helt rätt att anta att BAF(GAK) skulle vara detsamma som endast GAK men PAK-UF borde vara mer likt endast PAK. Det kan dock användas som en fingervisning till att aktivt kol är en bra metod att använda som metod för avancerad rening.

En del felkällor som kan ha förekommit i dessa studier är främst hur svårt det är att mäta reningen från endast de avancerade metoderna och anta att den vanliga reningen inte påverkar. Sedan har även flera olika projekt använts och jämförts med varandra där vissa skillnader kan ha uppkommit i hur och när olika mätningar togs, vilka instrument som användes, samt vilka läkemedel som analyserades. En annan svårighet när det kommer till avancerad rening är att veta vilka läkemedel som skall reduceras bort, listan med ämnen som behöver övervakas förändras ständigt och uppdateras när man har mer kunskap i området, därmed är det svårt att ta beslut om vilka läkemedel som är viktigast. EU:s direktiv skapade listan med ämnen som skulle övervakas som några år senare uppdaterades där fler ämnen lades till (3, 39). Detta är något som troligtvis kommer att fortsätta ske vilket också ger en osäkerhet kring vilken metod som är den bästa.

6.3 Kostnadsuppskattningar för de olika metoderna på Gryaab

När kostnadsberäkningarna för de tre olika avancerade reningsmetoderna, granulerat aktivt kol (GAK), pulveriserat aktivt (PAK) och ozonering, genomfördes så var utgångspunkten och den egentligen enda källan 'Handboken för rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk' (11). De beräknades även utifrån en kapacitet på ungefär 1 Mpe. Tillskillnad från Gryaab som är dimensionerat för 970 000 pe. Med detta i åtanke så blev vardera kostnadsberäkning översiktligt uträknad varav att det är svårt att dra

några detaljerade slutsatser kring resultaten. Det är även ganska svårt att dra slutsatser om de är relevanta eller inte. Därför kan istället övergripande slutsatser dras och de olika avancerade reningsmetoderna kan jämföras även de, övergripande. Det som kan tas i beaktning vad gäller felkällor, är att många källor som handboken har använt sig av, är företag som inte har använt sig av transparanta försök och data (11). Utan istället har handboken utgått ifrån generella data och försiktigheten i det kan diskuteras vidare.

6.3.1 Diskussion kring kostnadsberäkningar av ozonering

Kostnadsberäkningen av ozonering och implementeringen av denna avancerade reningen på Ryaverket genomfördes med hjälp av den redan nämnda källan, handboken (11).

Implementering av ozonering på Ryaverket skulle ske någonstans i mitten av reningsprocessen och därmed implementeras i den redan använda reningsprocessen (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10), se avsnitt 5.3.1 figur 4 för en tydlig bild. En ozonreaktor och syrgastank skulle behöva byggas och integreras i processen och kostnaden för denna utbyggnad är svår att beräkna, då inga kostnadsberäkningar för liknande utbyggnader har gjorts.

Enligt de uppskattade kostnadsberäkningarna skulle investeringskostnaderna för Gryaab vara ungefär 283 Mkr, vilket är en hög kostnad och denna kan tänkas variera och förmodligen ha en relativt hög felmarginal (11). Att bygga ut en del av en anläggning som redan används är förmodligen det mest kostnadseffektiva, som i sådana fall kommer ske på Gryaab. Men då Gryaab redan idag har en begränsad plats och med mycket skog runtomkring anläggningen som inte får vidröras, blir utbyggnadskostnaden och implementeringen av ozonering svårare för Gryaab tillskillnad för något annat reningsverk som då exempelvis har mer utrymme för tillbyggnad. Mer delar måste tas i beaktning vid utbyggnad och även var någonstans som tillbyggnaden skulle ske. I dagsläget diskuterades det att den som sagt skulle ske centralt av reningsprocessen, men om förstudien som nu görs på Gryaab visar att det skulle vara bättre och mer effektivt att introducera ozoneringssteget i slutet av reningsprocessen hade även detta förändrat resultatet och därmed kostnaden (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10).

Utifrån den kostnadsberäkning som har gjorts så har det utgått ifrån att ozon tillverkas på plats, då de större reningsverken som har haft pilotförsök, exempelvis Nykvarnsverket, har visat att det verkar mer lönsamt (49). Nykvarnsverket är i sig en väldigt mycket mindre anläggning som är dimensionerat för 235 000 pe till skillnad från Gryaab. För större anläggningar, blir den totala kostnaden mindre för implementering av ozonering som avancerad rening (11). Då kostanden minskar för större anläggningar så hade driftkostnaden blivit relativt låg vid implementering av ozonering och i Gryaabs fall hade ozonering varit det mest kostnadseffektiva jämfört med GAK och PAK. Dock så är något som måste tas i beaktning att ozon är en explosiv gas och utgör vissa risker. Att hantera ozon kan därför vara oförutsägbart och detta kan leda till större kostnader i längden, än till exempel aktivt kol.

6.3.2 Diskussion kring kostnadsberäkningar av GAK

Kostnadsberäkningarna på GAK utgicks även den från handboken som nämns i avsnitt 6.3.1 tidigare, utöver den jämfördes kostnaderna ifrån handboken med kostnadsberäkningar som gjordes på Kalmarsreningsverk (11, 24). Implementeringen av GAK skulle ske efter skivfiltreringen se figur 6 i avsnitt 5.3.3 (1). Enligt de beräkningar som utfördes från rapporten med Kalmars reningsverk som källa och med IVL miljöinstituts handbok gjordes ett medelvärdesöverslagsräkning och för att Gryaab skulle implementera denna avancerade reningen skulle investeringskostnaderna ligga på ca 1548 Mkr (11, 24). Detta är en väldigt hög kostnad och felmarginalen är nog även den ganska hög.

Då Gryaab är dimensionerat för så mycket personekvivalenter så är förmodligen kostnaden mindre än detta, då kostnaden blir lägre för större reningsverk (11). IVL miljöinstitut gav i sin tur lite mer bredd i deras källor, då de använde sig av flertalet olika. Dock så finns det inte så stora anläggningar i Sverige idag som använder GAK och då blir det svårt att jämföra. Enligt våra beräkningar som gjordes utifrån handboken skulle investeringskostnaderna för Gryaab bli ungefär 376 Mkr, vilket är en mycket mindre summa tillskillnad från kostnadsberäkningarna som utgick ifrån Kalmarreningsverks rapport på 2720 Mkr (11, 24). Kalmar reningsverk är dimensionerat för 70 000 pe, vilket är väldigt mycket mindre än Gryaab (24).

En GAK-anläggning tar stor plats och kan därför vara väldigt otymplig att integrera i en anläggning med redan begränsad plats. Det är väldigt svårt att veta vad GAK-anläggningen skulle kosta specifikt och på Gryaab så är det oklart hur många bäddvolymer som skulle behöva integreras i anläggningen (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Detta skapar en osäkerhet och påverkar dessutom den slutliga kostnaden och det är svårt att dra slutsatser utefter det. Dock så kan vi se att det är en extremt stor investering för Gryaab och med tanke på recipient och det höga vattenflöde som de har, så är det inte den mest kostnadseffektiva avancerade reningsmetoden.

Då en GAK-anläggning skulle behöva byggas och implementeras i den redan existerande anläggningen skulle inte slitagekostnader bli så höga, tillskillnad från exempelvis PAK där slitage skulle bli högre då det implementeras i den redan existerande anläggningen (11). Något som även det är värt att nämna är att i kostnadsberäkningarna som gjordes av IVL miljöinstitutet inte nämnde hur mycket regenererat kol som används. Detta leder till ytterligare osäkerheter vad gäller kostnader. Dessutom varierar det kostnadsmässigt på vilket kol som används vid tillverkning av aktivt kol. Det är skillnad på om biokol eller fossilt kol används och även på hur mycket som behövs (11). I de kostnadsberäkningarna som utfördes har fossilt kol används och importerats från Belgien (11). Om Gryaab istället skulle använda sig av biokol skulle denna kostnaden förmodligen gå upp och mer kol skulle behöva användas (11). Detta gäller samma sak för PAK.

6.3.3 Diskussion kring kostnadsberäkningar av PAK

Kostnadsberäkningen som utfördes på PAK utgick ifrån samma källa som de andra två avancerade reningsmetoderna. Dock fanns det inte här något pilotprojekt att jämföra med överhuvudtaget, då detta inte har gjort på en fullskalanläggning ännu i Sverige. Däremot hade som sagt IVL svenska miljöinstitutet utfört en kostnadsuppskattning för metoden och utefter den har kostnadsberäkningarna gjorts. Det märkbart positiva med pulveriserat aktivt kol är att det inte skulle behöva byggas till en separat anläggningsdel, utan kolet skulle doseras direkt i redan befintlig del av anläggningen (11). Istället är skivfiltreringen extra viktigt för att filtrera bort det aktiva kolet från vattenfasen (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Kolet skulle på Gryaab tillsättas i efterdenitrifikationen eller efterdenitrifikationen, se figur 5 i avsnitt 5.3.2 (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Detta skulle innebära att kostnadsuppskattningen skulle inkludera fler steg än vad som behövs på Gryaab och kostnaden har därmed överskattats.

Investeringskostnaden räknades ut att bli ungefär 1330 Mkr, vilket även det är en hög kostnad. Detta är en mycket högre kostnad jämfört med vad det granulerade aktiva kolet hade kostat. Men medelvärdet på investeringskostnaden för det granulerade kolet blev 1548 Mkr, vilket uppenbarligen är högre än för GAK. En kostnad som även den kommer gå upp för

Gryaab är att i det aktiva slammet kommer det att finnas mycket pulveriserat aktivt kol och detta kommer förmodligen leda till att mer resurser skulle behöva läggas på rening av slammet. Då slammet idag används som näring för jordbruk (1) (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Om PAK tillsätts och det tar för mycket resurser att rena det aktiva slammet kan en lösning vara att förbränna slammet, men som tidigare nämns så används slammet idag inom jordbruk och är en resurs där. Dessutom skulle en PAK-anläggning innebära mycket slitage på den redan existerande anläggningen och dessa kostnader kan inte tas hänsyn utifrån kostnadsuppskattningen som har gjorts. Då alla anläggningar ser olika ut och har åldrats olika mycket. PAK är en dyr och avancerad reningsprocess, liknande GAK och är inte det mest kostnadseffektiva för Gryaab att implementera.

6.4 Va-taxa diskussion och jämförelse Sverige och Schweiz

Va-taxan skiljer sig en hel del ifrån Schweiz och Sverige. Efter att Schweiz implementerat den avancerade reningen så kommer va-taxan gå upp till cirka 0,83–0,91 öre/liter (15, 18). Vilket är en ökning med ca 10–20 %. Till skillnad från den genomsnittliga va-taxan i Göteborg, om ozonering skulle implementeras på Gryaab skulle kostnaden bli 2,29 öre/liter, vilket är en ökning på 1 % från det ursprungliga priset (52). Detta är en väldigt liten ökning och skulle därför inte påverka invånarna runtomkring Göteborg så mycket. Implementeringen av GAK skulle innebära en ökning till 2,36 öre/liter (11, 24), vilket motsvarar en ökning på 3 %. Det är en större ökning, men fortfarande inte riktigt märkbar. Till skillnad från PAK, som skulle ha en ökning till 2,40 öre/liter vilket i sin tur motsvarar en ökning på 5 % (11). Implementering av PAK skulle innebära den högsta ökningen av va-taxa och därmed påverka ekonomin för befolkningen mest av de tre varianterna. Värt att nämna är att återigen beroende på vart man bor växlar priset samt att detta gäller om ökningen i priset endast läggs på va-taxan.

Det är en rimlig ökning på de olika va-taxorna, då de kostnadsberäkningarna som har gjorts visar att driftkostnaden för PAK är nästintill det dubbla för GAK. Uträkningen av ökning av va-taxan gjordes väldigt generellt och ett medelvärde av de olika kommunernas va-taxa, som är kopplade till Ryaverket, användes. Det är även värt att nämna att enligt IVL miljöinstitutets rapport så nämns det aldrig att det är va-taxan som skulle öka med en viss kostnad, utan det är den specifika kostnaden per kubikmeter avloppsvatten som nämns och det har i denna rapport tolkats som att det är va-taxan som syftas på. Va-taxan är ganska hög i Sverige generellt jämfört med utomlands (15, 52). Detta kan vi även se vid jämförelser med Schweiz. En felkälla vid uträkning av va-taxan skulle exempelvis kunna vara att slitage inte heller här har räknats med.

6.5 Diskussion kring miljökonsekvensanalys

Ozonbehandlingen kräver mer energi vid anläggningen än behandling med aktivt kol, men ur ett livscykelperspektiv är miljöpåverkan låg i förhållande till scenarierna med aktivt kol (11). När det kommer till nytillverkat aktivt kol (PAK och GAK) kommer den stora miljöpåverkan från koldioxidemissioner som uppstår under tillverkningen, där 2/3 av råmaterialet under aktiveringen bränns av (4, 11). Ånggenereringen vid tillverkningen av aktivt kol har också en stor inverkan då den baseras på fossila bränslen. Aktivt kol med regenerering medför en mindre miljöpåverkan när det kommer till transporter jämfört med aktivt kol utan regenerering, eftersom det aktiva kolet kan återanvändas och mindre aktivt kol behöver köpas in och transporteras till reningsverken (11). Idag är det svårt att dra slutsatser när det kommer till regenerering och det vanliga aktiva kolet då marknaden inte undersökts för aktivt kol i Sverige. Enligt handboken (11) skulle det aktiva kolet importeras från Belgien. Om en

lagstiftning skulle träda i kraft i Sverige så öppnar det upp för en större marknad vilket förmodligen skulle leda till fler producenter runtom Europa av aktivt kol, varav ett större utbud.

Miljöpåverkan per renad enhet vatten blir generellt sett mindre ju större anläggningen är, för både aktivt kol och ozonering (4, 11). Gryaab, som är en av Sveriges största anläggningar går in under kategorin stor anläggning och med Göta Älv som recipient skulle miljöpåverkan per renad enhet vatten bli mindre. Enskilda tekniker som exempelvis aktivt kol för sig eller ozonering för sig, ger en mindre miljöpåverkan än vad en kombination av aktivt kol och ozonering ger (4, 11). Kombinationen av aktivt kol och ozonering har inte diskuterats vidare i denna rapport eftersom att det skulle leda till högre kostnader och därför inte har varit relevant för Gryaab (personlig kommunikation, G Ernst, S Tumlin, 2020-03-10). Dessutom då Gryaabs anläggning redan har platsbrist, skulle det vara oerhört svårt att få plats med utrustning för de två avancerade reningsmetoderna.

Totalt sett är energibehovet för rening med ozonering samma som rening med hjälp av aktivt kol om tillverkning och regenerering av aktivt kolet räknas med (11). I motsats till tillverkning och regenerering av aktivt kol som sker utomlands idag, kommer energiförbrukningen vid ozonering, som tillverkas i Sverige, leda till mindre miljöpåverkan per kWh på grund av den mer gröna elmixen (11). Klimatpåverkan utanför Norden är större eftersom energin produceras från en större andel fossila bränslen därmed skulle det gynnas att ha produktion och regenerering av aktivt kol i Sverige för att minska den totala miljöpåverkan (11). Därigenom skulle det potentiellt kunna minska transportsträckorna.

När det gäller GAK och PAK är det framförallt produktion och regenerering av aktivt kol som kräver stora mängder energi medan det för ozonering är själva driften som ger en ökad energianvändning (16). Om nytt aktivt kol utan regenerering används skulle det medföra mer än en femdubbling av klimatpåverkan från tillverkningen av aktivt kol (16). Nya tekniker som exempelvis användning av biokol som tillverkats av reningsverkets eget slam eller andra substrat är exempel på alternativ som kan vara enormt fördelaktiga, även om exakta emissioner inte kan kvantifieras eftersom det saknas referensanläggningar (4) (16). Biokol skulle vara intressant för Gryaab då det produceras mycket slam från reningsprocessen som skulle kunna användas för att producera det. Utifrån resultatet finns inte så mycket information att dra slutsatser ifrån när det kommer till biokol, men om det hade varit möjligt att implementera detta på Gryaab hade det varit en vinst miljömässigt.

GAK, PAK och ozonering ger en effektiv rening (60). Ozonering anses vara en relativt enkel reningsmetod men skapar också en del okända nedbrytningsprodukter, vilket kan ses som en stor nackdel i jämförelse med aktivt kol. På grund av att ozon också är ett kraftfullt oxidationsmedel finns det en del arbetsmiljörisker att ha i åtanke. I jämförelse med aktivt kol finns det många hälsorisker med ozonering så i den aspekten kan aktivt kol ses som ett bättre alternativ, där ozonet misstänks kunna orsaka genetiska defekter samt organskador (60).

I miljökonsekvensanalysen i denna rapport har som tidigare nämnts ingen livscykelanalys gjorts, vilket gör denna analys översiktlig och icke fullständig. En fullständig livscykelanalys hade gjort resultatet mer trovärdigt och genererat mer styrkta argument. På grund av den noggrant utförda analysen kan denna jämförelse ändå bistå hög tillförlitlighet.

7 Slutsats

Från den information som har samlats i detta arbete så kan det konstateras att Schweiz har kommit mycket längre när det kommer till avancerad rening, jämfört med Sverige. När det gäller lagstiftning så finns det mycket som Sverige kan använda sig av från Schweiz och utgå ifrån om en framtida lagstiftning skulle implementeras. Det har visats vara relevant att studera olika avancerade reningsmetoder i Sverige och mycket forskning och pilotprojekt har gjorts. Däremot är det inte lika självklart att genomföra den avancerade reningen i Sverige jämfört med Schweiz på grund av recipienten.

Utifrån de tre metoderna som analyserades fanns det inte en självklarhet i vilken som reducerade läkemedel bäst, utan det beror på vilka läkemedel och i vilka halter som de finns i vattnet. Därför kan ingen direkt slutsats dras från detta perspektiv. Om man istället utgår från den kostnadsuppskattning som gjordes kan det konstateras att ozonering var det mest kostnadseffektiva avancerade reningsmetoden för Gryaab att implementera. Detta skulle innebära en investeringskostnad på 283 Mkr och en driftkostnad på 13 Mkr/år. Om driftkostnaden skulle täckas av enbart va-taxan så skulle det bli en ökning på 1%. Däremot krävs mer information kring om det är ett bra tillvägagångssätt att finansiera det på. Om denna ökning på kostnaderna är rimlig är däremot okänt och mer information om detta krävs.

En ozonanläggning kräver mer driftenergi på ett reningsverk än behandling med PAK respektive GAK, men ur ett livscykelperspektiv är miljöpåverkan för ozonering låg i förhållande till rening med PAK respektive GAP. Koldioxidemissioner som uppstår under tillverkningen av aktivt kol utgör en stor del av den totala miljöpåverkan från PAK och GAK. Ånga, naturgas och el används för att tillverka aktivt kol och dessa energikällor ger upphov till koldioxidutsläpp som bland annat förstärker växthuseffekten. Ångan som används vid produktion av aktivt kol genereras med hjälp av fossila bränslen, såsom naturgas och olja. Dessutom förbränns 2/3 av råmaterialet vid tillverkning av aktivt kol, vilket ger upphov till ännu mer koldioxidutsläpp.

I jämförelse med aktivt kol finns också fler hälsorisker med ozonering, så ur den aspekten kan aktivt kol ses som ett bättre alternativ. Ozonering bildar farliga bli- och transformationsprodukter som har ekotoxikologiska effekter. Dessa bli- och transformationsprodukter måste avskiljas från avloppsvattnet efter ozonering, till exempel med hjälp av biologisk efterbehandling. Ozongas, som används vid ozonering, är instabil och explosiv och gasen kan även ge upphov till hud-, ögon och luftvägsirritation. Det har också visat sig att lång eller upprepade exponering av ozongas kan leda till organskador och genetiska defekter. Detta gör att det blir extra viktigt att tänka på arbetsmiljörisker när gasen används som reningsteknik.

8 Referenser

1. Videbris K-E. Miljörapport Ryaverket 2018 avser avloppsrening Ryaverket. Gryaab; 2018 2019-03-22. Report No.: 2019:2 Contract No.: Gryaabrapport 2019:2.
2. Naturvårdssverket. Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen. Stockholm; 2017. Report No.: 6766.
3. Commission Implementing Decision (EU) 2015/495, 2015/495 (2015).
4. Michael Cimbrits AM. Reningstekniker för läkemedel och mikroföroreningar i avloppsvatten. Havs- och Vattenmyndigheten; 2018 2018-06-12. Report No.: 2018:7.
5. Endre N. Basic Equations of Mass Transport Through a Membrane Layer 2019. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128137222000157>.
6. Naturvårdsverket AA, Sundin A M, Linderholm L, Borbas I, Svinhufvud K, Eklund K, Unger M L, Havs- och vattenmyndigheten, Rosenblom, SCB. Rening av avloppsvatten i Sverige. 2016.
7. M. Henze PH, Jansen J. La Cour & E. Arvin. Wastewater treatment. Biological; and chemical processes. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom.77(4).
8. C. Wahlberg BB, N. Paxéus. Läkemedelsrester i Stockholms vattenmiljö, förekomst, förebyggande åtgärder och rening av avloppsvatten. Stockholm: Stockholm Vatten AB; 2010 12.02.14.
9. C. Baresel ME, M. Harding, J. Magnér, A. Allard, J. Karlsson. Kompletterande tester för en resurseffektiv avancerad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet; 2017 Oktober 2017. Report No.: B 2287.
10. C. Baresel APC, M. Hörsing, M. Ek, H. Ejhed, A. Allard, J. Magnér, K. Westling, C. Wahlberg, U. Fortkamp, S. Söhr. Pharmaceutical residues and other emerging substances in the effluent of sewage treatment plants. IVL Svenska Miljöinstitutet; 2015 April 2015. Report No.: B2226.
11. C. Baresel ME, H Ejhed, A. Allard, J. Magnér, L. Dahlgren, K. Westling, C. Wahlberg, U. Fortkamp, S. Söhr. Handbok för rening av

mikroföroreningar vid avloppsreningsverk, planering och installation av reningstekniker för läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. Stockholm; 2017 Oktober 2017. Report No.: B 2288.

12. Levlin E. Intermittent högflödesrening för bräddvatten. Stockholm: KTH, VA-kluster Mälardalen, miljöteknik AfVo; 2020 2020.01.24.

13. M. Hörsing CW, P. Falås, G. Hey, A. Ledin, J.C. Jansen. Reduktion av läkemedel i svenska avloppsreningsverk - kunskapssammanställning. Bromma: Svenskt Vatten Utveckling; 2014 2014. Report No.: 2014-16.

14. M. Ekblad MC, F. Nilsson, G. Ernst, H. El-taliawy, S. Tumlin, K. Bester, M. Hagman, A. Mattsson, L. Blom, L. Stålhandske, J.C. Jansen. Ozonering för nedbrytning av organiska mikroföroreningar, Pilottester i södra Sverige. VA-teknik Södra; 2015 2015. Report No.: 04.

15. M. Cimbritz ST, M. Hagman, I. Dimitrova, G. Hey, M. Mases, N. Åstrand, J.C. Jansen. Rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. En kunskapssammanställning. Svenskt Vatten Utveckling; 2016 2016. Report No.: Nr 2016-04.

16. C. Baresel JM, K. Magnusson, M. Olshammar. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet; 2017 April 2017. Report No.: C 235.

17. Nationalencyklopedin. Biokemisk syreförbrukning. Biokemisk syreförbrukning.

18. Rik I. L. Eggen JH, Adriano Joss, Michael Scharer, och Christian Stamm. Reducing the Discharge of Micropollutants in the Aquatic Environment: The Benefits of Upgrading Wastewater Treatment Plants. 2014 2014/06/10.

19. Schweiz går i bränschen för hantering mikroföroreningar vid rening av avloppsvatten: Afry Åf Pöyry; [Available from: https://afry.com/sv/insight/schweiz-gar-i-braschen-hantering-mikrofororeningar-vid-rening-av-avloppsvatten?fbclid=IwAR101PwOn50_CRN0FljLXEMYwlHk2ZmiTAjzot4QRxNay4HQnnfpxaNW6H4].

20. Chemistry RSo. ChemSpider. Royal Society of Chemistry.

21. A. Joss MS, C. Abegglen Micropollutants: the Swiss strategy. Eawag aquatic research, Federal Office for the Environment FOEN,

Swiss Confederation, Federaö department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC.

22. R. Hochstrat MS, H. Bleny. Elimination of micropollutants - the Swiss approach. TAPES Final Conference; 2015.09.24; Brussels:

Fachhochschul Nordwestschweiz, Eidgenössisches Departement Für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU; 2015.

23. J. Margot CK, A. Magnet, M. Weil, L. Rossi, L.F. Alencastro, C. Abegglen, D. Thonney, N. Chèvre, M. Schärer, D.A. Barry. Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? ; 2013 2013.02.12.

24. Ellen Edefell RU, Elina Bengtsson. Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar. Bromma: Svenskt Vatten Utveckling; 2019 2019. Report No.: 2019-1 Contract No.: 2019-1.

25. Switzerland's first facility for the removal of micropollutants. Dübendorf: ARA Neugut.

26. Ozonation at Neugut WWTP-pioneering a process for the future: ARA Neugut, Ozonung; [cited 2020 2020.05.04]. Available from: <http://www.neugut.ch/index.php/27/>.

27. Böhler M. Ozonung ARA Neugut, Dübendorf Überwachung und Regelung der Ozonung zur Spurenstoffelimination mittels UV Absorbanzmessung: Eawag aquatic research; [cited 2020 2020.05.04]. Available from:

<https://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/abwasser/ozonung-ara-neugut-duebendorf/>.

28. McArdell CS. The first full-scale advanced ozonation plant in the Dübendorf WWTP running; the new Swiss water protection act approved. Dübendorf: Eawag; 2015 Mars 2015. Report No.: 09032.

29. Wasser ist Leben. Gewässerschutz ist unsere Aufgabe. In: AraBachwis, editor. Fällanden: AraBachwis.

30. Joss A SMAC. Micropollutants: the Swiss strategy.

31. E L. Regionalization and water governance: a case study of a Swiss wastewater utility. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Research & Swiss Federal Institute of Technology; 2011. Contract No.: 14.

32. Technology SFloASa. Strategy Micropoll. Department Process Engineering.
33. Burkhardt-Holm P PASH. Decline of fish catch in Switzerland - Projekt Fishnet. 2002.
34. M T. UV Filters in Sun Screens. In: Foundation SNS, editor. Basel2006. p. 11.
35. M T. Brominated Flame Retardants. In: Foundation SNS, editor. Basel2007. p. 13.
36. M T. Endocrine Disruptors in Waste Water and in the Aquatic Environment. In: Foundation SNS, editor. Basel2008. p. 15.
37. Eggen R. I. L HJ, Joss A, Schärer M and Stamm C. Reducing the Discharge of Micropollutants in the Aquatic Environment: The Benefits of Upgradin Wastewater Treatment. American Chemical Society, Technology ES; 2014 10 Juni.
38. Developing the Swiss strategy to reduce organic micropollutants in surface waters Koblenz: Federal Office for the Environment [cited 2020 10 April]. Available from: https://www.eu-neptune.org/Workshop/08_-Michael_Schaerer_Neptune_Koblenz_April_2009.pdf.
39. Directive of the European Parliament and of the Council, 2011/0429 (COD) (2011).
40. Läkemedelsverket. Miljöindikatorer inom ramen för nationella läkemedelsstrategin (NLS). Uppsala: CBL-kansliet, Läkemedelsverket; 2015 2015.09.07.
41. Bester K. Bonus Cleanwater: Sweden water research; [Projekt som skall inledas april 2017- april 20]. Available from: <https://www.swedenwaterresearch.se/projekt/cleanwater/>.
42. Finnson A. Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk: Svenskt Vatten 2020 [updated 2020.03.27; cited 2020 2020.05.01]. Available from: <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/reningsverk-och-reningsprocesser/bestallargrupp-lakemedelsrester-mikroplaster-och-andra-fororeningar/>.
43. Björlenius B. Pharmaceuticals - improved removal from municipal wastewater and their occurrence in the Baltic Sea. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology; 2018.

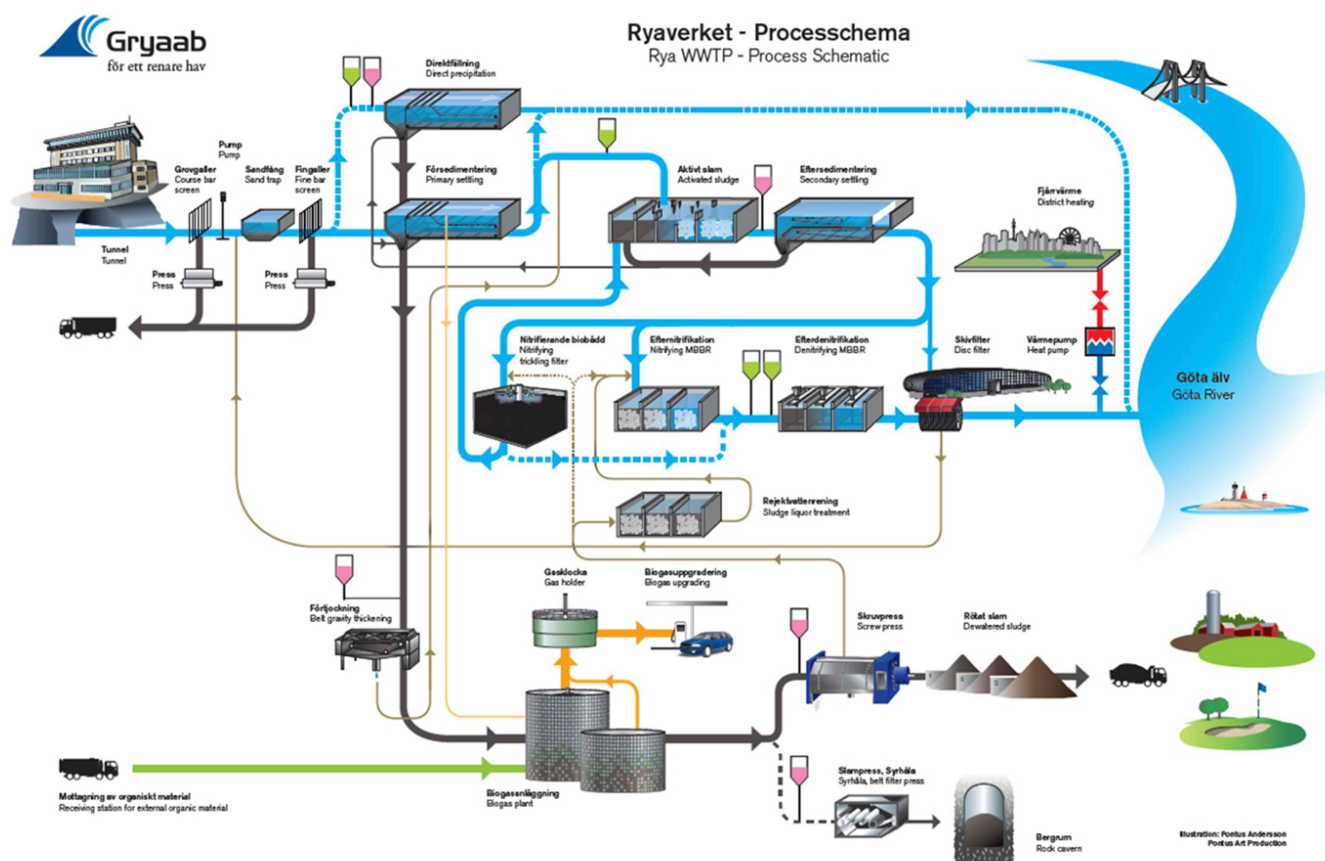
44. Larsson P. Tekniken som renar avloppsvatten från läkemedel Stockholm: KTH; 2013 [updated 2013.02.18; cited 2020 2020.05.01]. Available from: <https://www.kth.se/aktuellt/nyheter/tekniken-som-renar-avloppsvatten-fran-lakemedel-1.370072>.
45. Gryaab får 3,2 miljoner till förstudie om läkemedelsrening Göteborg: Gryaab; 2019 [updated 2019.06.04; cited 2020 2020.05.04]. Available from: <https://www.gryaab.se/gryaab-far-32-miljoner-till-forstudie-om-lakemedelsrening/>.
46. Söhr S. Miljörapport 2013. Grödinge: SYVAB; 2014 2014-03-28.
47. Mats Ek CB. Ozonförsök för rening av läkemedelsrester vid Himmerfjärdsverket. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet; 2013 2013-03-13. Report No.: U4201 Contract No.: U4201.
48. M. Ek RB, C. Baresel. Avskiljning av läkemedelsrester med granulerat aktivt kol, försök vid himmerfjärdsverket. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet; 2013 2013-10-21. Report No.: U4492.
49. Robert Sehlén JM, Christian Baresel, Mats Ek, Jörgen Magnér, Ann-Sofie Allard, Jingjing Yang. Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten. Stocholm: IVL Svenska Miljöinstitutet; 2015 2015-02. Report No.: B 2218.
50. M. Habagil AP, A. Gunnarsson, S. Svedberg, A. Keucken, C. Baresel, A. Malovanyy. Läkemedelsrening vid Ullareds reningsverk, Förstudie. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet. Report No.: C 468 Contract No.: C 468.
51. AB G. Gryaab Årsredovisning 2019. Göteborg; 2019.
52. Vatten S. Svenskt Vattens statistik över VA-taxor 2019. In: Vatten S, editor. 2019.
53. Vatten S. Kommentarer till 2019 års taxestatistik. 2019 19.09.01.
54. Bank F. Schweiz - Francs (CHF) [Available from: <https://www.forex.se/valuta/resmal/schweiz>].
55. L. Rizzo SM, D. Antakyali, V. Beretsou, M. Dolic, W. Gernjak, E. Heath, I. Ivancev-Tumbas, P. Karaolia, A. Ribeiro, G. Mascolo, C. McArdell, H. Schaar, A. Silva, D. Fatta-Kassinou. Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. 2018 18.11.17.

56. K. Hjaila RB, M. Sarr1, C.M. Gasol, P. Blázquez. Environmental impact associated with activated carbon preparation from olive-waste cake via life cycle assessment. 2013 2013.10.01.
57. J.F.J.R Pesqueira MF, R. Pereira, A.M.T. Silva. Environmental impact assessment of advanced urban wastewater treatment technologies for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern: A review. 2020 2020.03.14.
58. Hansson M. Läkemedelsrening: NCC; [cited 2020 2020.05.01]. Available from: <https://www.ncc.se/vart-erbjudande/infrastruktur/val-processindustri/lakemedelsrening/>.
59. M.H. Kim ITJ, J.W. Kim, S.B Park. Analysis of environmental impact of activated carbon production from wood waste. 2018 Juni 2018.
60. Rening av mikroföroreningar vid avloppsreningsverk. In: IVL Svenska Miljöinstitutet K, Syvab, Stockholm vatten och avfall, Havs och Vatten myndigheten, editor.
61. M. Runold IK, C. Rivero, . Oxygenbehandling: Vårdhandboken; 2018 [updated 2018.11.09; cited 2020 2020.05.04]. Available from: <https://www.vardhandboken.se/vard-och-behandling/lakemedelsbehandling/oxygenbehandling/oversikt/>.
62. B. Jonson HR, L.I. Elding, L.O. Björn. Syre. National Encyklopedin: National Encyklopedin.
63. M. Runold IK, C. Rivero,. Säkerhet vid behandling: Vårdhandboken; 2018 [updated 2018.05.04; cited 2020 2020.05.04]. Available from: <https://www.vardhandboken.se/vard-och-behandling/lakemedelsbehandling/oxygenbehandling/sakerhet-vid-behandling/>.
64. H. Ejhed JM, M. Olshammar, M. Remberger, K. Norström, K. Lilja, M. Bibi. Enskilda avlopp som källa till läkemedelsrester och andra kemikalier. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet; 2012 2012.09.17. Report No.: B2070 Contract No.: B2070.

Bilagor

Bilaga 1: Flödesschema för Gryaabbs reningsverksanläggning

I flödesschemat nedan kartläggs vattnets väg genom reningsverket, Ryaverket. Denna information hämtades från Gryaabbs miljörapport (1). Vattnets väg visas med blåa pilar och även blåa streckiga. De gula och svarta pilarna visar den väg slammet transporteras och de röda pilarna visar vart renset tas ut och förs bort.



I figuren visas ett flödesschema över Ryaverkets vattenreningsanläggning (1). Återgiven med tillstånd.



CHALMERS