

FOSSILT KOL I AVLOPPSRENINGSVVERK

En estimering av mängden fossilt kol
i inflödande avloppsvatten samt i
tillsatser av kemikalier för rening

Amanda Josefsson

**Degree of Bachelor of Science
with a major in Earth Sciences
15 hec**

**Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2022 B-1194**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

FOSSILT KOL I AVLOPPSRENINGSVVERK

En estimering av mängden fossilt kol
i inflödande avloppsvatten samt i
tillsatser av kemikalier för rening

Amanda Josefsson

ISSN 1400-3821

B1194
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2022

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Abstract

Emissions of greenhouse gases is a problem for the environment. Combustion of fossil fuels are an obvious source for the problem but there are also smaller and less observed sources that increases greenhouse gases in the atmosphere. IPCC makes the assessment that wastewater only contain modern carbon that does not contribute to emissions of fossil carbon dioxide. This is a misleading assessment according to the results of previous studies by that shows the presence of fossil carbon in the influent wastewater. The range of the fossil carbon content does in these studies vary between 4- 28% of the total organic carbon. This carbon will in the treatment convert into carbon dioxide resulting in emissions of fossil greenhouse gases. The sources of fossil carbon in influent wastewater are pharmaceuticals, detergents and industrial waste. Fossil carbon is also added in the treatment process in the form of different treatment chemicals that have been produced from petrochemicals.

This study is a survey of the chemicals used in wastewater treatment plants as well as an estimation of the fossil carbon in the influent are performed to generate an estimation of the fossil carbon content. The wastewater treatment plants are located in Malmö (Klagshamns and Sjölunda wastewater treatment plant), Stockholm (Henriksdals och Bromma wastewater treatment plant) and Göteborg (Ryaverket). At first background to the problem is discussed followed by the treatment processes in wastewater treatment plants and ends with a calculation of the total fossil carbon content. The result of the study shows that the assessment made by IPCC is wrong. The influent wastewater is estimated to contain fossil carbon and fossil carbon is added from the treatment chemicals.

Sammanfattning

Utsläpp av växthusgaser är ett problem för miljön. Förbränning av fossila bränslen är en tydlig källa till problemet men det finns även mindre synliga och uppmärksammade källor till ökad halt av växthusgaser i atmosfären. IPCC bedömer att avloppsvatten endast innehåller modernt kol som inte bidrar till fossila koldioxidutsläpp. Detta är dock en missvisande bedömning då tidigare studier av visar att inkommande avloppsvatten innehåller fossilt kol. Halten av fossilt kol i inkommande avloppsvatten varierar enligt de studierna mellan 4–28% av det totala organiska kolet. Det fossila kolet kommer i reningsprocessen omvandlas till fossila koldioxidutsläpp. Källor till fossilt kol i avloppsreningsverk är läkemedel, rengöringsmedel och avfall från industrin. Fossilt kol tillsätts även i reningsprocessen i form av olika kemikalier som tillverkats av petroleumbaserade produkter.

Denna studie är en kartläggning av kemikalierna som används för rening och estimering av det fossila kolet i inflödet för att resultera i ett estimerat värde av fossilt kol i avloppsreningsverk. Reningsverken som undersöks ligger i Malmö (Klagshamns och Sjölunda avloppsreningsverk), Stockholm (Henriksdals och Bromma reningsverk) samt Göteborg (Ryaverket). Först ges en överblick av bakgrunden till problemet vilket följs utav reningsprocesserna i reningsverk och slutligen en beräkning av det totala fossila kolinnehållet. Resultaten av studien visar att IPCC's antagande är felaktigt. Inkommande avloppsvatten har estimerat fossilt kol och fossilt kol tillsätts även ifrån kemikalierna som används i reningsprocessen.

Ordlista

BOD₇ – Biological oxygen demand. Mått på hur mycket syre som förbrukas av mikroorganismer för att bryta ner löst organiska material under sju dygn.

TOC – Total organic carbon

pe – Personekvivalenter. Mått på hur stor belastning en person beräknas bidra med till ett reningsverk per dygn. 1 pe=70g BOD₇ per dygn

AMS – Accelererande masspektrometri

ARV – Avloppsreningsverk

RV - Reningsverk

GHG – Greenhousegases, växthusgaser

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.2 Syfte	1
1.3 Bakgrund	1
1.3.1 Växthusgaser (GHG)	1
1.3.2 Kol i ARV och RV	2
1.3.3 Accelererande masspektrometri (AMS)	3
1.3.4 Reningsprocessen i ARV och RV	4
1.3.4.1 Mekanisk rening	4
1.3.4.2 Biologisk rening	4
1.3.4.3 Nitrifikation	5
1.3.4.4 Denitrifikation	5
1.3.4.5 Anammox	5
1.3.4.6 Fosforfällning	6
1.3.5 Presentation av tidigare studier	6
2. Metod	7
2.1 Platsbeskrivning av ARV och RV	7
2.1.1 Bromma RV	7
2.1.2. Henriksdal RV	7
2.1.3 Ryaverket	7
2.1.4 Sjölunda ARV	11
2.1.5 Klagshamn ARV	12
2.2 Litteraturstudie	15
2.3 Sammanställning av miljörapporter med avseende på belastning och kemikalieanvändning. . .	15
2.4 Estimering av fossilt kol	15
2.4.1 Inflöde av avloppsvatten	15

2.4.2 Tillsatser av kemikalier	16
3. Resultat	18
3.1 Kemikalier som använts i reningsprocesserna	18
3.2 Estimerat C_{fossilt} i inkommande avloppsvatten	22
3.3 Totala mängden C_{fossilt} i avloppsreningsverk	26
4. Diskussion	27
4.1 Kemikalier som använts i reningsprocessen	27
4.2 Estimering av C_{fossilt}	27
4.3 Totala mängden C_{fossilt} i avloppsreningsverk.	28
4.4 Avgränsningar	28
5. Slutsatser	29
6. Tack till	30
7. Referenser	31

1. Introduktion

Förhöjda halter av växthusgaser i atmosfären leder till ökade temperaturer. Gaser såsom koldioxid, metan, kväveoxider, halogenerade kolföreningar, ozon, vattenånga och aerosoler bidrar till växthuseffekten genom att de absorberar värme i atmosfären i stället för att värmestrålningen återvänder ut till rymden. (Forster m.fl., 2007). CO₂ släpps hela tiden ut genom bland annat mänsklig andning och vid förbränning av organiskt material. Vid förbränning omvandlas kolet som finns i det organiska materialet till CO₂. Genom fotosyntesen tas CO₂ upp av växter. Då organiskt material lagrats i jorden under lång tid klassas det som fossilt kol. Det fossila kolet bildar vid förbränning CO₂ som inte är en del av det kortsiktiga kretsloppet. Resultatet av det leder till en ökad halt av CO₂ i atmosfären vilket i sin tur leder till förhöjda temperaturer. Det finns inte växtlighet nog att ta upp CO₂ i för höga halter vilket leder till att det ackumuleras i atmosfären. (Schneider m.fl., 2014)

Gaser som släpps ut från avloppsreningsverk är N₂O, CH₄ och CO₂ (Xi m.fl., 2021). Då avloppsverk enligt IPCC antas endast innehålla organiskt kol från så kallade moderna kolkällor skulle det leda till låg klimatpåverkan med avseende på CO₂ (IPCC, 2019). Studier av bland annat av Law m.fl. (2013) och Tseng m.fl. (2016) har däremot visat att avloppsvatten innehåller fossilt kol. Då det fossila kolet undergår respiration av bakterier omvandlas det till CO₂ (aerob respiration) och CH₄ (anaerob respiration). Båda är växthusgaser och leder till ökad växthuseffekt. Källor till det fossila kolet i avloppsvatten är bland annat rengöringsmedel, tvål och avfall från industrin (Bao m.fl., 2015). Under reningsprocessen tillsätts kemikalier som ofta innehåller fossilt kol. Förenklingen som gjorts av IPCC leder alltså till missade, borträknade utsläpp av CO₂. Tseng m.fl. (2016) mätte en halt av fossilt kol i inkommande avloppsvatten till 2–28% av TOC (total organic carbon). Law m.fl. (2013) uppmätte en fossil kolhalt på 4–14% av TOC i inkommande avloppsvatten.

1.2 Syfte och frågeställningar

Med denna rapport ämnas att:

- Kvantifiera mängden C_{fossilt} från tillsatta kemikalier för rening.
- Belysa att det finns C_{fossilt} i inkommande avloppsvatten baserat på tidigare studier.

Syftet resulterar i frågeställningarna:

- Finns det C_{fossilt} i kemikalierna som tillsätts för rening av avloppsvatten?
- Hur mycket C_{fossilt} estimeras finnas i inflödande avloppsvatten baserat på tidigare studier?

1.3 Bakgrund

1.3.1 Växthusgaser

Partiklar och molekyler absorberar och strålar tillbaka värme i olika stor utsträckning. Växthusgaser (GHG) innefattar gaser som absorberar värme i form av strålning från solen. Detta innebär att värme stannar i atmosfären och resulterar i att jorden värms upp vilket leder till förändrat klimat. Aktiviteter som leder till ökad halt av växthusgaser är till stor del förbränning av fossila bränslen men även jord- och lantbruk kan kopplas till de förhöjda halterna i atmosfären. Sedan industrialiseringen runt mitten av 1700-talet har halterna av växthusgaser ackumulerats i atmosfären vilket har bidragit till de förhöjda värdena och därmed uppvärmningen vi ser idag. (Forster m.fl., 2007)

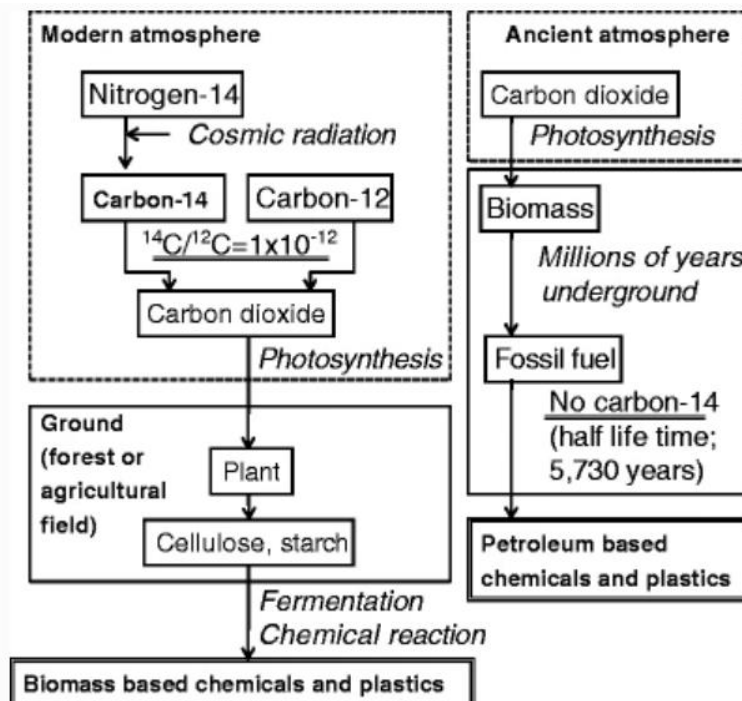
Avloppsreningsverk (ARV) släpper ut växthusgaser i form av N₂O, CH₄ och CO₂ vilka alla påverkar uppvärmningen av jorden. Utsläppen från ARV sker delvis direkt som en konsekvens av nedbrytning av organiskt material i både aerob och anaeroba förhållanden samt vid kvävereducering. Den andra

delen av växthusgasutsläppen tillkommer i form av de kemikalier som sätts till under reningsprocessen. (Xi m.fl., 2021)

1.3.2 Kol i avloppsreningsverk

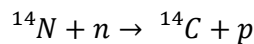
Avloppsvattnen som äntrar reningsverk innehåller kol i olika sammansättningar och från olika källor. Genom oxidation av organiskt material i reningsverk bildas CO₂ vilket avges till atmosfären. Då processen kräver syre sker detta främst i de aeroba delarna av reningsverket. (Schneider m.fl., 2014) CH₄ finns löst i inkommande avloppsvatten men det bildas även i reningsverkets anaeroba delar. CH₄ absorberar mer värme än CO₂ men den har en kortare livslängd i atmosfären vilket resulterar i en stor kortsiktig effekt. CO₂ har en mer långsiktig effekt vilket leder till ökad tid som värme kan absorberas till atmosfären. (Daelman m.fl., 2012) Modernt kol i avloppsvatten kommer bland annat från mat och livsmedelsprodukter. Med modernt kol menas föreningar där fördelningen mellan isotoperna ¹⁴C och ¹²C motsvarar halten som finns i atmosfären nu. Fördelningen mellan de stabila kolisotoperna ¹²C (ca 99%), ¹³C (ca 1%) och den radioaktiva kolisotopen ¹⁴C (<<1%) är konstant i atmosfären vilket resulterar i att koldioxid som tas upp av växter i fotosyntesen motsvarar den halten (Kunioka, 2010; Rohlén, 2012). ¹⁴C finns i mycket låg koncentration i atmosfären. För varje ¹⁴C finns det ca 10¹² ¹²C. (Rohlén, 2012)

Fördelningen mellan olika kolisotoper kan användas för att datera organiskt material. ¹⁴C bildas i övre delen av atmosfären utav kväve, ¹⁴N. Då ¹⁴N bombarderas med neutroner från den kosmiska instrålningen bildas ¹⁴C (se ekvation 1). ¹⁴C är en radioaktiv kolisotop vilket innebär att den sönderfaller spontant och har en halveringstid på 5730 år (Kunioka, 2010). Organiskt material som lever tar konstant upp CO₂ av isotophalten som motsvarar den i atmosfären vilket upphör då organismen dör. Döda organismer och organiskt material som fått brytas ner har mindre halt av ¹⁴C vilket kan användas för att datera organiskt material. Processen för sönderfallet av ¹⁴C illustreras av ekvation 2. Bildandet av kolisotoper i atmosfären samt Genom att mäta halten av ¹⁴C fördelningen mellan dessa kolisotoper kan man räkna ut ett organiskt föremåls ålder. (Wood, 2015)

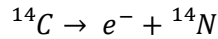


Figur 1 Schematisk bild över kolisotopers bildande samt fördelning i atmosfären och biomassa. Omtryckt från Springer Nature Applied Microbiology and Biotechnology. Kunioka, M. Possible incorporation of petroleum-based carbons in biochemicals produced by biomass. Copyright (2022) med tillstånd från Springer Nature and Copyright Clearance center.

Ekvation 1 Bildandet av ^{14}C i atmosfären. Neutron betecknas n , proton betecknas p . (Rohlén, 2012)



Ekvation 2 Sönderfall av ^{14}C . Elektron betecknas e^- . (Alves m.fl., 2018)



1.3.3 Accelererande masspektrometri

För att mäta andelen fossilt kol i avloppsvatten genomförs en accelererande masspektrometri, AMS. Metoden är en typ av masspektrometer vilket utnyttjar en atoms massa för att kunna identifiera vilket eller vilka ämnen provet består utav. Genom att omvandla atomen till negativa joner och låta dem passera genom en positivt laddad katod kan isotoper av ett ämne detekteras. AMS har till skillnad från masspektrometri en större noggrannhet vilket leder till att mer ovanliga isotoper såsom ^{14}C och ^{12}C kan detekteras vilket resulterar i att ett ämne kan dateras. Ämnen som är upp till 60 000 år kan åldersbestämmas genom AMS. (Rohlén, 2012)

1.3.4 Reningsprocessen i avloppsreningsverk

1.3.4.1 Förklaring av TOC, $p_{e_{\text{total}}}$, $p_{e_{\text{industri}}}$ samt BOD_7

Belastningen av avloppsreningsverk beräknas i TOC (total organic carbon), vilket är ett mått på hur mycket organiskt kol som finns i inflödande avloppsvatten. TOC mäts i denna studie i ton. Personekvivalenter (pe) är ett mått på hur mycket en person bidrar med i avloppsvattnet. En personekvivalent motsvarar 70 g/ BOD_7 per dygn. BOD_7 är ett mått på hur mycket syre som förbrukas av biologisk aktivitet under sju dygn. En särskiljning görs på $p_{e_{\text{total}}}$ och $p_{e_{\text{industri}}}$ då avloppsvatten från industrier tenderar att innehålla mer $\text{C}_{\text{fossilt}}$ än avloppsvatten från hushåll (law m.fl. 2013)

1.3.4.2 Mekanisk rening

Första steget i avloppsvattensrening är mekanisk rening. Inkommande avloppsvatten innehåller större föremål som behöver separeras från avloppsvattnet för att rening ska kunna genomföras. Galler fångar upp större saker såsom papper och plastförpackningar etcetera. Detta följs av sandfång för att samla upp större material som lyckats komma igenom gallerna från första filtreringen. En ytterligare filtrering genomförs för att fånga upp mindre föremål som lyckats undkomma tidigare steg. Vattnet leds sedan vidare till försedimentering som låter partiklar som väger mer än vatten sedimentera och bilda slam. Fett som finns i vattnet väger mindre än vatten och lägger sig på ytan. Fettet och slammet förs bort och vattnet går vidare i processen. (VA SYD, 2021; VA SYD, 2021; Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021; Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021; Gryaab AB, 2021)

1.3.4.3 Biologisk rening

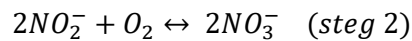
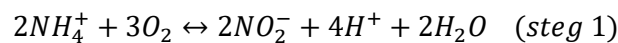
Avloppsvatten innehåller höga halter av biologiskt material och kväveföreningar vilket kan orsaka syrefria bottenar om det släpps ut direkt till vattendrag. För att rena vattnet från kväveföreningar används aktivt slam kombinerat med tillsats av kolföreningar som ett reningssteg i processen. Mikroorganismer som finns i slammet omvandlar organiska föreningar till H_2O och CO_2 . (Modin m.fl., 2016) Nedbrytning av organiska föroreningar sker samtidigt som ammonium (NH_4^+) omvandlas till nitrat (NO_3^-) för att sedan omvandlas till kvävgas (N_2). Nitrifikation och denitrifikation är de två processer som med hjälp av olika bakterier renar avloppsvattnet från kväve samtidigt som organiskt material bryts ner i denitrifikationen. (Kampschreur m.fl., 2009)

1.3.4.4 Nitrifikation

Nitrifikation är den delen av kvävereningsprocessen som omvandlar NH_4^+ till NO_3^- . Omvandlingen av NH_4^+ kräver syrgas (O_2) och därför sker nitrifikationen i syresatta miljöer i aktivslamprocessen (Gryaab AB, 2021). Bakterier genomför processen i två steg genom att först ta upp NH_4^+ och O_2 och bilda kväveoxid (NO_2^-).

Första steget i nitrifikation omvandlar NH_4^+ till kvävedioxid (NO_2^-). Det andra steget i processen är att bilda NO_3^- genom tillförsel av O_2 . Ekvation 3 visar nitrifikationsprocessen. Steg 1 genomförs i reningsverk till största del av ammoniumoxiderande bakterier (AOB) men ammoniumoxiderande arkéer (AOA) kan också förekomma. Steg 2 utförs av nitratoxiderande bakterier (NOB). (Kampschreur m.fl., 2009)

Ekvation 3 Nitrifikation Modifierad ekvation från Manahan (2017).

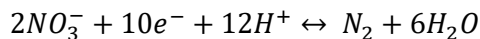


1.3.4.5 Denitrifikation

Denitrifikation är processen som omvandlar NO_3^- till N_2 vilket är en gas som inte bidrar till växthuseffekten och därmed är säker att släppa ut. NO_3^- omvandlas genom denitrifierande bakterier till N_2 som sedan avges till atmosfären. Genom att blanda vattnet från biobäddar som innehåller nitrat med slam från försedimenteringen, som innehåller denitrifierande bakterier, kan nitrat omvandlas till kvävgas. Biobäddar är bassänger fyllda med svarta plastföremål där nitrifierande bakterier som omvandlar ammoniumkväve i vattnet till nitrat, kan växa till sig och bilda en biofilm. Vattnet som genomgått nitrifikation leds till aktivslambassängerna där denitrifierare omvandlar nitrat till ofarlig kvävgas i syrefri miljö. (Wang & Chu, 2016) Denitrifikationsprocessen visas i ekvation 4.

Denitrifierare använder organiska kolföreningar som energikälla till skillnad från nitrifierare som använder sig av syre. Slam från sedimenteringsbassängerna kan användas för att minska användningen av tillsatta kolkällor. Om det skulle finnas för lite kol i avloppsvattnet kan slam ifrån försedimenteringen recirkuleras då det innehåller kolföreningar. Om det inte skulle vara tillräckligt kan här tillsättas en extern kolkälla i form av metanol, etanol, ättiksyra eller glukos. (Wang & Chu, 2016)

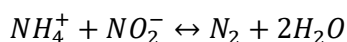
Ekvation 4 Denitrifikation. Modifierad ekvation från Manahan (2017). Som elektronondonator ($10e^-$) används kolkälla.



1.3.4.6 Anammox

Anammox (**anaerobisk ammoniumoxidation**) är en metod som används för att rena avloppsvatten från kväve med hjälp av bakterier men som varken behöver syresättning eller kolkälla. Till skillnad från kopplad kväverening (denitrifikation+nitrifikation) sker omvandlingen från ammonium direkt till kvävgas (ekvation 5). Nackdelen med anammox är att bakterierna som utför processen växer med en lägre hastighet än nitrifierande och denitrifierande bakterier. De kräver även en högre temperatur på ca 35 °C. (Kartal m.fl., 2010)

Ekvation 5 Anammox (Kartal m.fl., 2010)



1.3.4.7 Fosforfällning

Avloppsvatten innehåller höga halter av fosfor vilket kan leda till övergödning och syrefattiga bottenar om det släpps ut i vattendrag. För att rena avloppsvatten från fosfor sätts metallsalter ofta innehållande järn (järnsulfat, järnklorid) till processen för fosforfällning. (de-Bashan & Bashan, 2004) Dessa kemikalier innehåller i regel inte kol och är därför inte relevanta för denna studie.

1.3.5 Presentation av tidigare studier

Studier avseende kvantifiering av fossilt kol genomfördes av Law m.fl. (2013) på fyra avloppsreningsverk i Brisbane, Australien. Reningsverken hade alla en aktivslamreningsprocess likt reningsverken som presenteras i denna studie. Genom att omvandla kolet i vätskeproverna till grafit för att sedan genomföra AMS kunde kolet i reningsverket dateras. Resultatet visade att reningsverken hade ett fossil kolinnehåll i inkommande avloppsvatten som motsvarade 4–14 % av TOC per dygn. Två av reningsverken hade ett fossilt kolinnehåll i inflödet på 8–14% på grund utav industribelastning. De resterande två uppmätte en halt på 4–7%. Skillnaderna antogs bero på att de två med högst fossilt kolinnehåll hade en högre industribelastning än de två med mindre. (Law m.fl., 2013)

Tseng m.fl. (2016) utförde en liknande studie på avloppsreningsverk som mottog avloppsvatten från hushåll och industrier i södra Kalifornien, avfallsstabiliserande dammar i Australien samt avloppsreningsverk från pappersindustrin i Kanada. Resultaten visade en halt på fossilt kol mellan ca 2–28% av det totala TOC i inflödet på verken de mätte. Även här kan skillnader i industribelastning ses som en faktor till de olika resultaten som ett reningsverk uppmätte. (Tseng m.fl., 2016)

Law m.fl. (2013) tog vattenprover med ett intervall på 20 minuter. Proverna kylades därefter direkt under ett dygn för att sedan surgöras med HCl till pH 2.5. Detta för att stoppa mikrobiell aktivitet och för att fälla ut karbonater. Tseng m.fl. (2016) surgjorde även de proverna av samma orsak. För att kunna detektera och kvantifiera andelen fossilt kol frystorkades proverna och omvandlades sedan till grafit. AMS användes i båda fallen för att datera kolinnehållet.

Fossilt kol identifierades i inkommande avloppsvatten och i aktivslamprocessen omvandlas det till CO₂. Detta betyder att fossilt kol i avloppsreningsverk omvandlas till CO₂ och även till CH₄ för att sedan avges till atmosfären. (Law m.fl. 2013) Det fossila kolet kan alternativt ackumuleras i slammet i reningsverken vilket Law m.fl. (2013) och Tseng m.fl. (2016) visar på.

2. Metod

2.1 Platsbeskrivning av ARV och RV

2.1.1 Bromma RV

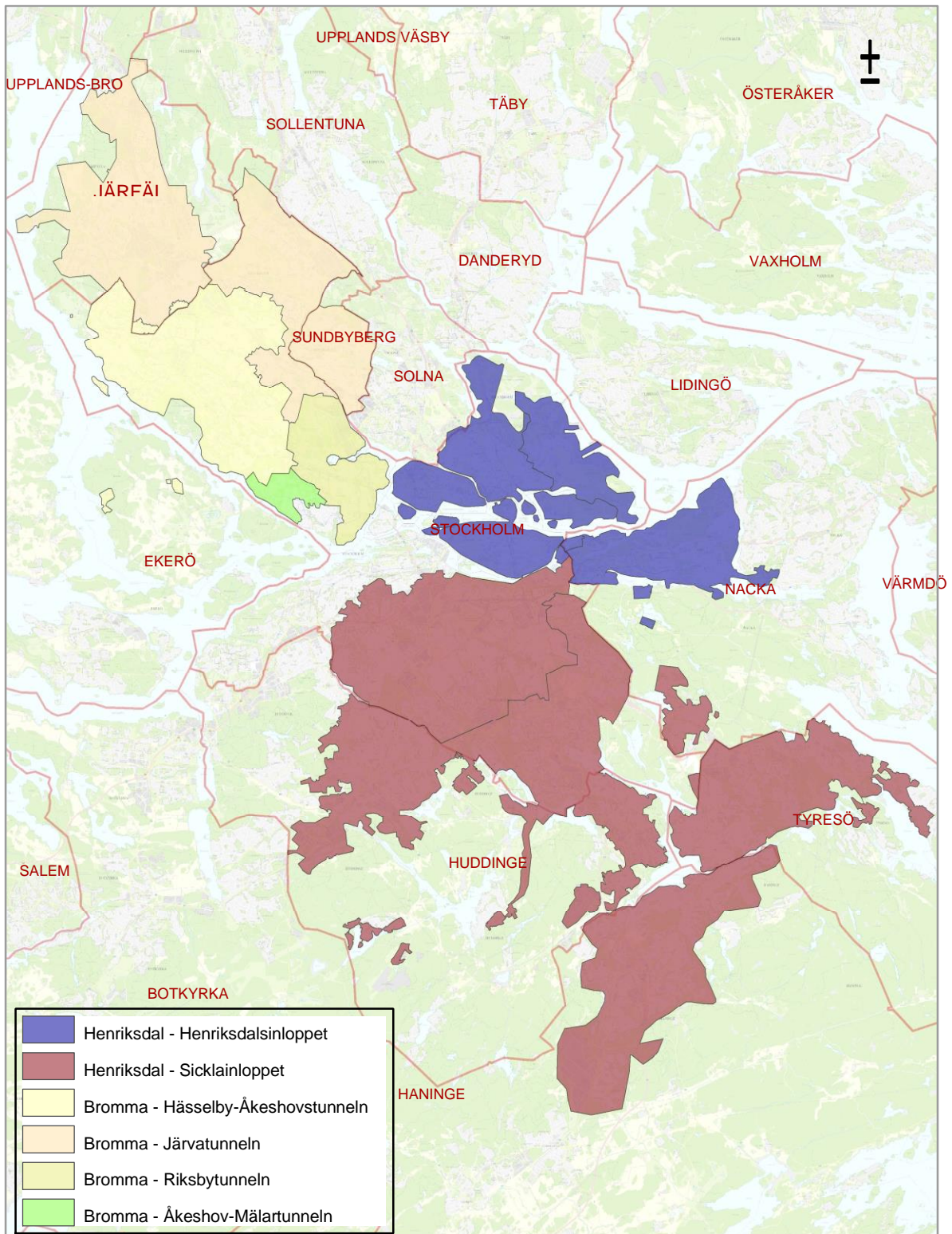
Reningsverket är beläget i stadsdelen Åkeshov i Stockholm. Upptagningsområdet för Bromma och Henriksdal visas i figur 2. Medelbelastningen för verket ligger på 282 000 pe varav 6 500 pe utgörs av industribelastning. Det totala årsflödet för Bromma reningsverk var under 2020 468 480 000 m³. Verkets reningsprocess visas i figur 3. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)

2.1.2 Henriksdal RV

Henriksdals RV är beläget i stadsdelen Henriksdal strax väster om Stockholm. Upptagningsområdet innefattar Stockholm innerstad, södra förortsområdena utom de förorter som ligger kring Årstaviken och Mälaren. Upptagsvattnet innefattar såväl privathushåll som industrier. Det är det största avloppsreningsverket i Stockholmsområdet med en belastning på 861 000 pe varav 65 000 pe motsvarar belastning från industrier. Inkommande flöde var under 2020 totalt 999 180 000 m³. Reningsprocessen för Henriksdal illustreras i figur 4. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)

2.1.3 Ryaverket

Ryaverket är beläget på Hisingen i Göteborg och har en belastning på 678 363 pe varav ca 50 000 pe kommer från industrin. De har ett totalt årsflöde på 135 212 568 m³ och recipient är Göta älv samt Nodre älvs estuariet. Reningsprocessen i Ryaverket illustreras av figur 5. Upptagningsområdet innefattar kommunerna Göteborg, Kungälv, Ale, Partille, Härryda, Lerum och Mölndal (Gryaab AB, 2021)

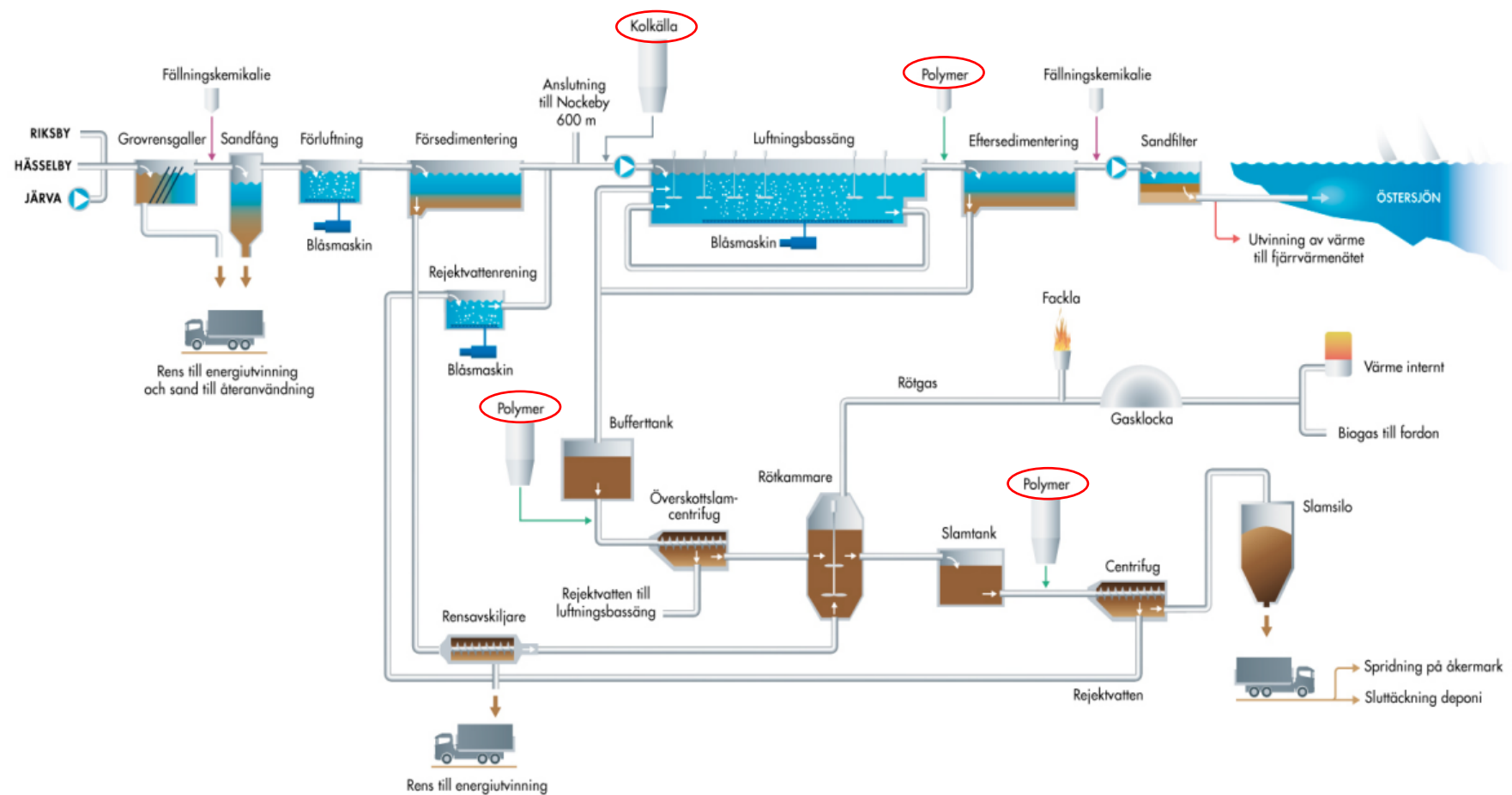


Antal boende för Stockholm och Huddinge är baserat på hur många som är folkbokförda på de adresser som ligger inom respektive tunnels upptagningsområde. För övriga kommuner är antalet boende baserade på de siffror respektive kommun har rapporterat till Stockholm Vatten och Avfall för miljörapporten 2019. Siffrorna är avrundade till närmaste 100-tal.

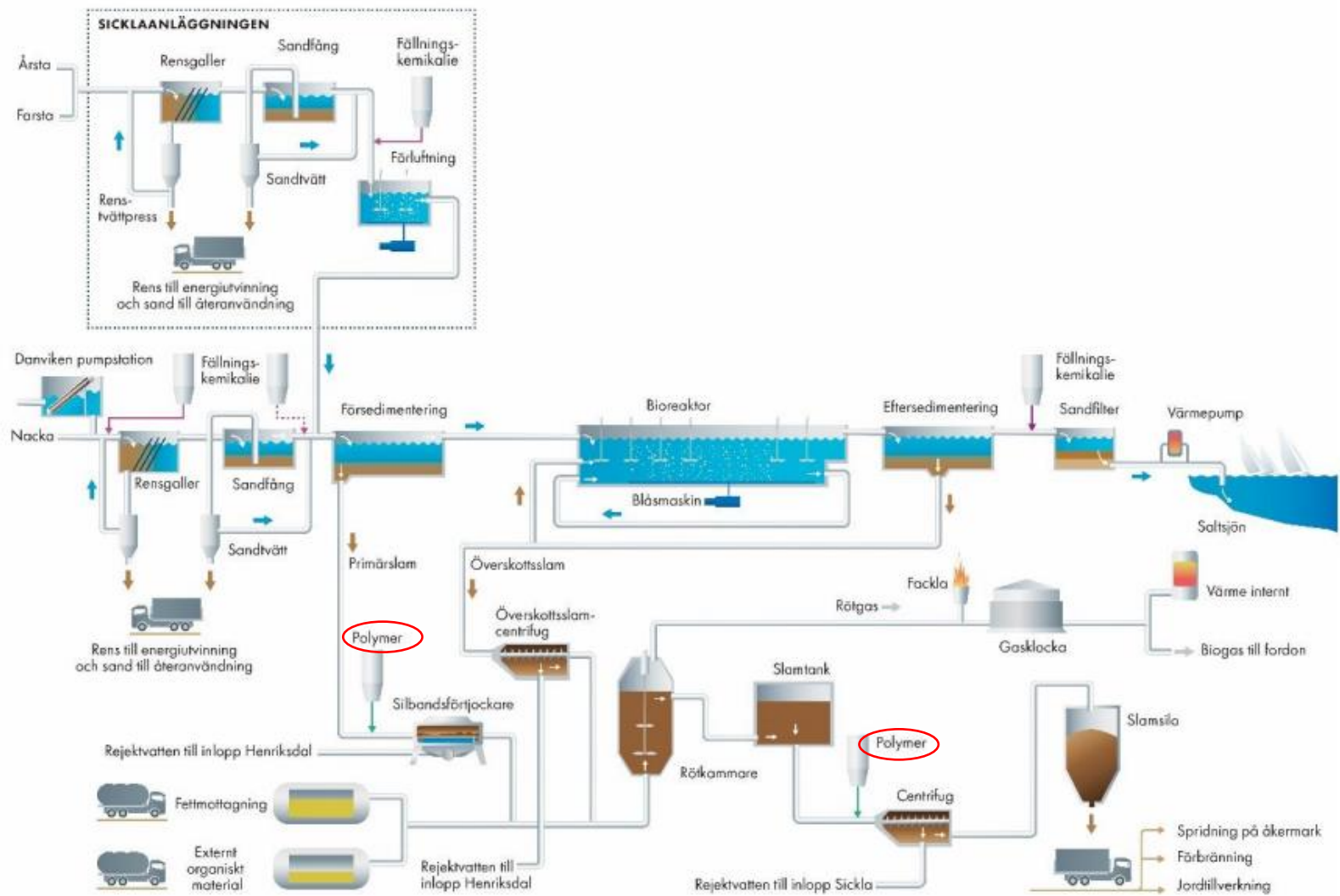
1:125 000

0 1 200 2 400 4 800 m

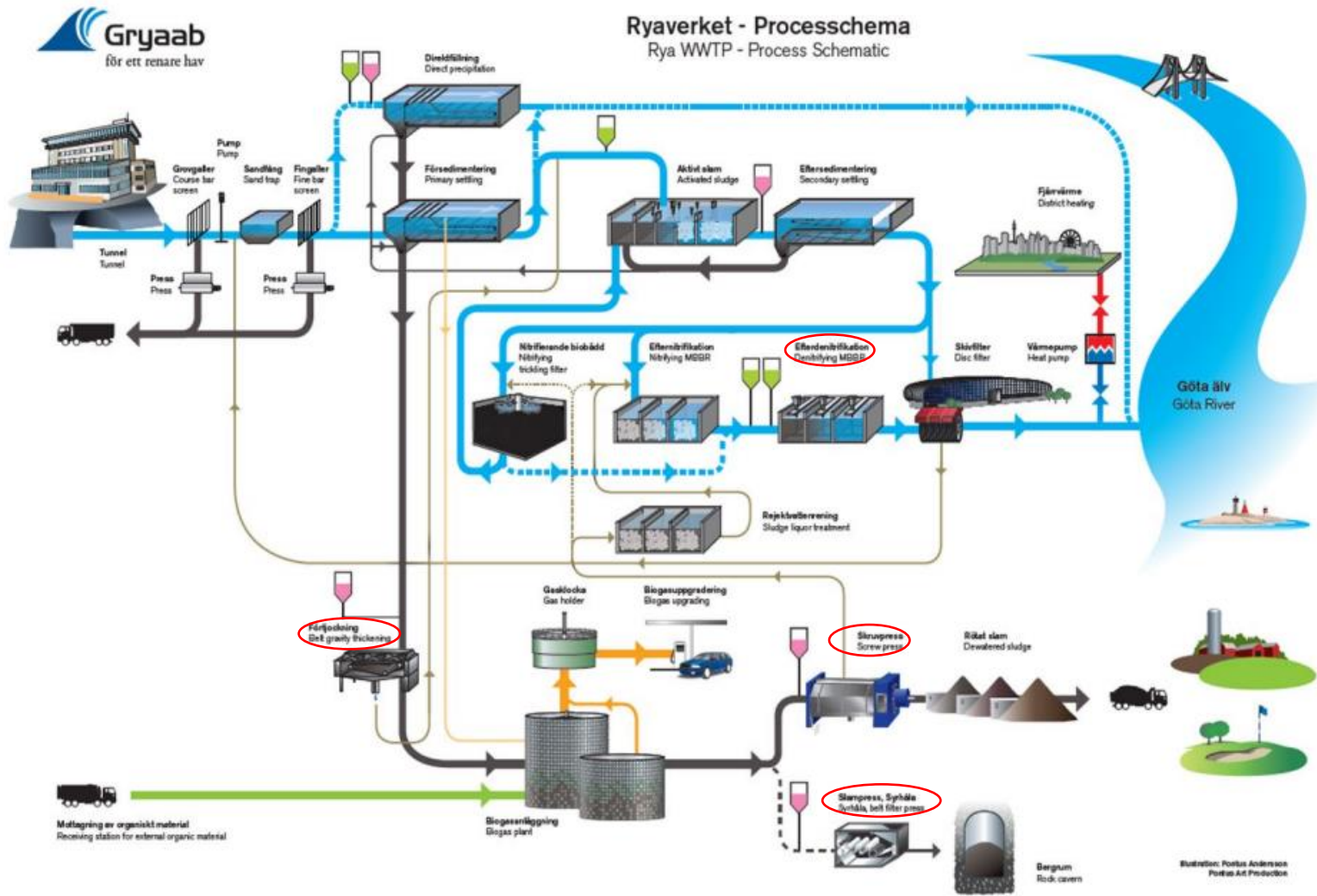
Figur 2 Upptagningsområde för Bromma RV och Henriksdal RV. Kartan är från 2019 och har fått av Hanna Gottås, Stockholm Vatten och Avfall AB (personlig kommunikation, 2022, 27 april).



Figur 3 Reningsprocess Bromma reningsverk. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)



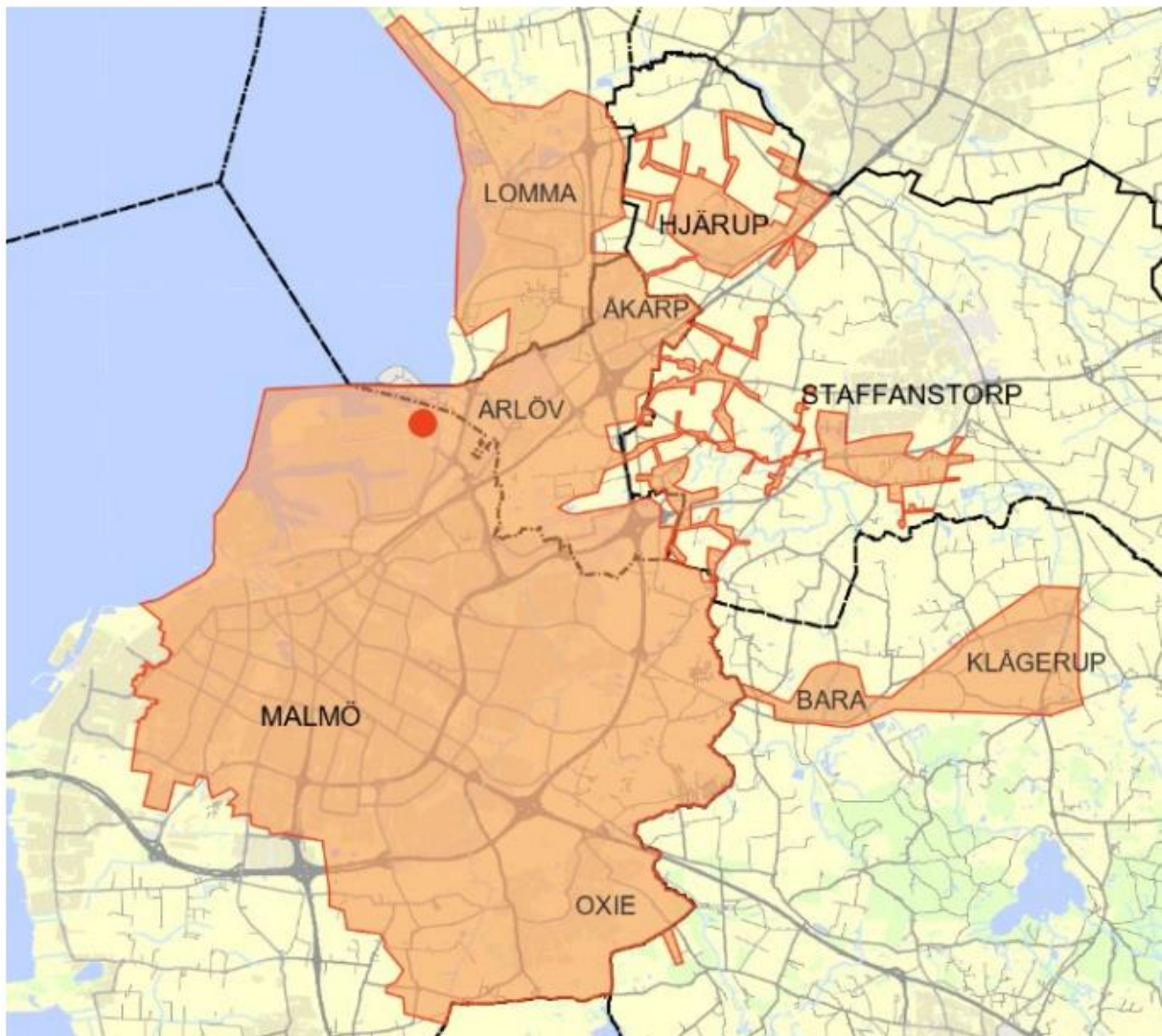
Figur 4 Reningsprocess Henriksdals RV. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)



Figur 5 Reningsprocess Ryaverket. (Gryaab AB, 2021)

2.1.4 Sjölunda ARV

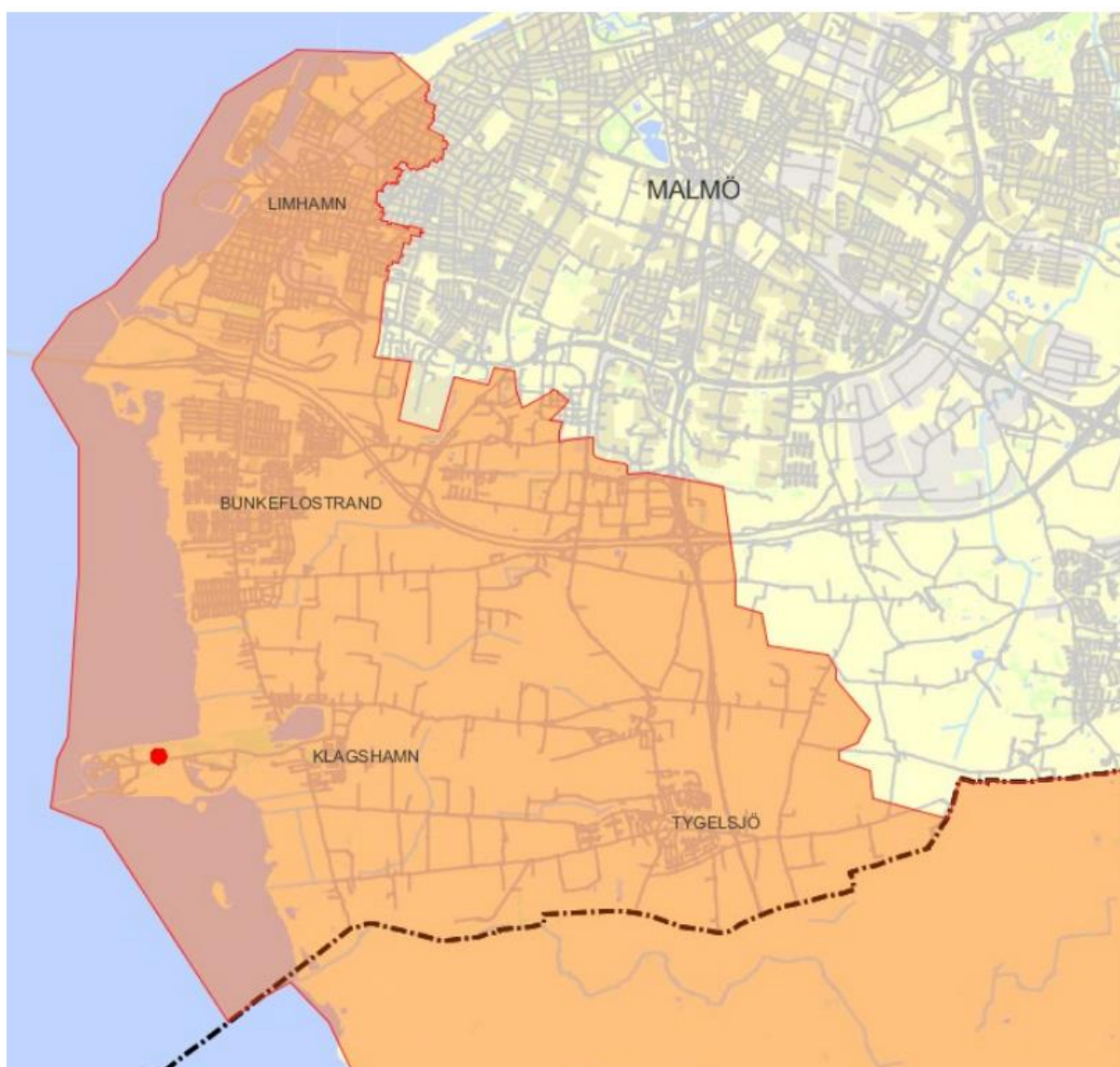
Sjölunda ARV ligger i Malmös oljehamn och mottar fem av Malmös sju upptagningsområden samt vatten Arlöv, Lomma, Åkarp, Hjärup, Staffanstorps, Bara, Oxie samt Klågerup, delar av Lomma Staffanstorps och Svedala kommun (figur 6). Tillsammans utgör upptagningsområdet en area på ca 6694 ha och recipienten är Öresund. Belastningen för verket är 406 600 pe varav industribelastningen enligt Cecilia Sjöo på VA SYD utgör ca 55 700 pe (personlig kommunikation, 2022, 22 april). Volymen av inkommande avloppsvatten var under 2020 387 594 000 m³. Reningsprocessen från inkommande vatten till recipient för Sjölunda ARV illustreras av figur 8. Det inringade i figuren visar tillsats av kemikalier innehållande C_{fossilt}. (VA SYD, 2021)



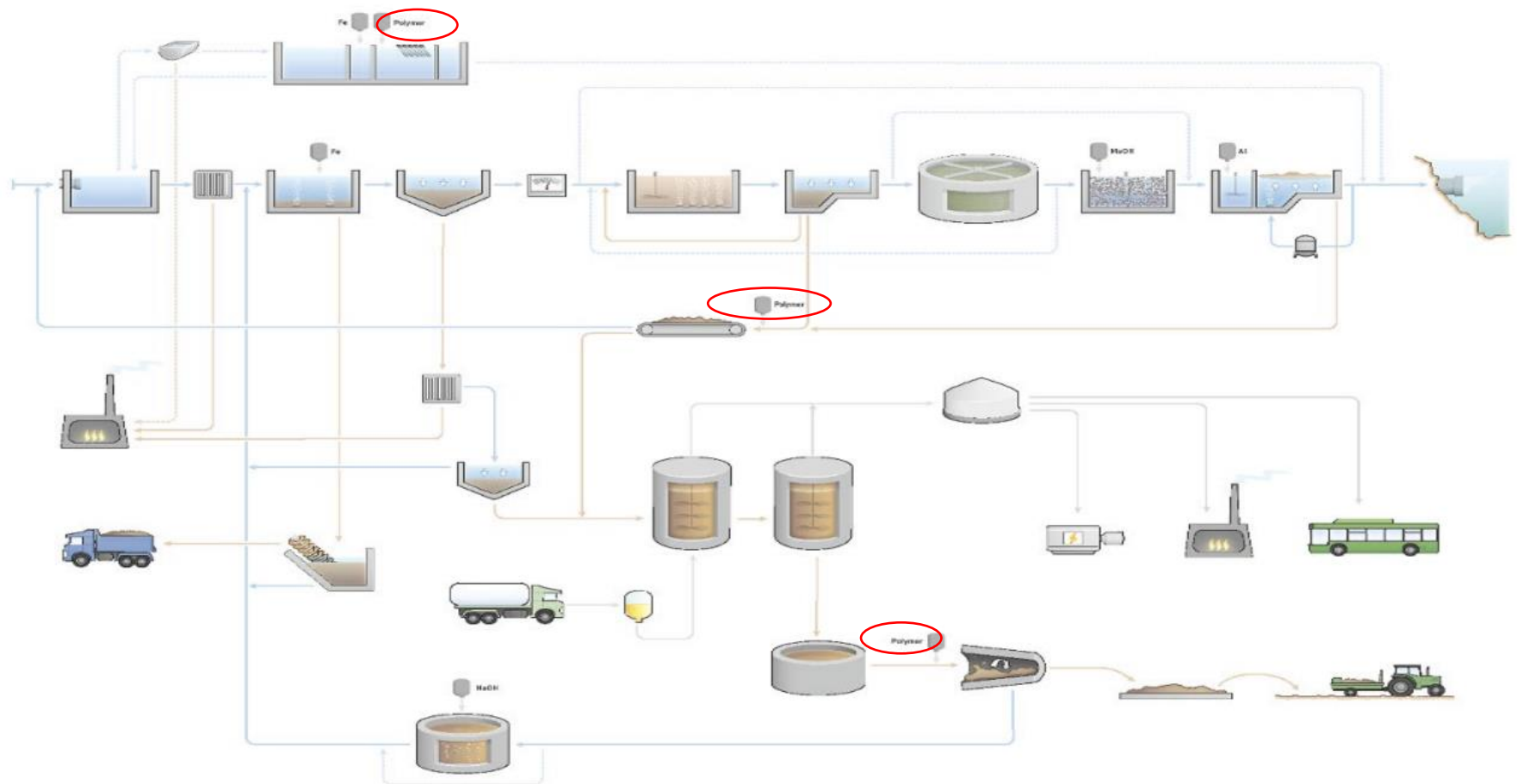
Figur 6 Upptagningsområde Sjölunda ARV. (VASVD, 2021)

2.1.5 Klagshamn ARV

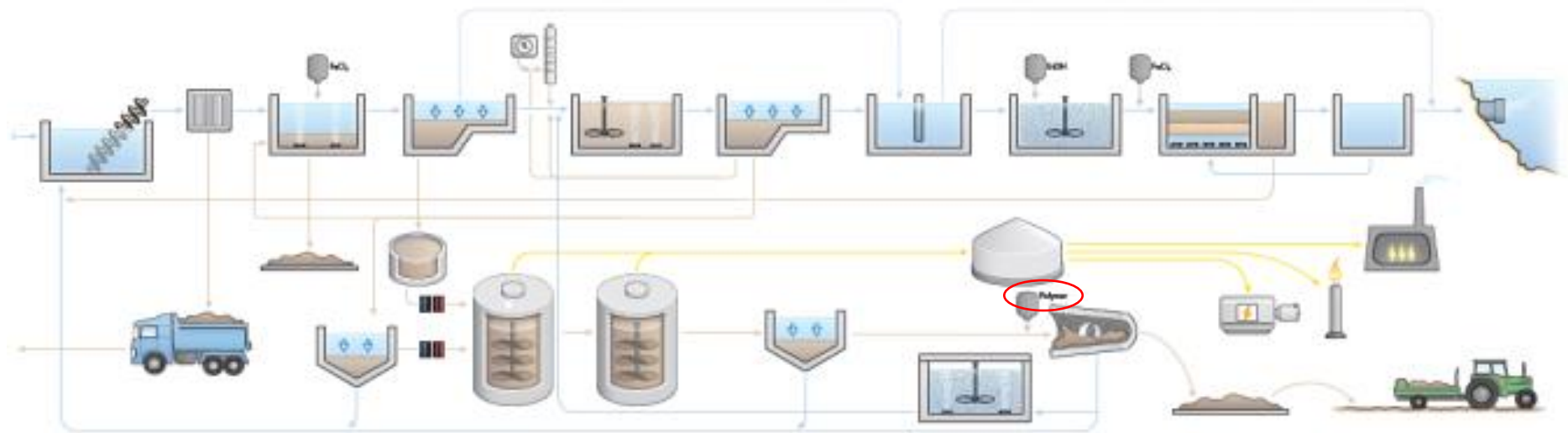
I Malmös sydvästra del ligger Klagshamns ARV intill dess recipient Öresund. Upptagningsområdet består av ca 1200 ha och inkluderar Limhamn, Klagshamn, Bunkeflostrand, Tygelsjö, Västra Klagstorp, Svågertorp, Skumarp, Klagshamns ytterområden samt Vellinge kommun (figur 7). Inflödet består både av avloppsvatten från industrier samt bostadsområden och har en inkommande belastning varje år på 55 493 pe varav 14 300 pe motsvarar industribelastning. Inkommande avloppsvatten mätte 2020 en volym av 8 421 198 m³. Reningsprocessen för Klagshamns ARV illustreras i figur 9. Det inringade i figuren visar tillsats av kemikalie innehållande C_{fossilt}. (VA SYD, 2021)



Figur 7 Upptagningsområde Klagshamn ARV. (VASYD, 2021)



Figur 8 Reningsprocess Sjölanda ARV. (VASYD, 2021)



Figur 9 Reningsprocess Klagshamn ARV. (VASYD, 2021)

2.2 Litteraturstudie

Information samlades in med hjälp av sökorden: wastewater, radiocarbon, carbon footprint, fossil carbon. Tidigare studier av Tseng m.fl. (2016) och Law m.fl. (2013) användes för att förstå bakgrunden till problemet samt vilka metoder de använt för att kvantifiera halten av fossilt kol i avloppsreningsverk. Artiklarna som lästes gav information kring begreppen accelererande masspektrometri och halveringstid. Dessa ansågs viktiga att undersöka djupare för ökad förståelse kring problemet samt för att få inblick i forskningsområdet idag. De tidigare studierna inom området användes även till grund för att förstå processer i mätningarna och kvantifieringar vilket applicerades i denna studie för att estimerade det fossila kolinnehållet i reningsverken i denna studie.

2.3 Sammanställning av miljörapporter med avseende på belastning och kemikalieanvändning

Miljörapporter från reningsverken studerades med avseende på kemikalieanvändning, upptagningsområde, belastning $p_{e_{total}}$ och $p_{e_{industri}}$. Detta gjordes för att få en uppfattning om reningsverkens förutsättningar för rening och deras process. Alla kemikalier i reningsprocessen, tillverkare samt mängden som använts, lades in i en tabell vilket följdes av undersökning av dess innehåll. För att få fram information om kemikaliernas innehåll studerades säkerhetsdatabladerna för kemikalierna. De kemikalier som inte innehöll kol eller om kolet var av modernt ursprung markerades med rött och de som innehöll fossilt kol markerades med blå. Då information angående en kemikalies sammansättning saknades kontaktades ansvariga på avloppsreningsverken samt tillverkarna av kemikalien i fråga för mer information.

2.4 Estimering av fossilt kol

För att estimerade andelen fossilt kol i hela avloppsreningsprocessen undersöktes dels inflödet av avloppsvatten, dels tillsatsen av kemikalier i reningsprocessen. Beräkning för det totala estimerade innehållet av fossilt kol räknades ut genom att addera den estimerade halten i inflödet med tillsatsen av de relevanta kemikalierna vilket illustreras i ekvation 6. Då halten i inflödet från tidigare studier anges i ett intervall adderades det tillsatta kolet från kemikalierna dels på minimum och maximala värdet för att ge ett rättvisande resultat. Detta då mängden av adderade kemikalier är av känd mängd och halten i det inkommande avloppsvattnet anges i ett intervall. För att kunna jämföra de olika reningsverken med varandra lades alla resultat in i figur 21.

Ekvation 6 Beräkning av $C_{fossilt}$ i inkommande avloppsvatten.

$$TOC \cdot \% (C_{fossilt \text{ i inflödet}}) + m(\text{tillsatt } C_{fossilt \text{ från kemikalierna}}) = m(\text{estimerad halt } C_{fossilt})$$

2.4.1 Inflöde av avloppsvatten

För att estimerade halten av fossilt kol hos inflödet i avloppsreningsverken studerades tidigare forskning på fossila kolinnehållet i inflöden. Procentsatsen studierna kom fram till användes för att kvantifiera innehållet av fossilt kol i inflödet på samtliga reningsverk som studerades. Data med avseende på TOC hos inflödet på samtliga avloppsreningsverk användes för att kvantifiera halten av fossilt kol hos inkommande avloppsvatten. Då procentsatsen som tidigare studier kommit fram till anges i ett intervall anges även här halten i ett intervall.

2.4.2 Tillsatser av kemikalier

För att få information angående kol i en kemikalie kontaktades tillverkaren för ytterligare information. Detta för att sedan kunna skilja mellan de som innehöll modernt och fossilt kol samt för att få fram mängden kol i produkten. De kemikalier som kommer från moderna kolkällor till exempel etanol från biomassa, räknades inte med då det kolet är en del av det kortsiktiga kretsloppet och inte påverkar halten av koldioxid på samma sätt som fossila utsläpp gör. Det kol som kom från petroleumindustrin ansågs vara av fossilt ursprung och därmed viktiga för studien. Kemikalier används i avloppsvattenreningsprocessen för olika processer och dess fossila kolinnehåll kvantifierades genom att undersöka kolets ursprung samt halten. Kolhalten i kemikalierna multiplicerades med mängden som använts vilket framgick av miljörapporterna för samtliga reningsverk. I de fall där mängden angavs i volym istället för vikt omvandlades det genom att multiplicera volymen med densiteten hos kemikalien vilket framgick ur säkerhetsdatabladet (ekv. 7).

Ekvation 7 Omvandling av volym (V) till massa (m) med densitet (ρ).

$$m = V \cdot \rho$$

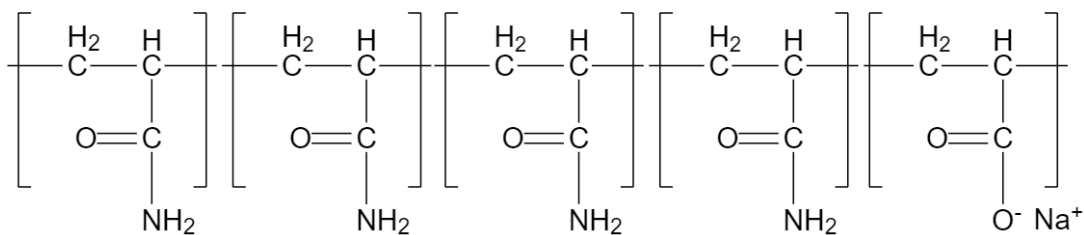
Vid Bromma RV och Ryaverket användes 2020 metanol från Helm Skandinavien A/S. Enligt M. Kristensen på Helm Skandinavien A/S har de idag möjlighet att tillverka ca 0,05% av sin metanol från biobaserade källor. Då det inte är möjligt att spåra upp exakt vilken metanol som användes i Bromma reningsverk och Ryaverket antas halten C_{fossilt} vara 0,99% vilket räknats ut på följande sätt:

$$\frac{\text{andel fossil metanol}}{\text{andel modern metanol}} \cdot (\text{personlig kommunikation, 2022, 28 april.})$$

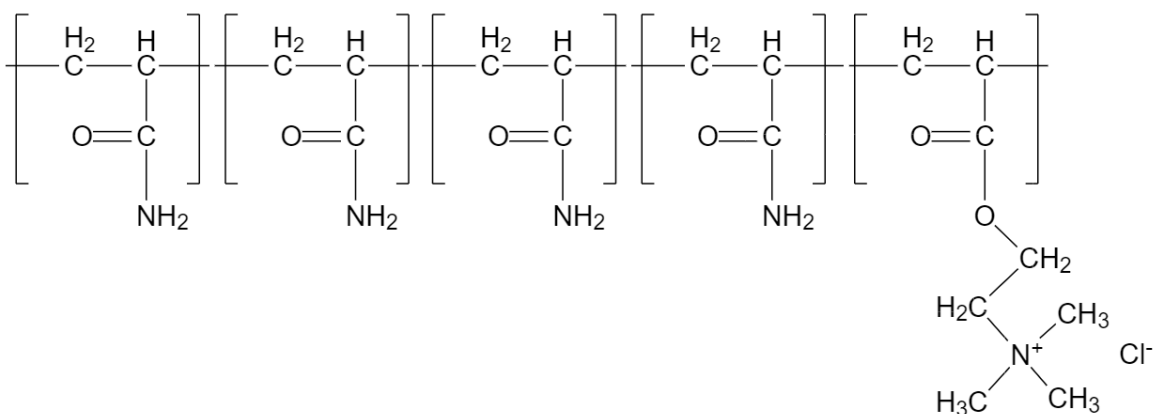
Kemikalier tillverkade av Kemira Oyj fanns inte data över kolhalt i de kemikalier som använts på reningsverken. Information angående de kemikalierna fick utav Bengt Hansen på Kemira Kemi AB, samma koncern som Kemira Oyj, (personlig kommunikation, 2022, 9 maj). För att få fram ett estimerat värde användes strukturformlerna för akrylamid, anjonisk akrylamid samt katjonisk akrylamid (Kemira Oyj, u.å.). Produkterna Superfloc C496, Superfloc A-1883, Superfloc A-120 samt KemFoam X2500 innehåller enligt Bengt Hansen på Kemira Kemi AB polyakrylamider samt an- och katjoniska enheter (tabell 1). Polyakrylamid är sammankopplade enheter av akrylamider vilka är organiska kolföreningar med en amidgrupp. Samtliga polyakrylamider i kemikalierna innehåller 4 enheter akrylamid och 1 enhet kat- eller anjonisk del. Polymerisering av akrylamider visas i figur 10 och 11. Aromatiska kolföreningar och alkoholerna som använts i tillverkning av SUPERFLOC A-1883 RS är i så liten halt att de inte anses relevanta för vidare beräkning. De resterande 5 % i Superfloc C496, Superfloc A-120 och KemFoam X2500 tas inte med i beräkningen av fossilt kol då det är svårt att avgöra vad de består utav.

Tabell 1 Beskrivning av kemisk sammansättning för Superfloc C496, Superfloc A-1883 RS, Superfloc A-120 och KemFoam X2500 enligt Bengt Hansen, Kemika Kemi AB (personlig kommunikation, 2022, 9 maj).

Kemikalie	Innehåll
Superfloc C496	95% katjonisk polyakrylamid
Superfloc A-1883 RS	40-50% anjonisk polyakrylamid. ca 0-25% kolväten C12-C15, n-alkanes, isoalkanes, cyclics. < 2% aromatics (REACH # 01-2119456620-43; 01-2119484819-18- 0001) samt 0,3% Alcohols, C12-14, ethoxylated (68439-50-9)
Superfloc A-120	95% anjonisk polyakrylamid
KemFoam X2500	95% anjonisk polyakrylamid



Figur 10 Struktur för anjonisk polyakrylamid (modifierad från Kemira Oyj, u.å.).



Figur 11 Struktur för katjonisk polyakrylamid (modifierad från Kemira Oyj, u.å.).

För beräkning av kolinnehållet användes molmassan för en polyakrylamid. Molmassan för kol dividerades med den totala molmassan för polyakrylamiden för att få fram kolhalten. Halten multiplicerades med koncentrationen av polyakrylamiden i kemikalien samt massan av kemikalien som använts. Ekvationen för beräkningen ses i ekvation 8.

Ekvation 8 Beräkning för massan av $C_{fossilt}$ i kat- och anjoniska polyakrylamider.

$$m(C_{fossilt}) = \frac{M(C)}{M(\text{kat-, anjonisk polyakrylamid})} \cdot c(\text{kat-, anjonisk polyakrylamid}) \cdot m(\text{kemikalie})$$

Andelen kol som finns i kolvätena i Superfloc A-1883 RS beräknas som ett medelvärde av kolväten med 12–15 kolatomer med en koncentration på 12,5% (ekvation 9). (Registration Dossier - ECHA, u.å.)

Ekvation 9 Beräkning för massan av $C_{fossilt}$ i kolvätena C-12 - C-15.

$$m(C_{fossilt}) = \text{medel} \left(\frac{M(C)}{M(\text{kolväte C - 12})}, \frac{M(C)}{M(\text{kolväte C - 13})}, \frac{M(C)}{M(\text{kolväte C - 14})}, \frac{M(C)}{M(\text{kolväte C - 15})} \right) * 0,125 * m(\text{kemikalie})$$

3 Resultat

3.1 Kemikalier som använts i reningsprocesserna

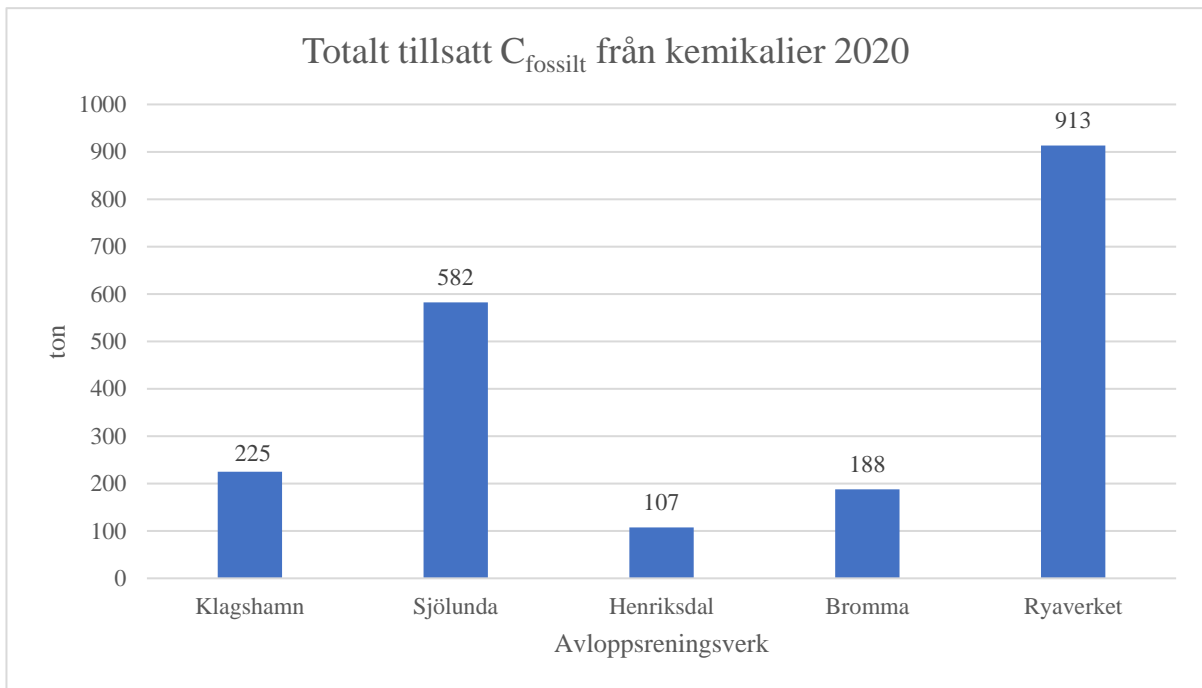
Kemikalierna som reningsverken använts redovisas i tabell 2. Samtliga reningsverk tillsätter kemikalier som innehåller fossilt kol men i olika mängder. Ryaverket sätter till störst mängd mätt i massa kemikalier innehållande fossilt kol i reningsprocessen och Henriksdals RV använder minst. Helm Skandinavien A/S tillverkar viss del metanol från moderna kolkällor men till största del från fossila kolkällor. Figur 12 visar den totala massan av tillsatt C_{fossilt} för samtliga avloppsreningsverk. Kolhalten för Superflock C496, Superflock A-1883 RS, Superflock A-120 samt KemFoam X2500 fanns inte tillgängliga hos tillverkare och har räknats ut genom ekvation 8 och 9. För de resterande kemikalierna fanns data tillgänglig hos leverantören och då har de siffrorna använts.

Tabell 2: Kemikalier som tillsatts i reningsprocesser. Blå markering betyder fossilt kolinnehåll, rött betyder inget fossilt kolinnehåll. (VA SYD, 2021) (VA SYD, 2021 (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021) (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021) (Gryaab AB, 2021) (Perstorp Specialty Chemicals AB, 2029) (Univar AB, 2017) (Feralco AB, 2020)

Reningsverk	Kemikalie	Användningsområde	Säkerhetsblad	Massa (ton)	Halt C	Andel C _{fossilt}	Total mängd C _{fossilt} per kemikalie (ton)
Klagshamn							
	Etanol 25%	Bakterieföda i denitrifikationsanläggningen	Perstorp Specialty Chemicals AB	427,638	0,521	1,000	222,972
	Sekundol	Bakterieföda i denitrifikationsanläggningen	Univar	260,815		0,000	0,000
	Plusjärn S 314	Fällningskemikalie	Feralco AB	769,640		0,000	0,000
	Superfloc C496	Slamförtjockning	Kemira Oyj	5,800	0,381	1,000	2,209
	Ozon	Bekämpning av filament i ASP	Egen produktion	0,368		0,000	0,000
Total mängd tillsatt C_{fossilt} (ton)							225,181
Sjölunda							
	QUICKFLOC /QUICKFLOC S	Fällningskemikalie, förfällning	KRONOS INTERNATIONAL, Inc.	2179,000		0,000	0,000
	Metanol	Kolkälla i denitrifikationsanläggning	Perstorp Specialty Chemicals AB	1437,000	0,375	1,000	538,617
	Ekoflock 90	Förfällningskemikalie i flotationsanläggning	Feralco Nordic AB	1288,000		0,000	0,000
	Natriumhydroxid	pH-justering i rejektnitrifikationsanläggning	Nobian Industrial Chemicals B.V.	837,000		0,000	0,000
	FLOPAM FO 4440 SSH	Polymer till förtjockning och slamavvattning	SNF NORDIC AB	100,000	0,400	1,000	40,000
	Plusjärn S 314	Fällningskemikalie i regnvädersbassänger	Feralco Nordic AB	62,000		0,000	0,000
	Superflock A-1883 RS Flocculant	Fällningskemikalie i regnvädersbassänger	Kemira Oyj	5,000	0,286	1,000	1,431
	KemFoam X2500	Skumdämpare till röt-kammare	Kemira Oyj	5,100	0,381	1,000	1,942

	Ättiksyra	Rengöring av luftmembran	Brenntag Nordic AB	511,200		0,000	0,000
Total mängd tillsatt C_{fossilt} (ton)							581,991
Henriksdal							
	QUICKFLOC / QUICKFLOC S	Fällningskemikalie	KRONOS INTERNATIONAL, Inc.	6910,000		0,000	0,000
	Polyaluminiumklorid	Fällningskemikalie	Brenntag Nordic AB	380,000		0,000	0,000
	Flopam 4490 och Flopam 4650	Pulverpolymer (slambehandling)	SNF Nordic AB	260,000	0,400	1,000	104,000
	Superfloc A-1883RS	Flytande polymer (anjonisk polyakrylamid)	Kemira Oyj	10,000	0,286	1,000	2,863
	Natriumhypoklirit	Hålla membran i skick inför drftstörning	Swed Handling AB	4,300		0,000	0,000
	FLOFOAMTM H 16	Skumdämpare	SNF Nordic AB	1,200	0,400	1,000	0,480
Total mängd tillsatt C_{fossilt} (ton)							107,343
Bromma							
	Järnsulfat (heptahydrat)	Fällningskemikalie	KRONOS INTERNATIONAL, Inc.	1260,000		0,000	0,000
	Järnklorid	Fällningskemikalie	Brenntag Nordic AB	1320,000		0,000	0,000
	Metanol	Kolkälla	Helm Skandinavien A/S.	420,000	0,375	0,999	157,344
	FLOPAM FO 4490 SSH SE	Pulverpolymer (slambehandling)	SNF Nordic AB	70,000	0,400	1,000	28,000
	Superfloc A-1883RS	Flytande polymer (anjonisk polyakrylamid)	Kemira Oyj	8,000	0,286	1,000	2,290
Total mängd tillsatt C_{fossilt} (ton)							187,634
Ryaverket							

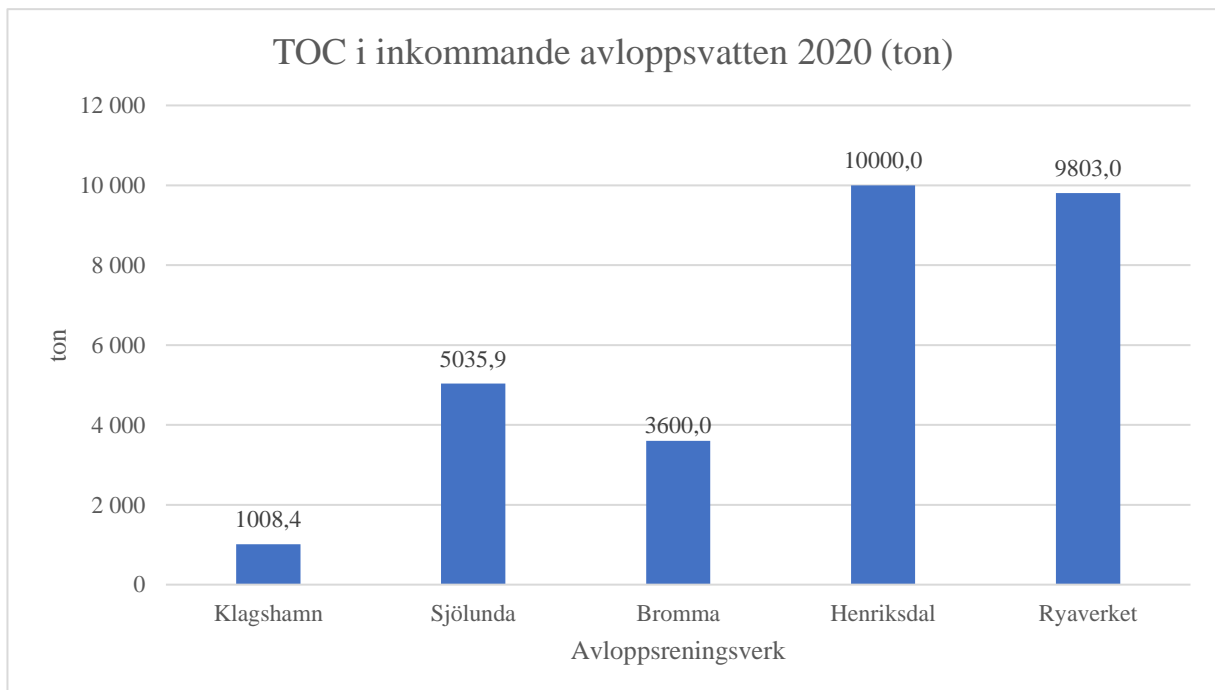
	Järnsulfat, Quickfloc	Fällning	KRONOS INTERNATIONAL, Inc.	2599,000		0,000	0,000
	Polyaluminiumklorid, PAC	Fällning	Kemira Oyj	655,000		0,000	0,000
	Superfloc A-120	Fällning	Kemira Oyj	2,300	0,381	1,000	0,876
	Zetag 8180	Slambehandling	Solenis	116,000			0,000
	Zetag 7557	Slambehandling	Solenis	266,000			0,000
	Natriumhypoklorit	Tvättning av skivfilter, desinfektion av internt spolvatten	Univar Solutions AB	90,700		0,000	0,000
	Metanol	Kolkälla	Helm Skandinavien A/S	2436,000	0,375	0,999	912,593
	Fosforsyra	Näring biofilm	Helm Skandinavien A/S	66,000		0,000	0,000
	Salpetersyra	Tvättning av slamskruvpressar	Univar Solutions AB	1,000		0,000	0,000
	BIM DF, Alifatiska alkoholer, Fettsyraester	Skumdämpningsmedel	BIM Kemi Sweden AB	0,100	0,200	1,000	0,020
Total mängd tillsatt C_{fossilt} (ton)							913,489



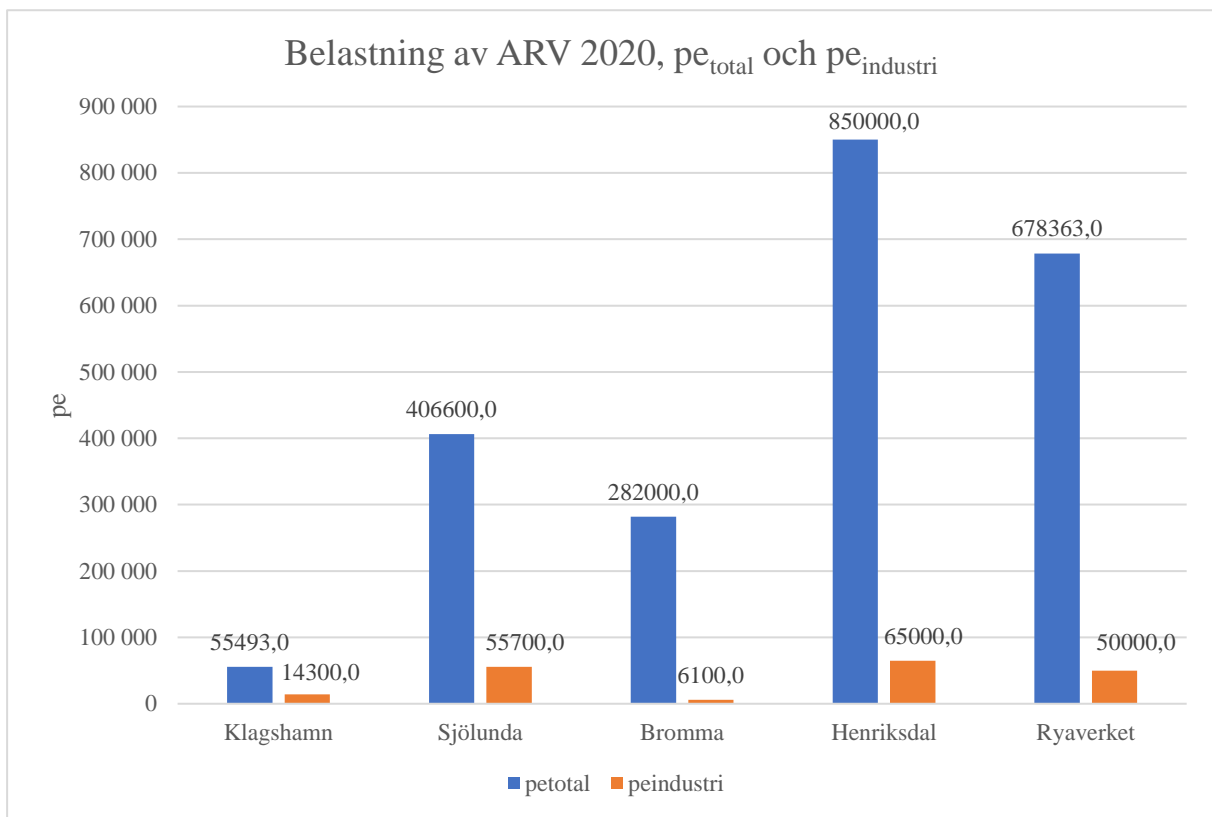
Figur 12 Totala massan av C_{fossilt} i tillsatta kemikalier i avloppsreningsverken 2020.

3.2 Estimerat C_{fossilt} i inkommande avloppsvatten

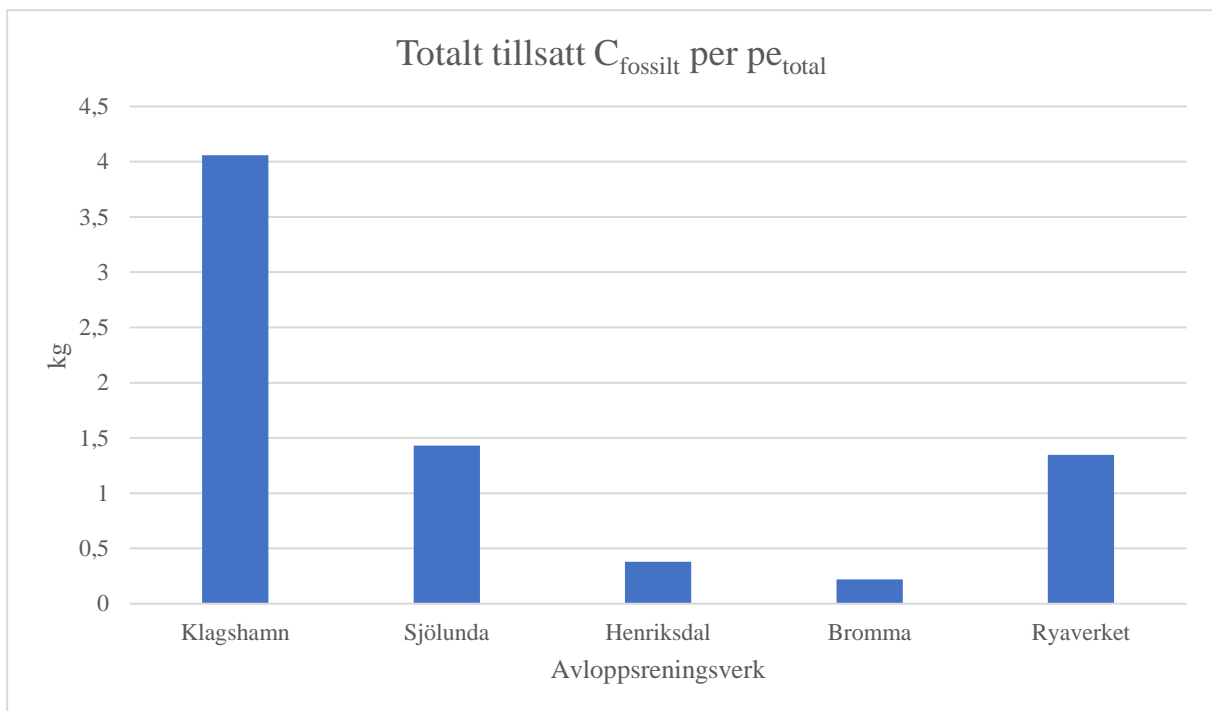
TOC i inkommande avloppsvatten för reningsverken visas i figur 13. Henriksdals RV har den högsta andelen TOC och Klagshamns ARV har lägst. Belastningen beräknad i p_{total} och p_{industri} redovisas i figur 14. Figur 15 visar hur mycket kemikalier i kg som tillsätts per p_{total} för reningsverken i denna studie.



Figur 13 Belastning av ARV 2020, TOC (ton). (VA SYD, 2021) (VA SYD, 2021 (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021) (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021) (Gryaab AB, 2021)

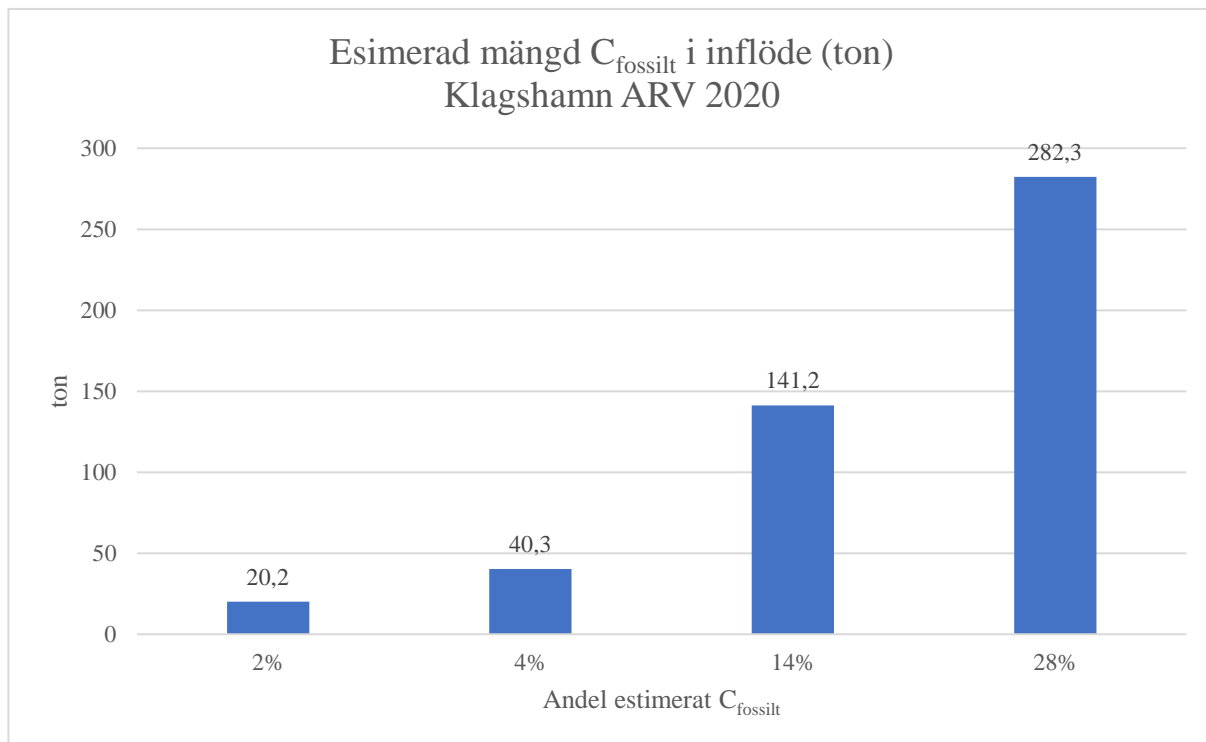


Figur 14 Belastning av ARV 2020, pe_{total} och $pe_{industri}$. (VA SYD, 2021; VA SYD, 2021; Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021; Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021; Gryaab AB, 2021)

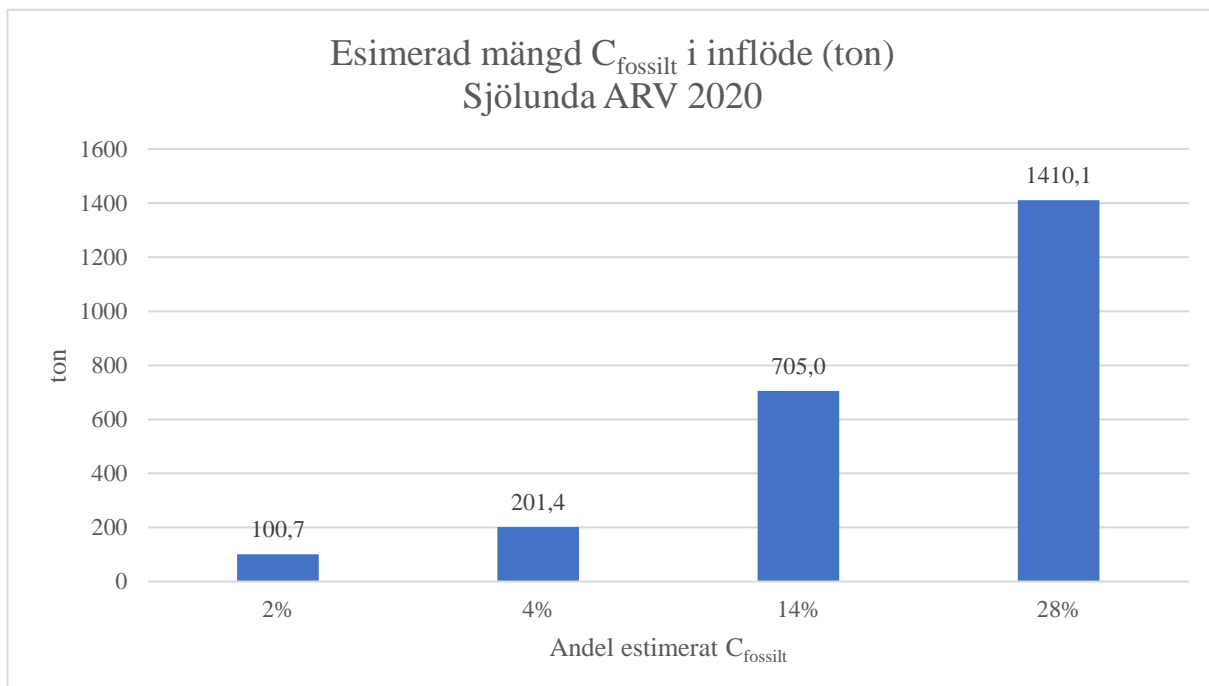


Figur 15 Totala mängden av tillsatt $C_{fossilt}$ från reningskemikalierna per pe i Klagshamn, Sjölunda, Henriksdal, Bromma samt Ryaverket.

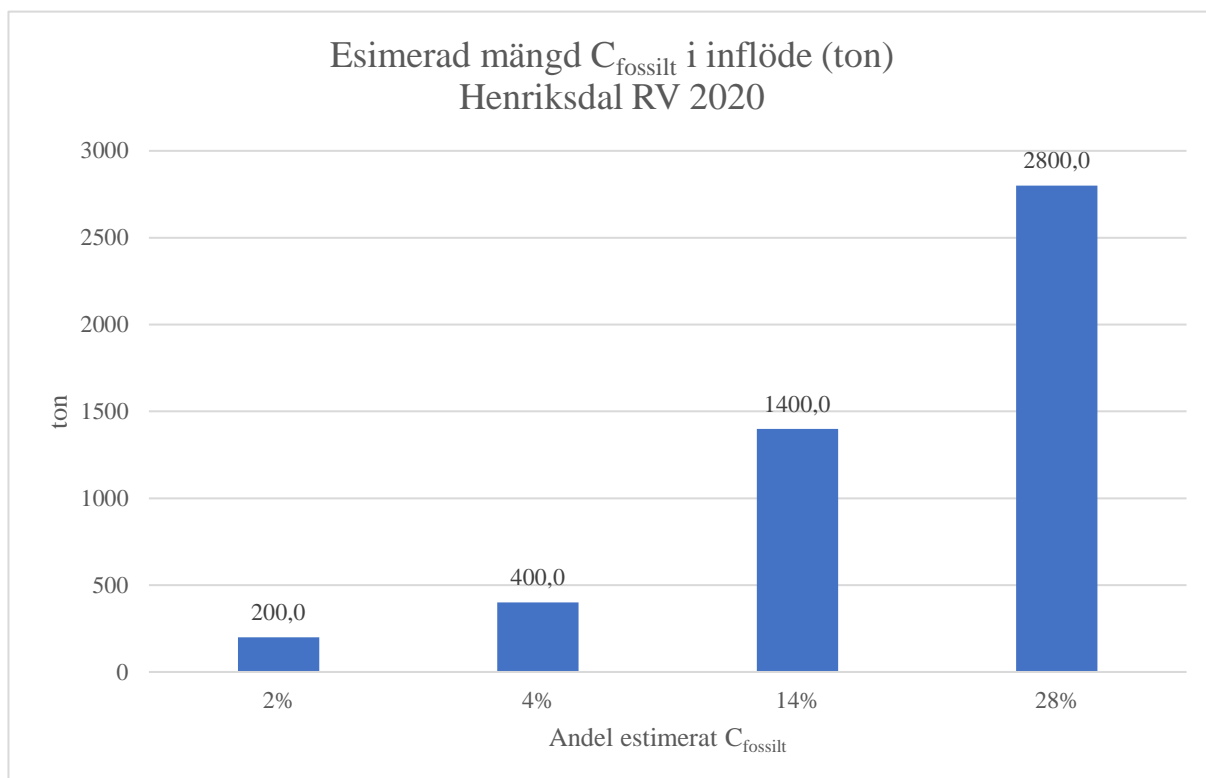
De estimerade värdena för C_{fossil} i inflödet redovisas i figur 16–20. Law m.fl. (2013) påvisade en halt av C_{fossil} på 4-14 % vilket skrivs som 4 och 14 % i figur 16-20. Tseng m.fl. (2016) påvisade en halt på 2-28 % vilket skrivs som 2 % och 28% i figur 16-20. Henriksdals RV har högst estimerat värde på C_{fossil} . Klagshamn ARV har lägst estimerade mängd C_{fossil} .



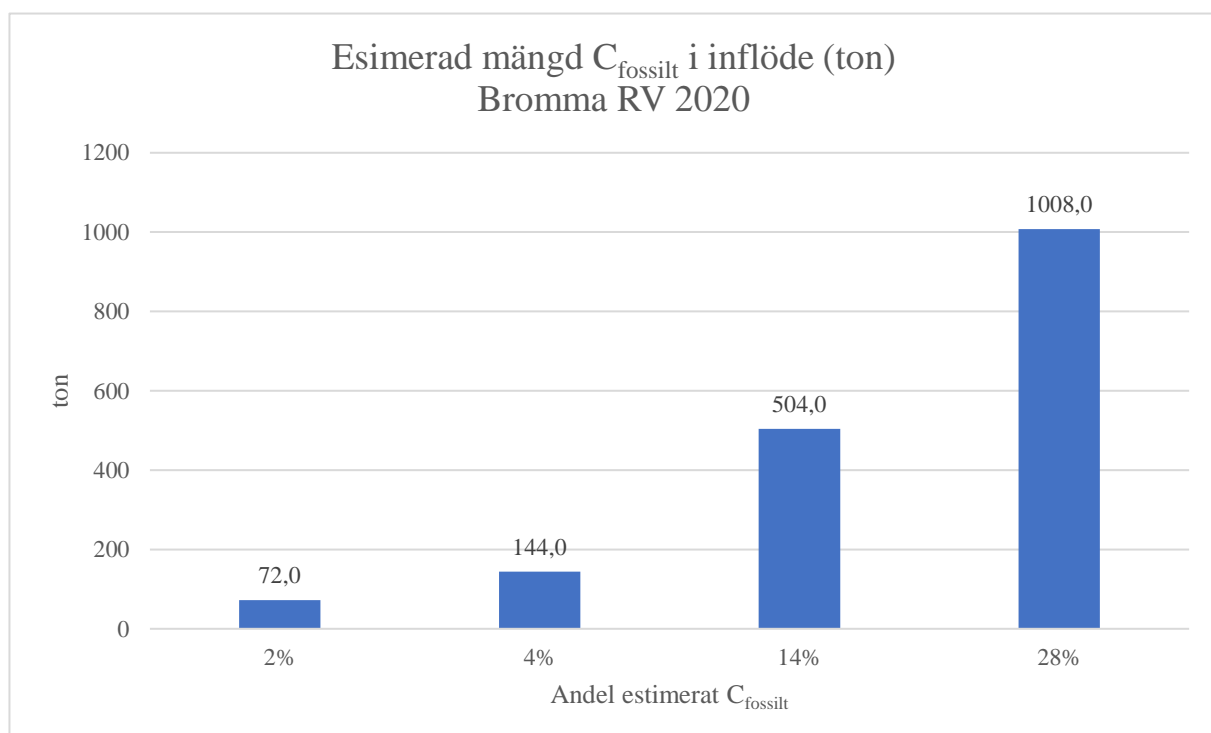
Figur 16 Estimerad mängd C_{fossil} i inflödande avloppsvatten baserat på data från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) samt TOC från Klagshamn ARV 2020. (VA SYD, 2021)



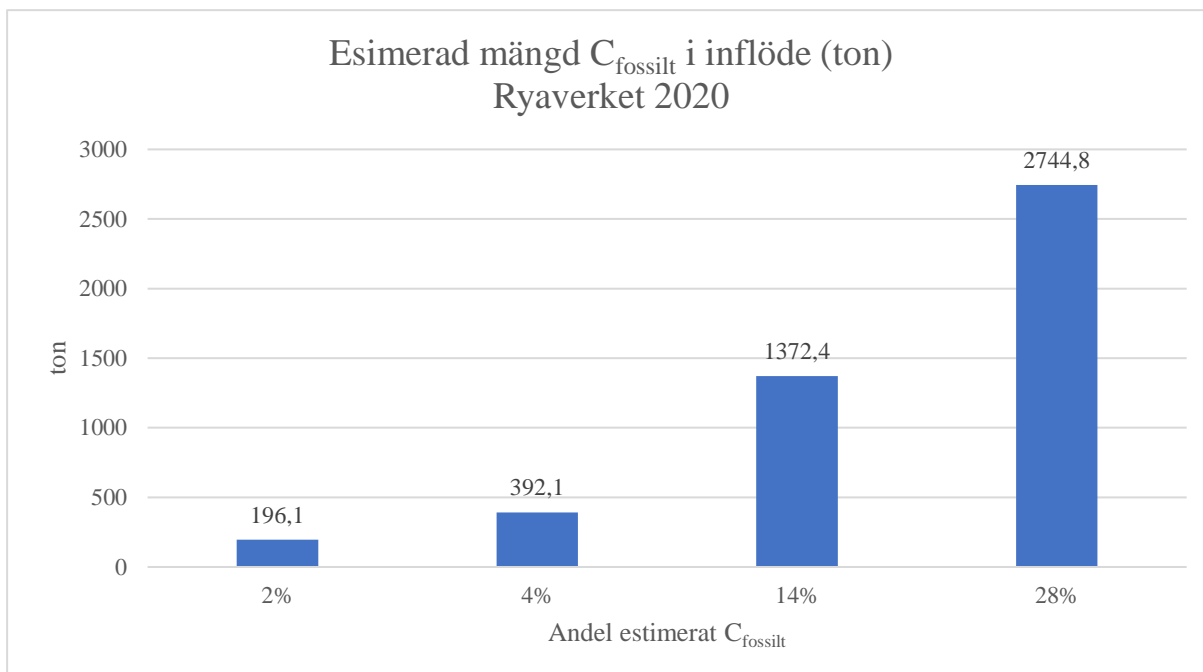
Figur 17 Estimerad mängd C_{fossil} i inflödande avloppsvatten baserat på data från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) samt TOC från Sjölunda ARV 2020. (VA SYD, 2021)



Figur 18 Estimerad mängd C_{fossilt} i inflödande avloppsvatten baserat på data från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) samt TOC från Henriksdals RV 2020. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)



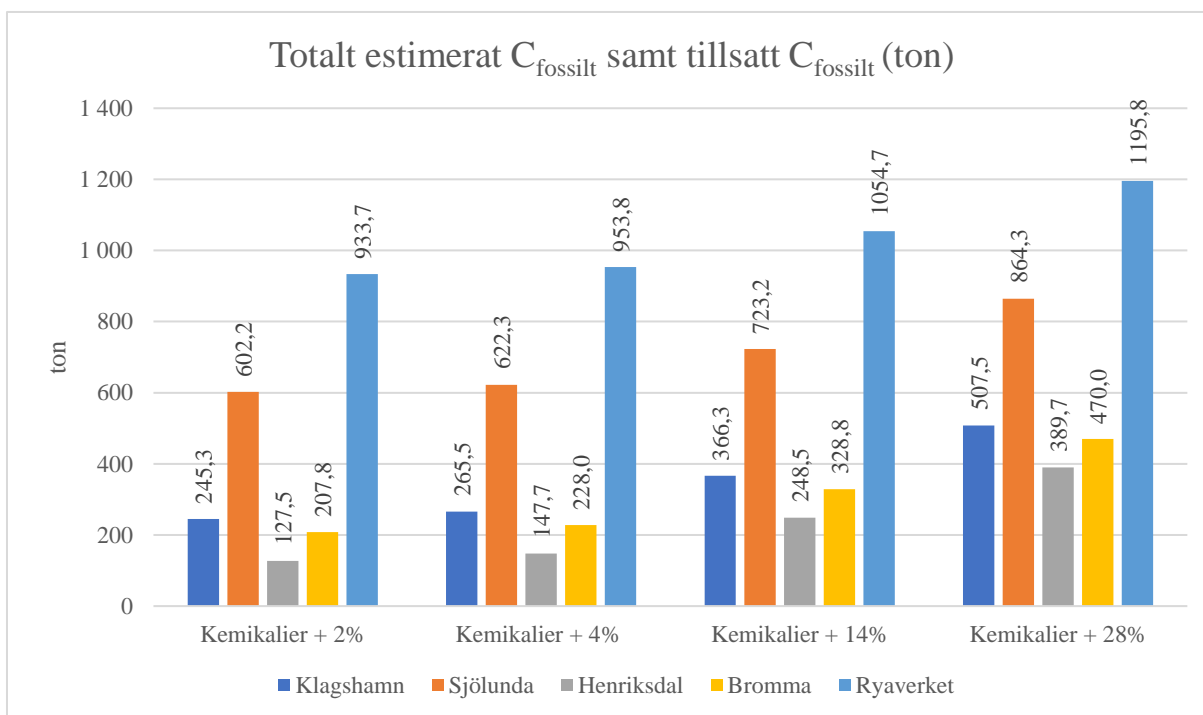
Figur 19 Estimerad mängd C_{fossilt} i inflödande avloppsvatten baserat på data från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) samt TOC från Henriksdals RV 2020. (Stockholm Vatten och Avfall AB, 2021)



Figur 20 Estimerad mängd C_{fossilt} i inflödande avloppsvatten baserat på resultat från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) samt TOC från Ryaverket 2020. (Gryaab AB, 2021)

3.3 Totala mängden C_{fossil} i avloppsreningsverk

Det totala estimerade värdet samt tillsatsen av C_{fossilt} redovisas i figur 21. Ryaverket har högst estimerad mängd C_{fossilt} och Henriksdal RV har lägst.



Figur 21 Totalt estimerad mängd C_{fossilt} i ARV 2020. Figuren innehåller dels estimerad mängd C_{fossilt} baserat på resultat från Law m.fl. (2130) och Tseng m.fl (2016) dels mängd tillsatt C_{fossilt} från kemikalierna som tillsätts i reningsprocessen.

4 Diskussion

IPCC's rapport från 2006 bedömer att allt fossilt kol i ARV är av modernt ursprung. (IPCC, 2019) Denna studie har visat att det är en grov förenkling och även en felaktig bedömning. De tidigare studierna utförda av Law m.fl (2013) samt Tseng m.fl (2016) visar båda att det finns fossilt kol i inkommande avloppsvatten vilket indikerar att IPCC's antagande är fel vilket resulterar i missade fossila utsläpp. Resultatet av kemikalieinventeringen från denna studie visar att det även tillsätts C_{fossilt} från kemikalierna för rening vilket leder till ännu mer fossila utsläpp av CO_2 från avloppsreningsverk som missas i IPCC's antagande.

4.1 Kemikalierna som används i reningsprocessen

De kemikalier som markerats med blått i tabell 2 innehåller fossilt kol. Kemikalier som tillsätts för fosforfällning ex järnsulfat, järnklorid är inte av intresse för studien då de inte innehåller kol eller endast en liten mängd fossilt kol. Slam från sedimenteringsbassängerna kan användas för att minska användningen av tillsatta kolkällor vilket på så sätt minskar andelen fossilt kol vilket utnyttjats i samtliga avloppsreningsverk.

Tillsatsen av C_{fossilt} från kemikalier per $p_{\text{e total}}$ visas i figur 15. Klagshamn ARV som har en liten belastning räknat i $p_{\text{e total}}$ men en stor andel av $p_{\text{e industri}}$ har en hög tillsats av C_{fossilt} kemikalier per $p_{\text{e total}}$. Detta styrker antagandet om att avloppsvatten från industri innehåller högre halt av kemikalier vilket resulterar i högre användande av reningskemikalier. Bromma RV som tar emot liten andel avloppsvatten från industri tillsätter minst C_{fossilt} från kemikalier för rening vilket även styrker det antagandet. Sjölanda ARV och Ryaverket har ungefär lika till tillsats av C_{fossilt} från reningskemikalier trots att Ryaverket har en högre belastning (figur 13). Information om Zetag 8180 och Zetag 7557 saknas från Ryaverket vilket förmodligen betyder att Ryaverket har högre tillsats av C_{fossilt} från kemikalierna. Henriksdals RV har lägst tillsats av C_{fossilt} från reningskemikalierna vilket troligtvis beror på att de inte använder sig av någon extern kolkälla för denitrifikation.

Enligt M. Kristensen på Helm Skandinavien A/S har de idag möjlighet att tillverka ca 0,05% av sin metanol från biobaserade källor. Då det inte är möjligt att spåra upp exakt vilken metanol som använts vid Bromma RV och Ryaverket under 2020 leder det till en möjlig under- eller överskattning av mängden C_{fossilt} .

Den etanol som användes i reningsprocessen i Klagshamn är en restprodukt från Perstorps Pharma AB. Enligt Cecilia Sjöo på VA SYD är produkten baserad på rester från läkemedelstillverkning Perstorp Specialty Chemicals AB (personlig kommunikation, 2022, 29 april.). Kemikalier från läkemedelstillverkning innehåller däremot ofta fossilt kol (Bao m.fl., 2015). Därför räknas det här med att etanolen från Perstorps Pharma AB baserat på fossilt kol.

Univar Solutions tillverkar metanolen som används i Klagshamn. Enligt Richard Lagerman på Univar Solutions är sekundolen baserad på etanol (80%) vilken är tillverkad av biomassa. Detta leder till att sekundol inte innehåller något fossilt kol och är därför inte relevant för att ta med i beräkningarna. (personlig kommunikation, 2022, 21 april)

4.2 Estimering av C_{fossilt}

Det reningsverk som visade högst andel av TOC (ton) i inkommande avloppsvatten, Henriksdals RV (figur 18), fick högst estimerat värde av C_{fossilt} då estimeringen bygger på en procentsats vilket Law m.fl. (2013) och Tseng m.fl (2016) visat på i sina studier. Om direkta mätningar genom AMS hade gjorts på inkommande avloppsvatten för reningsverken hade resultaten förmodligen skiftat något.

Sjölunda ARV har högst andel uppskattad industribelastning, $p_{e_{\text{industri}}}$, vilket troligtvis leder till en högre halt av C_{fossilt} i avloppsvattnet. Detta går dock inte att dra några slutsatser om utifrån denna studie då i estimeringarna av C_{fossilt} inte tar hänsyn till den faktiska belastningen på avloppsreningsverken i denna studie.

4.3 Totala mängden C_{fossilt} i avloppsreningsverk

Figur 21 visar det sammanlagda resultaten från studien. Ryaverket som har hög halt av TOC i inflödet (figur 13) samt högst tillsats av kemikalier (figur 12) visar högst totala mängd C_{fossilt} . Henriksdal RV som trots högst TOC i inflödet (figur 13) uppvisar lägst mängd total C_{fossilt} . Detta beror troligtvis på att de inte använder någon extern kolkälla för denitrifikation. Klagshamn ARV har trots sin låga belastning (figur 13) inte lägst mängd total C_{fossilt} vilket beror på att de tillsätter en stor mängd kemikalier i reningsprocessen. Detta kan bero på att de har en relativt hög industribelastning (figur 14). Sjölunda ARV som tar emot tredje högst TOC men tillsätter näst högst mängd av kemikalier (figur 12) leder till att de får näst högst total mängd C_{fossilt} . Bromma reningsverk har trots lägre belastning en högre total mängd C_{fossilt} . Detta beror troligtvis på att de använder sig av Metanol som kolkälla för denitrifikation.

4.4 Avgränsningar

På grund utav tidsbegränsning gjordes avgränsningar i studien. Endast avloppsreningsverk i Stockholm, Göteborg och Malmö undersöktes i studien då de tar emot avloppsvatten från Sveriges tre största städer. Avgränsningen som gjorts medför dock att skillnader i bland annat livsstil och industribelastning inte tas hänsyn till i studien. Att applicera tidigare studier inom området för med sig utrymme för fel i estimeringen då skillnader mellan de undersökta reningsverken i tidigare studier kan förekomma. Reningsverken skiljer sig bland annat till viss del i utformning och vilka process kemikalier som används. Även geografiska skillnader och skillnader i storlek samt belastning kan leda till något felaktiga resultat. Studien bör alltså endast ses som en grov förstudie för att få en uppfattning över omfattningen av fossilt kol i avloppsreningsverk. Framtida studier bör undersöka halten av C_{fossilt} i inflöden med AMS för att få exakt data över specifika avloppsreningsverk. Då totala årshalten används för en estimering bortkommer fluktuationer från säsonger vilket leder till ett mer rättvisande resultat.

Helst skulle data från föregående år, 2021, ha använts för studien men miljörapporter från Henriksdal och Bromma från 2021 fanns vid studiens början tillgängliga på deras hemsida. Ett beslut togs då att endast använda miljörapporter från år 2020 från resterande avloppsreningsverk för öka jämförbarheten mellan de olika avloppsreningsverken.

Halten av fossilt kol i kemikalierna Zetag 8180 och Zetag 7557 kunde inte beräknas då Solenis inte svarade då de kontaktades. Det leder till något missvisande resultat i beräkning av tillsatsen av C_{fossilt} på Ryaverket. Ryaverket, som redan utan att ta med dessa kemikalier i beräkningen tillsätter störst halt av C_{fossilt} , har alltså troligtvis tillsatser av ännu mer C_{fossilt} i sin reningsprocess.

5 Slutsatser

IPCC's antagande om att allt kol i inkommande avloppsvatten är falskt enligt tidigare studiers resultat av Law m fl (2013) och Tseng m.fl (2016). Då resultaten av dessa studier applicerades på mätvärden för TOC vid Klagshamn och Sjölunda ARV, Henriksdal och Bromma RV samt Ryaverket visade det på förekomst av C_{fossilt} i inflödande avloppsvatten. Detta resultat bör tas med försiktighet då det endast är en estimering baserat på tidigare studiers resultat. För att få ett mer tillförlitligt resultat bör studier göras på inkommande flöden på samtliga reningsverk genom AMS.

En stor del av C_{fossilt} kommer ifrån kemikalier som tillsätts för rening vilket visats genom kemikalieinventeringen i denna studie. Detta leder till fossila utsläpp av CO_2 från reningsverk som borde tas med i beräkningar om miljöpåverkan.

Tillsatserna av kemikalierna bidrar till att det finns fossilt kol i avloppsreningsverk. Det finns projekt likt den metanolen som tillverkas av Helm Skandinavien A/S vilka försöker byta ut fossila källor till moderna men än är det långt kvar. Ytterligare utveckling och forskning av processkemikalier bör göras för att nå ett så litet fossilt kolavtryck som möjligt.

6 Tack till

Tack till Tobias Rütting på Göteborgs Universitet som har varit min handledare under skrivprocessen. Jag vill även tacka Erik Thomson på Institutionen för Kemi och Molekylärbiologi för att ha kontrollerat kemidelarna av mitt arbete. För all hjälp om information angående reningsverken i studien vill jag tacka David Gustavsson och Cecilia Sjöo på VA SYD, Hanna Gottås och Olov Stenberg på Stockholm Vatten och Avfall samt Malin Olsson och Anders Hansson på Gryaab AB. Tack för att ni haft tålamod med alla mina frågor och återkommande mail. Utan Gregory Peters på Chalmers hade inte de beräkningar som utförts i studien varit möjliga att genomföra. Tack! Angående information om kemikalierna som använts på reningsverken vill jag tacka Bengt Hansen och Anders Pålsson på Kemira Kemi AB, Morten Kristensen på Helm A/S Skandinavien, Petter Bragd på BIM Sweden, Mattias Ristenfeldt på SNF NORDIC och Richard Lagerman på Univar Solutions. Till alla er andra som jag förmodligen har glömt nämna vid namn, en som hjälpt mig i skrivprocessen vill jag också säga tack.

7 Referenser

- Alves, E. Q., Macario, K., Ascough, P., & Bronk Ramsey, C. (2018). The Worldwide Marine Radiocarbon Reservoir Effect: Definitions, Mechanisms, and Prospects. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 278–305. <https://doi.org/10.1002/2017RG000588>
- Bao, Z., Sun, S., & Sun, D. (2015). Characteristics of direct CO₂ emissions in four full-scale wastewater treatment plants. *Desalination and Water Treatment*, 54(4–5), 1070–1079. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.940389>
- Bim Kemi Sweden AB. (2019). *BIM DF 7502*. [Säkerhetsdatablad]
- Brenntag Nordic AB. (2021). *PIX 111 / IBC 1137 KG EXKL*. [Säkerhetsdatablad]
- Brenntag Nordic AB. (2021). *ÄTTIKSYRA 80% / DUNK 20 KG INKL FD* [Säkerhetsdatablad].
- Daelman, M. R. J., van Voorthuizen, E. M., van Dongen, U. G. J. M., Volcke, E. I. P., & van Loosdrecht, M. C. M. (2012). Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research*, 46(11), 3657–3670. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.024>
- de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2004). Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997–2003). *Water Research*, 38(19), 4222–4246. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.014>
- Ferlaco Nordic AB. (2020). *Ekoflock 50-100* [Säkerhetsdatablad].
- Ferlaco Nordic AB. (2020). *Plusjärn S 314* [Säkerhetsdatablad].
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Van Dorland, R. Miller, H.L. (Ed.). (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, kapitel 2. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Helm Skandinavien A/S. (2020). *Fosforsyra 75%*. [Säkerhetsdatablad]
- Helm Skandinavien A/S. (2020). *Metanol – S*. [Säkerhetsdatablad]
- IPCC (2019). *Wastewater treatment and Discharge. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). IPCC.
- Kampschreur, M. J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M. S. M., & van Loosdrecht, M. C. M. (2009). Nitrous oxide emission during wastewater treatment. *Water Research*, 43(17), 4093–4103. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.001>
- Kartal, B., Kuenen, J. G., & van Loosdrecht, M. C. M. (2010). Sewage Treatment with Anammox. *Science*, 328(5979), 702–703. <https://doi.org/10.1126/science.1185941>
- Kemira Oyj. (u.å). *About water treatment*.
- Kemira Oyj. (2021). *KEMIRA PAX-XL100*. [Säkerhetsdatablad]
- Kemira Oyj. (2019). *SUPERFLOC A-120*. [Säkerhetsdatablad]

Kemira Oyj. (2022). *SUPERFLOC A-1883RS*. [Säkerhetsdatablad]

Kemira Oyj. (2020). *SUPERFLOC C-496HMW*. [Säkerhetsdatablad]

KLAGSHAMN AVLOPPSRENINGSVVERK MALMÖ Miljörapport 2020 (2021). VA SYD.

KRONOS INTERNATIONAL, Inc. (2020). *QUICKFLOC / QUICKFLOC S* [Säkerhetsdatablad].

Kunioka, M. (2010). Possible incorporation of petroleum-based carbons in biochemicals produced by bioprocess. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(2), 491–497.
<https://doi.org/10.1007/s00253-010-2630-3>

Law, Y., Jacobsen, G. E., Smith, A. M., Yuan, Z., & Lant, P. (2013). Fossil organic carbon in wastewater and its fate in treatment plants. *Water Research*, 47(14), 5270–5281.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.002>

Manahan, S., (2017). *Environmental Chemistry* (10 uppl.). CRC Press Taylor & Francis Group.

Modin, O., Persson, F., Wilén, B.-M., & Hermansson, M. (2016). Nonoxidative removal of organics in the activated sludge process. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(7), 635–672. <https://doi.org/10.1080/10643389.2016.1149903>

Nobian Industrial Chemicals B.V.. (2020) *NATRONLUT, 10-50 % V/V*. [Säkerhetsdatablad]

Perstorp Specialty Chemicals AB. (2019). *Etanol, 25 %* [Säkerhetsdatablad].

Perstorp Specialty Chemicals AB. (2020). *Methanol*. [Säkerhetsdatablad].

Registration Dossier—ECHA. (u.å.). Hämtad 16 maj 2022, från <https://echa.europa.eu/sv/registration-dossier/-/registered-dossier/15375/11/?documentUUID=c2ed0194-1c5f-4f6d-908d-f367bd720c9d>

Rohlén, J. (2012). *Negative ions in accelerator mass spectrometry*. Gothenburg: Department of Physics, University of Gothenburg.

Schneider, A. G., Townsend-Small, A., & Rosso, D. (2015). Impact of direct greenhouse gas emissions on the carbon footprint of water reclamation processes employing nitrification–denitrification. *Science of The Total Environment*, 505, 1166–1173.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.060>

SJÖLUNDA AVLOPPSRENINGSVVERK MALMÖ Miljörapport 2020 (2021). VA SYD.

SNF (UK) Limited. (2021). *FLOPAM™ FO 4440 SSH*. [Säkerhetsdatablad]

SNF NORDIC AB. (2021). *FLOFOAM™ H 16*. [Säkerhetsdatablad]

SNF NORDIC AB. (2021). *FLOPAM™ FO 4490 SSH*. [Säkerhetsdatablad]

SNF NORDIC AB. (2021). *FLOPAM™ FO 4650 SSH*. [Säkerhetsdatablad]

Solenis. (2020). *Zetag™ 7550*. [Säkerhetsdatablad]

Solenis. (2020). *Zetag™ 8180*. [Säkerhetsdatablad]

Stockholm Vatten och Avfall (2021). Miljörapport 2020 Avloppsverksamheten Stockholm Vatten och Avfall. Stockholm Vatten och Avfall AB.

Swed Handling AB. (2019). *Natriumhypoklorit*. [Säkerhetsdatablad]

Tseng, L. Y., Robinson, A. K., Zhang, X., Xu, X., Southon, J., Hamilton, A. J., Sobhani, R., Stenstrom, M. K., & Rosso, D. (2016). Identification of Preferential Paths of Fossil Carbon within Water Resource Recovery Facilities via Radiocarbon Analysis. *Environmental Science & Technology*, 50(22), 12166–12178. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02731>

Univar AB. (2017). *KEMETYL EKUNDOL EVF DENAT*. [Säkerhetsdatablad].

Univar Solutions AB. (2020). *NATRIUMHYPOKLORITLÖSNING 5%-<20%*. [Säkerhetsdatablad]

Univar Solutions AB. (2019). *SALPETERSYRA 26 - <65%*. [Säkerhetsdatablad]

Wang, J., & Chu, L. (2016). Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process. *Biotechnology Advances*, 34(6), 1103–1112. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.07.001>

Wood, R. (2015). From revolution to convention: The past, present and future of radiocarbon dating. *Journal of Archaeological Science*, 56, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.019>

Xi, J., Gong, H., Zhang, Y., Dai, X., & Chen, L. (2021). The evaluation of GHG emissions from Shanghai municipal wastewater treatment plants based on IPCC and operational data integrated methods (ODIM). *Science of The Total Environment*, 797, 148967. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148967>