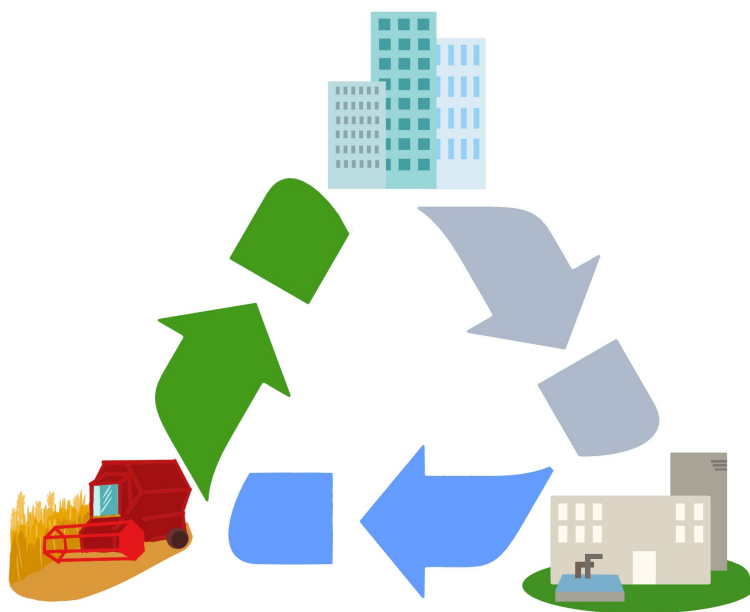




CHALMERS



Resursutvinning från avloppsvatten

En jämförelse mellan separerade och konventionella avloppssystem

ACEX10-22-76

Kandidatuppsats vid institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Anna Andersson
Marcus Ingemarsson
Klara Helgesson
Leonard Herzog
Laila Karam
Ellinor Kleiven

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

www.chalmers.se

KANDIDATUPPSATS 2022

Resursutvinning från avloppsvatten
En jämförelse mellan separerade och konventionella
avloppssystem

ACEX10-22-76

Kandidatuppsats vid institutionen för Arkitektur och
samhällsbyggnadsteknik

Anna Andersson
Marcus Ingemarsson
Klara Helgesson
Leonard Herzog
Laila Karam
Ellinor Kleiven



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

Resursutvinning från avloppsvatten. En jämförelse mellan separerade och konventionella avloppssystem.

ANNA ANDERSSON, KLARA HELGESSON, LEONARD HERZOG, MARCUS INGEMARSSON, LAILA KARAM, ELLINOR KLEIVEN

© ANNA ANDERSSON, KLARA HELGESSON, LEONARD HERZOG, MARCUS INGEMARSSON, LAILA KARAM, ELLINOR KLEIVEN 2022.

Handledare: Oskar Modin, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Examinator: Frank Persson, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Kandidatuppsats 2022
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Grafisk bild som representerar ett cirkulärt avloppssystem. Tecknad av Anna Andersson.

Göteborg, Sverige 2022

Sammanfattning

Avloppsvatten innehåller stora mängder näringsämnen. Dessa kommer framförallt från människor och består av bland annat kväve, fosfor och kol. En förutsättning för att skapa ett hållbart samhälle är att inte slösa på jordens resurser, vilket gör det viktigt att ta vara på de resurser som kan utvinnas i samband med avloppsvattenrening. En försvårande faktor är att inloppen till majoriteten av dagens avloppsreningsverk utgörs av vatten från flera olika källor, däribland vatten från tvätt, dusch, handfat och toaletter. Att separera dessa flöden skulle potentiellt innebära att reningen underlättas och att utvinningen av de olika näringsämnena samt övriga resurser förbättras.

Syftet med detta arbete är därför att jämföra ett konventionellt reningsverk med ett reningsverk som använder ett källsorterat flöde. Jämförelsen baseras på data från de två reningsverken och utförs baserat på utvinningsgrad och reningsgrad av fosfor och kväve samt potentiell energiutvinning. Dessutom undersöks branschens framtidsutsikter inom området och en kretsloppsmodell för respektive näringsämne fosfor, kväve och kol utvecklas.

Studiens resultat visar att ett separerat flöde utvinner resurserna mer effektivt och resulterar i ett renare vatten än vad det konventionella reningsverket gör. Det är dock dyrt och komplext att ändra Sveriges befintliga avloppssystem, men en möjlighet kan vara att implementera vissa av dessa tekniker på de befintliga reningsverken för att öka deras resursåtervinning. I resultatet presenteras även flertalet kretslopp som visar hur näringsämnen av intresse kan utvinnas och hur möjliga tekniker kan appliceras för att uppnå cirkuläritet. Vidare visar studien att potentialen inom resursutvinning är stor och att verksamma personer inom området anser att det är viktigt att fokus ligger på att utveckla hållbara metoder.

Nyckelord: Resursutvinning, Avloppsvatten, Källsorterat flöde, Resursverk, Reningsverk, Återvinning

Abstract

Title: *Resource extraction from wastewater: A comparison between seperated and conventional sewage systems.*

Wastewater contains large amounts of nutrients, primarily originating from households. The water contains nitrogen, phosphorus and carbon, among other things. In order to create a sustainable society, there's a need to decrease the drain on the Earths resources, making it important to take advantage of the nutrients and other materials in wastewater. A difficulty in this matter is the fact that most wastewater systems deal with a large inflow containing several different types of wastewater at once, including water from laundry, showers, sinks and toilets. To seperate these inflows into individual pipes could potentially facilitate water purification and enable wastewater plants to more efficiently extract the resources of interest.

The purpose of this study is to compare a conventional Swedish wasterwater plant to one with a source separated inflow. The comparison is based on data from the two chosen wastewater plants and focuses on the degree of purification and extraction of phosphorus and nitrogen as well as potential energy recovery. The study also investigates the future prospects in the wastewater sector, and circulation models for nitrogen, phoshphour and carbon are developed.

The results of this study shows that a multipipe inflow yields a higher efficiency in the extraction of resources, resulting in cleaner water compared to a conventional wastewater plant. It is however expensive and complex to alter the existing wastewater system in Sweden, since the vast majority of Swedish infrastucture currently only supports a one pipe system. It could however be possible to implement some of these techniques in current wastewater plants in order to increase nutrient recovery. Three different circulation models are also presented, that show how nutrients of interest could be extracted and how possible techniques could be applied to develop a circular system where all incoming resources to a wastewater plant are be recycled back into society. Additionally, this study shows that there is alot of potential in resource recovery and that professionals in the field believe that it's important to focus on developing sustainable methods for wastewater treatment.

Key words: Resource recovery, Wastewater, Source separation, Wastewater treatment plant, Recycling

Förord

Kandidatarbetet är utfört vid institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på avdelningen samhällsbyggnadsteknik för Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och författarna studerar på civilingenjörsprogrammen inom bioteknik eller samhällsbyggnadsteknik.

Vi vill rikta ett varmt tack till alla som ställt upp på intervjuer, studiebesök eller på annat sätt bidragit till arbetet.

Fredrik Christensson
Amanda Haux
Hamse Kjerstadius
Dag Lorick
Maria Neth
Liselotte Stålhandske
Amanda Widén

Vi vill också tacka vår handledare Oskar Modin för att han har hjälpt oss genom hela vårt arbete med kunskap och vägledning.

Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg, maj 2022

Begreppslista

BOD, biochemical oxygen demand: En vattenkvalitetsparameter som är ett mått på hur mycket syre som krävs för biologisk nedbrytning av det organiska materialet i vattnet.

COD, chemical oxygen demand: En vattenkvalitetsparameter som är ett mått på hur mycket syre som krävs för kemisk nedbrytning av det organiska materialet i vattnet. Används vid mätning av mängden kemiskt oxiderat material i vattnet.

Dagvatten: Regn- och smältvatten som rinner ned i brunnar och ofta leds till ett avloppsvattenreningsverk.

Gråvatten: Avloppsvatten från dusch, handfat och tvätt, även kallat BDT-vatten.

Personekvivalenter, pe: Antalet personekvivalenter definieras som kvoten mellan årsmedelvärdet av inkommande BOD7 per dygn och den specifika föroreningsmängden 70 g BOD per dag och person.

Rejektvatten: Vatten som avvattnas ur slam efter rötning. Rikt på bland annat kväve.

Reningsgrad: Den procentsats som visar hur mycket av det inkommande näringsämnet som renas bort under avloppsvattenreningen i reningsverket innan vattnet släpps ut i recipienten (havet/sjön/vattendraget).

Slam: Restprodukt från avloppsvattenrening som innehåller mycket näringsämnen och har mullbildande egenskaper. Kan användas som gödsel eller till anläggnings- och deponitäckning.

Svartvatten: Avloppsvatten från toaletter.

Tekniskt vatten: Ett samlingsbegrepp för det vatten som inte uppnått dricksvattenkvalitet, men som är renat tillräckligt för att kunna användas som exempelvis spol- eller kylvatten, antingen externt eller inom den egna vatten- och avloppsverksamheten.

Torrsubstans, TS: Mängden fast material när allt vatten har avdunstat. Används vid mätning av slam, vars torrsubstanshalt ökas genom avvattnning.

Utvinningsgrad: Den procentsats som visar hur mycket av det inkommande näringsämnet som utvinns i användbar form ur avloppsvattnet under reningen.

Övergödning: För stor tillförsel av näringsämnen, så som kväve och fosfor, till ett vattendrag som kan resultera i algblomning och syrebrist i vattnet.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Problembeskriving	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Samhälleliga och etiska aspekter	3
1.5.1	Intervjukonfidens	3
1.5.2	Informationshantering	3
1.5.3	Mål och användning	3
1.5.4	Ekonomiska effekter	3
2	Teori	4
2.1	Avloppsvattenrening	4
2.1.1	Vattenkvalitet och reningsprocess	4
2.1.2	Avloppsslam	5
2.2	Ryaverket	6
2.2.1	Bakgrund	6
2.2.2	Nuvarande vattenreningsprocess	6
2.2.3	Slamhantering	8
2.3	RecoLab	9
2.3.1	Bakgrund	9
2.3.2	Tre rör ut	9
2.3.3	Nuvarande process: utvecklingsanläggningen	10

3	Metod	12
3.1	Litteraturstudie	12
3.2	Intervjuer & studiebesök	12
3.3	Teknisk jämförelse	13
3.4	Kretsloppsmodell	14
4	Resultat	15
4.1	Intervjustudie	15
4.1.1	Framtidsutsikter Gryaab	15
4.1.2	Framtidsutsikter Recolab	16
4.1.3	Framtidsutsikter från några inom branschen	18
4.2	Alternativa metoder för resursutvinning	20
4.3	Teknisk jämförelse mellan Ryaverket och Recolab	21
4.3.1	Näringsutvinning	21
4.3.2	Energiutvinning	23
4.4	Framtidens avloppskretslopp	24
4.4.1	Kvävets kretslopp	24
4.4.2	Fosfors kretslopp	25
4.4.3	Kolets kretslopp	26
5	Diskussion	28
5.1	Resursutvinning	28
5.1.1	Kväve	28
5.1.2	Fosfor	28
5.1.3	Kol	28
5.1.4	Energi	29

5.1.5	Vatten	30
5.1.6	Sammanfattning	30
5.2	Framtidens resursverk	30
5.2.1	Kretsloppsmodellerna	30
5.2.2	Potential för framtiden och branschens framtidsutsikter	31
5.2.3	Samhällsaspekter	32
5.3	Metoddiskussion	33
6	Slutsats	35
6.1	Förslag på vidare forskning	35
A	Appendix	41
A.1	Intervjuunderlag: Industridoktorand Gryaab AB Chalmers Tekniska Högskola	41
A.2	Intervjuunderlag: Utvecklingsingenjör RecoLab NSVA	43
A.3	Intervjuunderlag: Utvecklingsstrateg Hässleholm Miljö AB. Strategisk utvecklare Laholmsbuktens VA	45

1 Introduktion

Här följer en introduktion till ämnet och kandidatarbetets upplägg. Kapitlet består av bakgrund, syfte, problembeskrivning, avgränsningar samt samhällsliga och etiska aspekter.

1.1 Bakgrund

Ett stort problem i dagens samhälle är den stora mängden näringsämnen som finns i avloppsvatten som släpps ut i naturen istället för att återvinnas. Dessa näringsämnen kommer främst från människan och består av bland annat kväve, fosfor och kol. Vatten med för hög koncentration av specifikt kväve och fosfor påverkar både naturens nuvarande ekosystem och den biologiska mångfalden, samt bidrar till övergödning vilket orsakar syrebrist i hav och sjöar [1]. Avloppshantering och vattenrening är även en viktig faktor för att minska risken för att föroreningar och gifter sprids i miljön. De främsta föroreningarna kommer från hushåll och industrier, men också från dagvatten som för med sig partiklar från vägar och andra anläggningar. Dessa föroreningar utgörs av allt ifrån större material och partiklar ner till virus, läkemedelsrester och mikroplaster [2]. För att undvika detta måste det förorenade vattnet omhändertas och renas innan det kan återföras till naturen eller samhället.

För att skapa ett hållbart samhälle är det en förutsättning att inte slösa på jordens resurser och det är därmed viktigt att ta vara på de resurser som kan utvinnas i samband med rening av avloppsvattnet [3]. Detta finns med i Sveriges miljömål [4], där ett av de sju fokusområdena i generationsmålet är att: *“Kretsloppen är resurseffektiva och så långt som möjligt fria från farliga ämnen.”*

De primära resurserna som finns i avloppsvattnet är näringsämnen i form av kol, kväve och fosfor, energi i form av värme och även vattnet i sig [5]. Alla dessa går att återanvända i olika delar av samhället och bör därför tas till vara på. Näringsämnen behövs i jordbruket, värmen går att användas som fjärrvärme och rent vatten är en livsnödvändighet.

En försvårande faktor när det kommer till näringsutvinning och rening av avloppsvatten är dock att inloppen till majoriteten av dagens avloppsreningsverk utgörs av vatten från olika källor. Vatten från tvätt, dusch, handfat och toaletter blandas med dagvatten från vägar och brunnar som alla för med sig föroreningar med olika kemiska sammansättningar [6]. När vattnet från de olika källorna blandas så späds innehållet ut, vilket försvårar både reningsprocessen och möjligheterna till att ta vara på de olika resurserna i vattnet.

Att separera dessa flöden skulle potentiellt kunna innebära att reningen underlättas och att utvinningen av de olika näringsämnena och övriga resurser förbättras [7] [8]. För att undersöka om så är fallet vore det intressant att jämföra ett konventionellt reningsverk med sammankopplat flöde med ett som har ett källsorterat sådant.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att jämföra två nationella reningsverk som jobbar med resursutvinning från avloppsvatten: ett konventionellt reningsverk och ett med ett källsorterat flöde av avloppsvatten. Jämförelsen ska utföras baserat på utvinningsgrad och reningsgrad av näringsämnen, specifikt fosfor, kväve, samt energiutvinning. Ytterligare syfte är att undersöka vad branschen ser för framtidsutsikter och med utgångspunkt i detta utveckla en kretsloppsmodell för hur framtida hållbara och cirkulära avloppslösningar skulle kunna se ut.

1.3 Problembeskriving

För att undersöka hur resursutvinning från avloppsvatten kan utvecklas krävs vetenskap om hur arbetet inom området ser ut idag. För att jämföra befintliga system ska två nationella reningsverk användas, där utvinningsgrad, reningsgrad av näringsämnen samt energi undersöks. För det konventionella reningsverket valdes Ryaverket i Göteborg och för det källsorterade flödet valdes RecoLab i Helsingborg.

Till jämförelsen med avseende på närings- och energiutvinning behövs en massbalans samt en energibalans baserad på data från inlopp och utlopp för respektive reningsverk. Ur detta fås en utvinningsgrad samt en reningsgrad som kan användas för att kvantitativt jämföra de olika reningsverken.

För att kunna besvara syfte och delsyften identifieras 5 forskningsfrågor:

- Hur fungerar resursutvinningen på det Ryaverket i Göteborg respektive på RecoLab i Helsingborg?
- Vilket av reningsverken är mest effektivt med avseende på resurs- och utvinningsgrad?
- Vilka nya reningsmetoder med fokus på näringsutvinning forskas det på i dagsläget?
- Hur ser branschens visioner ut för resursutvinning från avloppsvatten i framtiden?
- Hur kan ett framtida cirkulärt kretslopp se ut för avloppsvatten?

1.4 Avgränsningar

Detta kandidatarbete undersöker endast reningsverk och nationella projekt i Sverige, men kan även innefatta teknik och metoder som utvecklats utomlands. Anledningen till den nationella avgränsningen är främst att det underlättar vid intervjuer samt studiebesök. Ytterligare en avgränsning som gjordes var att endast välja två nationella reningsverk att fokusera på, för att djupare gå in på dessa istället för att kortfattat presentera flera projekt. Författarna kom tillsammans överens om de två reningsverk som skulle fokuseras på; det nystartade RecoLab med källsorterat flöde i Helsingborg, samt Ryaverket i Göteborg. De reningsverk som studeras är urbana system med en väl utbyggd infrastruktur, men det finns också många småskaliga lösningar inom området. För att göra ytterligare avgränsning omfattas dessa inte av rapporten, då det inte är säkert att dessa lösningar fungerar i urban miljö.

1.5 Samhälleliga och etiska aspekter

1.5.1 Intervjukonfidens

Eftersom arbetet är delvis baserat på intervjuer måste personernas integritet beaktas och intervjuade personer skall få vara anonyma om så önskas. Detta för att bidra till möjligheten att besvara frågorna uppriktigt utan att riskera eventuella påföljder. Om de som deltar i intervjuerna väljer att inte svara på frågor på grund av företagslojalitet eller andra orsaker kommer detta respekteras.

1.5.2 Informationshantering

Syftet med studien är enbart att kartlägga nutida och framtida lösningar på problemet med resursutvinning från avloppsvatten, inte att nedvärdera företag och projekt som finns inom området. Reningsverken som tas upp i denna rapport jämförs opartiskt och alla intervjuer genomförs med ett gemensamt underlag som anpassats efter respondenten. Litteraturstudien genomförs med tillförlitliga källor med nationellt fokus för att vara relevant till arbetets frågeställning samt ha en vetenskaplig bakgrund.

1.5.3 Mål och användning

Förhoppningen med arbetet är att resultatet kommer ge information kring de befintliga metoderna för avloppshantering, men även granska de möjligheter som kan effektivisera och förbättra samhällets förmåga att utvinna resurser. Arbetet kan dessutom bidra till att nå Sveriges miljömål [9], som till exempel målet om *Giftfri miljö* samt *God bebyggd miljö*.

1.5.4 Ekonomiska effekter

Då arbetet undersöker en potentiell rekonstruktion av samhällets avloppssystem samt stora investeringar i reningsanläggningar, kan arbetets resultat påverka både privatekonomi och statlig resursfördelning. Målet med arbetet är att jämföra de olika vinsterna med reningsverken utan att ta ställning kring om det är ekonomiskt rättfärdigat att ställa om samhället till en ny modell, men utrymme ges till att påpeka den ekonomiska effekten av att implementera den föreslagna processen. Resultatet kommer inte aktivt kommuniceras till aktörer med inflytande så möjligheten att studien får en betydande påverkan anses vara liten.

2 Teori

Detta kapitel beskriver hur avloppsvatten och restprodukter hanteras samt vilka mätningar som används för att avgöra vattenkvalitet. Dessutom presenteras det konventionella reningsverket Ryaverket samt nystartade RecoLab som använder ett separerat flöde och deras respektive reningsprocesser beskrivs.

2.1 Avloppsvattenrening

För att minska samhällets naturpåverkan behöver avloppsvatten renas från diverse substanser, organiskt material, näringsämnen, smittämnen och mikroföroreningar. Vid reningen av avloppsvatten finns det flera metoder med olika syften som kombineras för att återföra ett så rent vatten som möjligt till recipienten. Dessa kan delas in i mekaniska, kemiska och biologiska metoder. Reningen av avloppsvatten har som syfte att återge rent vatten till naturen men bör också ta vara på resurserna och producera avloppsslam av hög kvalitet för återanvändning i jordbruket.

2.1.1 Vattenkvalitet och reningsprocess

Vid bedömning av vattnets kvalitet utgår man ofta från koncentrationen av olika ämnen i vattnet [2]. Dessa får inte vara för höga då det kan påverka både miljön och människors hälsa negativt. För att kontrollera vattnet används därför olika vattenkvalitetsparametrar för lösta och olösta substanser. Substanser i vatten går att dela in i partiklar och lösta ämnen. Partiklar varierar i storlek, allt från mindre än en nanometer till ett par millimeter, och går att mäta genom att titta på vattnets grumlighet eller genom att filtrera partiklarna från vattnet och väga dem. Här skiljer man på total mängd partiklar TSS (Total Suspended Solids) och den organiska mängden partiklar VSS (Volatile Suspended Solids). Lösta ämnen går däremot inte att se i vattnet men påverkar fortfarande dess kvalitet och går att mäta genom att exempelvis titta på vattnets pH eller konduktivitet. Organiskt material i vatten förekommer både som partiklar och lösta ämnen och är föreningar som utgörs av kol och väte samt ofta syre eller kväve [10]. Trots att många organiska ämnen inte är giftiga i sig kan en hög koncentration i vatten påverka ekosystemet negativt. För att mäta mängden organiskt material i avloppsvatten används metoder som ger oss indirekta mått på innehållet av organiskt material, som till exempel BOD, COD, TOD och TOC.

Den vanligaste metoden för att mäta organiskt material i avloppsvatten är genom en analys av biokemisk syreförbrukning, så kallat BOD (Biochemical Oxygen Demand) [2]. BOD är ett mått på hur mycket syre per liter som krävs för nedbrytning av de biologiskt nedbrytbara organiska ämnena i vattnet. Mätningen görs vanligtvis över sju dagar och skrivs då BOD₇, och används som ett verktyg för att ta reda på mängden nedbrytbara biologiska substanser i en given mängd vatten angivet i milligram syrgas per liter. Ju mer biologiskt nedbrytbara ämnen desto snabbare förbrukas syret i vattnet. I Sverige har reningsverken krav på att de inte får släppa ut vatten med för högt BOD-värde, men olika reningsverk kan dock ha olika krav [11], [12].

En annan metod för att mäta mängden organiskt material i vatten är kemisk syreförbrukning COD (Chemical Oxygen Demand) [2]. COD är ett mått på mängden kemiskt

oxiderat material i vattnet där kemiskt oxidationsmedel används för att förbruka syret i vattnet. En uppskattning av energiinnehållet i avloppsvattnet kan göras med hjälp av COD [13]. Det lägsta energiinnehållet per gram COD kan enligt en studie antas vara 13-14 kJ/gCOD [13], men det kan också vara betydligt högre än så beroende på den kemiska sammansättningen av avloppsvattnet. COD i kommunalt avloppsvatten är generellt kring ca 100-450 mg/l [14]. TOD (Total Oxygen Demand) är den totala syreförbrukningen och TOC (Total Organic Carbon) är ett mått på totala mängden organiska kolföreningar i vattnet [15].

Reningsprocesserna ser olika ut vid olika reningsverk men går att dela upp i mekanisk, biologisk och kemisk rening [2]. Mekanisk rening avser de steg där material och partiklar avskiljs från vattnet och sker ofta med hjälp av rensgaller, filter och sedimenteringsbassänger. Biologisk rening använder mikroorganismer för att rena vattnet från framförallt kväve och organiska ämnen. De två primära metoderna är aktivt slam där mikroorganismerna lever i vattnet och biobäddar där de växer på en yta som vattnet rinner över [16], [17]. För att avskilja fosfor samt små partiklar och lösta ämnen som inte sedimenterar tillsätts fällningskemikalier i vattnet för att bilda fällningar som i sin tur kan sedimentera. Denna fällning är den kemiska reningsprocessen och den sker ofta i bassänger som sista steg innan vattnet släpps ut till recipienten [18], [19]. Alla processerna bildar slam som oftast blandas, men i vissa fall kan det finnas anledning att separera slammen från de olika processerna.

2.1.2 Avloppsslam

Avloppsslam, i detta arbete kallat slam, är en restprodukt från de olika reningsprocesserna bestående av material, bakterier och flockar som bildas när fällningskemikalier har tillsatts [20]. Slammet omhändertas och genomgår rötning för energiutvinning, där resterna blir en näringsrik produkt som kan användas i jordbruket. Slam innehåller näringsämnen som kväve och fosfor men kan även innehålla ämnen som är skadliga för människor och natur, till exempel läkemedelsrester, tungmetaller, perfluorerade och polyfluorerade ämnen [21].

Då innehållet i slam kan variera avsevärt har användningen av slam reglerats sedan 1989[22]. Exempelvis har Jordbruksverket ett krav på att gödsel får innehålla max 100g kadmium per ton fosfor, på grund av att kadmium har negativa effekter på njurfunktion och benstyrka [23], [22]. För nuvarande ses de största möjligheterna för slam vara som jordförbättring och gödsel inom jordbruket, då Sverige under perioden januari till september 2021 importerade naturligt och konstgjort gödsel till ett värde av drygt 5 miljarder kronor [24]. Naturligt gödsel är producerat eller utvunnet från jordbruk och natur, medan konstgjort gödsel tillverkas kemiskt. Tillförsel av specifikt fosfor och kväve år 2018 och 2019 låg på 30 800 ton respektive 210 640 ton via konst- och stallgödsel [25]. Jordbrukets nuvarande behov av gödsel skulle, enligt en undersökning från Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), kunna täckas upp till 45% av avloppslöpsutvinning om denna optimeras [26].

För att säkerställa att det slam som återförs till jordbruket är av bra kvalitet och inte innehåller oönskade ämnen används certifieringen REVAQ för de reningsverk som producerar slammet [27]. REVAQ är ett certifieringssystem som är utvecklat genom ett samarbete mellan Svenskt Vatten och berörda aktörer. Syftet med certifieringssystemet är att delvis kvalitetssäkra växtnäringen från avloppsreningen, men också att vara en drivkraft för

fortsatt utveckling av standarden på inkommande vatten till reningsverken och således även växtnäringen [28]. Dessutom bidrar certifieringen till att all information om slammet, både produktion och innehåll, förblir transparent för samtliga parter. Ansökan om certifiering sker skriftligen och de krav som behöver uppfyllas är fastställda av Svenskt Vatten, dessa specificeras årligen och publiceras på deras hemsida [27].

2.2 Ryaverket

2.2.1 Bakgrund

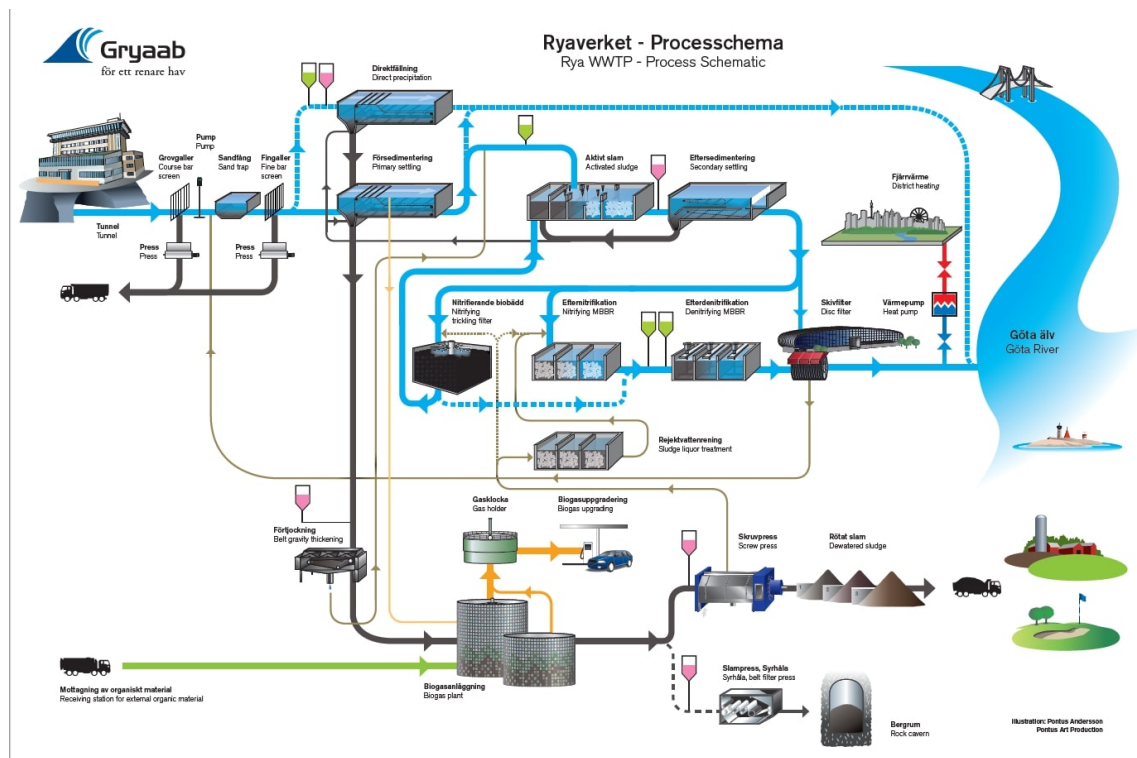
Gryaab AB är ett kommunalägt aktiebolag som ansvarar för reningen av avloppsvatten från drygt 800 000 personekvivalenter i kommunerna Ale, Göteborg, Härryda, Kungälv, Lerum, Mölndal och Partille [29]. Ryaverket är placerat på Hisingen i Göteborgs kommun och har renat avloppsvatten sedan verket sattes i drift år 1972. Syftet med Ryaverket är att rena avloppsvatten och det renade vattnet leds sedan via en tunnel ut till Göta älvs mynning. Avloppsvattnet som leds in till reningsverket tar inte enbart emot det vatten som används i duschen och toaletten, så kallat spillvatten, utan också tillskottsvatten, ett samlingsnamn för bland annat dag- och dricksvatten [30].

2.2.2 Nuvarande vattenreningsprocess

Avloppsvattenreningen på Gryaab består av tre delar; en mekanisk, kemisk samt biologisk rening genomförs i reningsverket innan vattnet återförs till Göta älv [29]. Reningsverket står på en liten yta och fler steg i reningsprocessen har adderats med åren vilket bidragit till ett idag komplext processschemat, vilket illustreras i figur 2.1.

Första reningssteget i Ryaverkets reningsprocess är en mekanisk avskiljning av stora och tunga partiklar [29]. Detta sker när avloppsvattnet passerar ett galler med 20 millimeter spaltvidd, ett sandfång där tyngre partiklar sedimenterar och sist ett finare galler med 2 millimeter spaltvidd. Det som renas här kallas grovrens och som man kan se i figur 2.1 tas detta rens inte om hand på plats, utan körs bort för att förbrännas. Vattnet förs efter detta vidare till försedimenteringsbasängar, där tyngre organiskt material sedimenterar till botten och även olja salmas upp från ytan. Både oljan och sedimentslammet förs härifrån till rötkammaren.

Då vattnet runnit igenom försedimenteringsbassängen påbörjas nästa reningssteg, biologisk rening. Denna är uppdelad i tre delar: nitrifikation, denitrifikation samt deammonifikation [29]. Vattnet förs till aktivslambassängar och har innan dess beblandats med ett koncentrat av bakterier och andra mikroorganismer, från eftersedimenteringen och recirkulerat vatten från biobäddarna. Vid normalflöde är vattnets uppehållstid i de tre aktivslambassängerna ungefär en och en halv timme. Den första halvan av varje bassäng är en så kallad oluftad zon för att tvinga bakterierna till respiration med det vattenlösta nitrattet istället för med syre, på så sätt omvandlas nitrattet till kvävgas som frigörs till atmosfären. Slam-vattenblandningen luftas sedan i den andra delen av bassängen, där bakterierna oxiderar de föroreningar som finns kvar med normal syre-respiration och använder som energi. Efterföljande steg är ytterligare en sedimentering, en eftersedimentering där



Figur 2.1: Processchema för Ryaverket [29]

det aktiva slammet separeras från det renade avloppsvattnet. Vid normala inflöden av avloppsvatten till reningsverket pumpas huvuddelen av det aktiva slammet åter till aktivslambassängerna och resterande mängd, de så kallade överskottsslammet, till inloppet av försedimenteringsbassängerna. Det renade vattnet leds delvis vidare till nästföljande efternitrifikation, men även till biobäddarna som en recirkulationsström. Ytterligare en möjlighet för det renade vattnet är att ledas till skivfilteranläggningen.

Efter den tidigare nämnda aktivslam processen sker ytterligare biologisk rening. Vattnet recirkuleras över biobäddar tillbaka till aktivslambassängerna. På så sätt omvandlas ammonium till nitrat och ännu mer kväve kan renas när vattnet rinner tillbaka till aktivslambassängerna [29]. Det vatten som inte recirkuleras förs vidare till efternitrifikation, efterdenitrifikation och till en avslutande filtrering eller direkt till filtreringen. Efternitrifikation och efterdenitrifikation producerar kvävgas från nitrat och ökar därmed ytterligare reningen av kväve [29]. För att effektivisera processen tillförs här även extern kolkälla i form av metanol och extra fosfor i form av fosforsyra. Innan vattnet nu leds ut ur verket, passerar det en skivfilterering. I detta steg sker en sista separation av suspenderade ämnen med hjälp av roterande filterklädda skivor med en maskvidd på 15 μm för att uppnå önskad vattenkvalitet [29]. Därefter passerar det renade vattnet Rya värmepumpverk där värme utvinns. Detta består av fyra värmepumpar, med en maximal värmeeffekt på 160 MW, som utvinns värme ur det renade avloppsvattnet [31]. När vattnet har uppnått kraven för att återföras till havet släpps det ut i Göta älv, vid Rya Nabbe.

När avloppsvattnet kommer in till Ryaverket innehåller det höga halter kväve och fosfor. Kvävet omvandlas främst till kvävgas vilket sker i den biologiska reningen, men för att få bort fosfor behöver avloppsvattnet även renas kemiskt [29]. Detta görs genom fällning, då

järnsulfat doseras till det försedimenterade vattnet. Tvåvärdigt järn oxideras till trevärdigt järn och järn(III)hydroxid bildas i den luftade delen av aktivslambassängerna. Samtidigt fälls järnfosfat ut, vilket inkorporeras i slammet.

Eftersom det inkommande vattnet till reningsverket, förutom avloppsvatten, även består av tillskottsvatten riskerar inflödet att bli väldigt stort vid höga mängder nederbörd. På Ryaverket är den förbileda vattenvolymen ungefär 4.4% av det totala årsflödet [29]. Vid höga inflöden försvåras reningsprocessen, då den maximala kapaciteten för aktivslamläggningen riskerar att överskridas och allt vatten då inte kan gå igenom hela processen. Detta problem har Gryaab löst genom förbiledning vid för stora vatteninflöden, så att vattnet efter försedimenteringen leds direkt till utloppstunneln. Detta visas i figur 2.1 med streckade linjer. För att ändå kunna rena förbilet vatten innan det återförs till havet används några av försedimenteringsbassängerna för direktfällning. Då tillsätts kemikalier, så som polyaluminiumklorider (PAC) och polymerer, i vattnet för flockbildning av fosfat som sedan sedimenterar. På så sätt genomgår även det vatten som förbileds en viss rening och en stor del av vattnets föroreningar sedimenteras innan det släpps ut i Göta älv.

2.2.3 Slamhantering

Det slam som sedimenterar i försedimenteringsbassängerna tas om hand och behandlas innan det är möjligt att utnyttja som gödsel inom jordbruket eller för jordtillverkning. Denna behandling sker i tre steg där slammet först förtjockas, sedan rötas och sist avvattnas [29]. I Ryaverkets process används fyra bandgravitationsförtjockare som förtjockar slammet till ett 4-8 procentigt torrslam. Rejektvattnet från denna del i slambehandlingen leds vidare till inloppet till aktivslambassängerna och genomgår resterande del av reningsprocessen.

Efter förtjockningen pumpas slammet vidare till rötkammaranläggningen, bestående av två stora och en liten rötkammare samt utrustning för energi- och gashantering [29]. De stora rötkamrarna har en volym på 11 400 m³ och håller en konstant slamnivå, medan nivån i den lilla kan variera och har en volym på 4 260 m³. De tre rötkamrarna arbetar i serie och den dimensionerade nominella uppehållstiden är ungefär 20 dygn. Slammet pumpas först till en av de stora kamrarna, som värms till 35°C med cirkulation genom en värmeväxlare där slammet blir uppvärmt av varmvatten. Vattnet som används kommer från kompressorerna till aktivslamläggningen samt från fjärrvärme. Ingen av de två sista rötkamrarna är externt uppvärma, utan värms från det redan varma slammet som blandas med omrörare och cirkulationspumpar i kamrarna.

Från den sista rötkammaren i serien pumpas slammet till efterföljande avvattningssteg där polymer (konditionering) tillsätts till slammet som sedan går igenom en av Ryaverkets fyra slamskruvpressar och avvattnas till en torrslam-halt på 25-30% [29]. Rejektvattnet, det vill säga det vatten som extraheras från slammet, filtreras och leds sedan till efternitifikationen eller till biobäddarna. Den biogas som producerats i kamrarna tryckhålls i ett gassystem som leds vidare till Göteborgs Energi, den är dessutom certifierad enligt International Sustainability Carbon Certification (ISCC) vilket innebär att biogasen uppfyller de krav som finns för EU:s direktiv om främjande av användning av energi från förnyelsebara energikällor [32]. Gryaab visar med denna certifiering av de har en hållbar produktion

av biogas och möjliggör för hela leverantörskedjan att mäta dess miljöpåverkan.

Sedan 2009 är Gryaab AB och deras reningsverk Ryaverket certifierade enligt REVAQ och ska möta de krav och regler som certifieringen innebär angående slam och dess hantering [33]. I Gryaab's hållbarhetsredovisning för år 2021 presenteras det att 54 124 ton avloppsslam producerades på Ryaverket år 2021, varav 44 072 ton uppfyllde REVAQs krav [32]. Gryaab's mål för året vara att godkänna 60% av slammet enligt REVAQ, men detta mål överstegs och resultatet år 2021 var att 81 % av avloppsslammet kunde användas som gödsel [32]. Slamproduktionen år 2020 var annorlunda fördelad, med 24 045 ton REVAQ-godkänt slam av totalproduktionen på 52 766 ton [32].

2.3 RecoLab

2.3.1 Bakgrund

RecoLab är en nystartad reningsanläggning som ligger i den nybyggda stadsdelen Oceanhamnen Helsingborg, i anslutning till det större avloppsreningsverket Öresundsverket. RecoLab invigdes 5 maj 2021 och består av en utvecklingsanläggning, där själva reningen utförs, samt en testbädd och en utställningshall. Namnet RecoLab kommer från engelskans *Recovery Lab*, och syftar till projektets mål med att återvinna resurser som finns i avloppsvattnet [34]. RecoLab är ett samarbete mellan Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA), Öresundskraft, Nordvästra Skånes Rening (NSR) och Helsingborgs stad [35], och är bland annat finansierat av Vinnova, Sveriges innovationsmyndighet. Det är även en del av det europeiska projektet Run4Life, som finansieras av EU Horizon 2020 Research and Innovation programme. Oceanhamnen är en del av stadsförnyelseprojektet H+ [34] i Helsingborg. Området är byggt på ett innovativt sätt och använder sig av ett unikt avloppssystem som kallas för Tre rör ut.

2.3.2 Tre rör ut

Tre rör ut är det avloppssystem som används i bostäder och andra byggnader i Oceanhamnen, där allt avloppsvatten har delats upp i tre rör istället för att transporteras via ett [36]. Flödena i de tre rören är uppdelade i grävatten från handfat, tvätt och dusch, svartvatten från toaletter samt matavfall från en avfallskvarn i köksvasken.

Källsortering av avloppsvatten är ett relativt nytt och unikt system [7] som har visats ha potential att öka mängden näringsämnen som återvinns i ren form. I Oceanhamnen kunde det källsorterande systemet implementeras i och med att både stadsdelen och reningsanläggningen byggdes samtidigt och i nära anslutning till varandra från grunden [37].

Genom detta system finns potential att utvinna 60-70% mer biogas än konventionella reningsverk [38] och även en högre grad av näringsåtervinning både vad det gäller fosfor (P) och kväve (N). Även värmeutvinningen blir effektivare [7]. En ytterligare aspekt i projektet är att det finns ett steg för läkemedelsrening [39], vilket är fördelaktigt ur ett miljöperspektiv då läkemedelsämnen ofta är svåra att bryta ned.

I och med att avloppsvattnet är uppdelat i tre rör istället för ett, som konventionella system brukar ha, blir vissa ändringar i bostaden nödvändiga [34]. I Oceanhamnen har samtliga bostäder vakuumtoalett och köksavfallskvarn. Att bo i en lägenhet med tre rör innebär endast en liten omställning mot att bo i ett bostad med det klassiska systemet med endast ett rör [34].

2.3.3 Nuvarande process: utvecklingsanläggningen

Till utvecklingsanläggningen på RecoLab kommer gråvatten, svartvatten samt matavfall i separata rör [40],[36]. Maxkapaciteten för anläggningen är 2 000 personekvivalenter.

Gråvattnet leds först till en uppsamlingstank på 80 m^3 [40], som består av en övertäckt betongtank. Därefter leds det vidare och renas från framförallt kväve, fosfor och organiskt material med hjälp av mikrober. Detta sker både aerobt i en betongtank med lufttillförsel och anaerobt i en lufttät ståltank. Vid behov sker sedan kemisk rening genom fällning med järnklorid. Efter dessa reningssteg filtreras vattnet genom ett trumfilter följt av ett nanofilter som filtrerar bort allt större än tvåvärda joner när vattnet pressas igenom [40]. Det gör att läkemedelsrester och dylikt samlas upp av filtret och kan skickas vidare till ozonering, där de slås sönder till komponenter som kan renas biologiskt. Dessa rester leds tillbaka till början av reningen, och det filtrerade vattnet går till en värmeväxlare som tar vara på dess värmeenergi för att värma upp röt-kammarna i svartvatten- och matavfallsreningen. Det renade vattnet är av dricksvattenkvalitet när hela processen är slutförd [40], vattnet är dock inte livsmedelsklassat och får därmed inte användas som dricksvatten.

Svartvattnet från toaletterna samlas upp i en mindre tank på 10 m^3 och går sedan till en röt-kammare med temperaturen 37°C [40]. Där bryts materialet ned under 7 dagar av diverse mikroorganismer som under tiden bildar biogas. Delar av materialet sedimenterar under processens gång och det bildas ett vätskelager ovanpå. Vätskan tappas av och leds vidare till nästa steg, där fosfor utvinns genom extraktion av struvit. Genom struvitextraktion kan fosfor utvinnas i den mer växttillgängliga formen fosfat [41], [42]. Struvit är ett svårslösligt salt som bildas då magnesiumklorid och ammonium reagerar med fosfat, och saltkristallerna kan därefter avskiljas och användas som gödningsmedel [41]. Utvinningen kräver höga halter av ammonium, som finns i vätskefasen från röt-kammare [42].

Det mesta av kvävet i avloppsvattnet är i form av ammonium, NH_4^+ , som behöver omvandlas till ammoniak för att övergå till gasform och kunna utvinnas ur vattnet. Detta kan göras med en ammoniakstripper genom att höja pH-värdet med en stark bas [42], som till exempel natriumhydroxid. Ammonium övergår då till ammoniak i gasform, som kan blandas med svavelsyra för att bilda ammoniumsulfat som går att använda som gödningsmedel [42]. På RecoLab går restvattnet från struvitextraktionen vidare till en ammoniakstripper, och leds därefter till gråvattenkammaren för rening av exempelvis läkemedelsrester. De två produkterna ammoniumsulfat och struvit kan pelletteras och användas som biogödsel [40]. Även vatten från matavfalllets röt-kammare ingår i struvit- och ammoniakutvinningen.

Matavfallet samlas också upp i en tank på 10 m^3 [40], för att sedan föras över till tre pastöriseringstankar. Där sker neutralisering av patogena organismer genom upphettning till 70°C i en timme. Därefter går materialet vidare till en röt-kammare, och följer sedan

samma process som svartvattnet. Slammet i botten av rötkamrarna kan vid storskalig produktion certifieras och användas på åkermark, och skickas i nuläget till Öresundsverket som är REVAQ-certifierade [36] och har en tillräckligt storskalig process för att slamhanteringen ska vara lönsam.

RecoLab är inte byggt för att ta emot dagvatten, vilket i samband med vakuumtoaletterna minskar vattenmängden i systemet markant. Det möjliggör att hela processen kan ske i ett och samma rum på ca 100 kvm. Då RecoLab fortfarande saknar certifieringar skickas allt slam samt renat vatten till närliggande Öresundsverket för att gå igenom deras system och godkännas [40],[36]. Öresundsverkets process är uppbyggd som ett konventionellt reningsverk likt Ryaverket.

3 Metod

I detta avsnitt beskrivs vilka metoder som använts i studien. De utvalda reningsverken, Ryaverket i Göteborg och RecoLab i Helsingborg, användes för att jämföra hur ett källsorterat flöde påverkar resursåtervinningen för ett reningsverk. Även andra metoder och reningsverk undersöktes och inkluderades i rapporten där det ansågs passande för att underbygga resultatet.

Grunden till arbetet bestod av en litteraturstudie, intervjuer, studiebesök samt massbalansberäkningar med data från de två reningsverken. Utifrån detta utvecklades en kretsloppsmodell för ett möjligt framtida kretslopp, som senare användes som grund för en diskussion kring hur genomförbara de olika lösningarna är både ur ett miljö- och ett hållbarhetsperspektiv. Även ekonomiska faktorer togs i hänsyn för diskussionen.

3.1 Litteraturstudie

För att besvara frågeställningarna och få en grundläggande kunskap om ämnet genomfördes en litteraturstudie kring hur rening- och återvinningsprocesser går till idag, vilka regelverk som finns samt vilka forskningsprojekt som är framstående inom området. Litteraturstudien har genomförts med hjälp av vetenskapliga artiklar samt kommunala och statliga rapporter. Samtliga källor har utvärderats efter trovärdighet och objektivitet.

Sökord som använts är: avloppsslam, slamhantering, kväveutvinning, källsorterande avlopp.

3.2 Intervjuer & studiebesök

I syfte att få bredare kunskap om reningsverken samt undersöka vilka framtidsutsikter som finns bland verksamma personer inom branschen genomfördes både intervjuer samt studiebesök. Även frågor angående förbättringsmöjligheter i resursutvinningsprocessen ingick vid både intervjuer och studiebesök. Flera personer med expertis inom aktuellt område intervjuades, och studiebesök på de utvalda reningsverken Ryaverket och RecoLab genomfördes. Intervjutekniken som användes var semistrukturerad vilket innebär att ett intervjuunderlag med både gemensamma och specifika frågor förbereddes inför varje intervju, men att ordning och exakt formulering av frågorna kunde anpassas under intervjuens gång [43]. Dessutom kunde följdfrågor som inte ingick i underlaget ställas, vilket gjorde att samtalet tilläts flöda mer naturligt och att svar som inte hade täckts in av de förberedda frågorna kunde inkluderas som ett sätt att fördjupa intervjun.

Detaljer för intervjuerna presenteras i tabell 3.1 nedan. Tabellen innefattar datum för intervjun, namn och arbetstitel för personerna som intervjuats, vilket reningsverk och företag de representerar samt appendix för intervjuunderlaget. Vid samtliga intervjuer tillfrågades de intervjuade om tillstånd att nämna dem vid namn i rapporten, vilket godkändes av alla respondenter. Kontakt med intervjurespondenterna förmedlades genom Oskar Modin, handledaren för kandidatarbetet. Samtliga respondenter arbetar inom VA-branschen med utveckling och är därmed väl insatta i frågor om näringsutvinning, vilket gör dem

relevanta för denna studie. Resultatet från intervjustudien presenteras i två avsnitt, ett där framtidsvisionerna för Ryaverket och RecoLab presenteras utifrån intervjuerna med Maria Neth och Amanda Widén. Sedan följer ett avsnitt som innefattar samtliga fyra respondenter och behandlar den generella framtidsutsikten inom avloppsvattenrening.

Tabell 3.1: Tabell över genomförda intervjuer samt hänvisning till använt intervjuunderlag

Datum	Namn	Yrkestitel	Reningsverk	Appendix
3 mars 2022	Maria Neth	Industridoktorand	Ryaverket, Gryaab AB	A1
25 mars 2022	Liselotte Stålhandske	Utvecklingsstrateg	Hässleholm Miljö AB	A3
28 mars 2022	Amanda Widén	Utvecklingsingenjör	RecoLab, NSVA	A2
8 april 2022	Fredrik Christensson	Strategisk utvecklare	Laholmsbuktens VA	A3

Detaljer för studiebesök presenteras i tabell 3.2 nedan. Tabellen innefattar datum för besöket, vilket reningsverk och företag som besöktes samt namn och titel på kontaktpersonen.

Tabell 3.2: Tabell över genomförda studiebesök

Datum	Reningsverk	Företag	Yrkestitel på kontaktperson
17 februari 2022	Ryaverket	Gryaab AB	Utvecklingsingenjör
8 mars 2022	RecoLab	NSVA	Verksamhetsutvecklare

3.3 Teknisk jämförelse

För beräkningar av reningsgraden av vattnet användes mätvärden från in och utflödet från reningsverket i fråga. En procentuell reningsgrad beräknas utifrån mängden av näringsämnen (kväve, fosfor, BOD7, COD och ammoniak) som är kvar i det utgående vattnet delat på motsvarande mängd i det ingående vattnet. Ett flertal mätpunkter samt data på flödes hastighet, totalvolym och temperatur analyserades för att kunna dra slutsatser om vad som påverkar reningsgraden. Eftersom vissa reningsmetoder innefattar att näringsämnena omvandlas till luftburna ämnen (kvävgas och koldioxid), kan inte den återvunna mängden kväve och kol bestämmas utifrån massbalansen. För att kunna approximera mängden kväve som återvinns används en uppskattning från Gryaab, att 20% av det renade kvävet återfinns i slammet [29].

Energiinnehållet i inloppen uppskattades även med hjälp av COD, enligt uppskattningen på 13-14 kJ/gCOD [13]. Medelvärdet 13.5 kJ/gCOD användes i beräkningarna. Mätningar på COD och medelflöde per dygn hämtades ifrån Gryaabs miljörapport samt insamlad data från RecoLab. Även medelvärde på BOD7 i g/m³ som använts i beräkningen av personekvivalenter för RecoLab är hämtat från den insamlad datan från RecoLab. Nyckeltalet för det BOD7 som motsvarar en personekvivalent är 25,5 kg BOD7/pe per år eller 70 g BOD7/pe per dag [44],[45].

Samtlig data som använts i den tekniska jämförelsen har samlats in från respektive reningsverks egna mätningar, samt viss ytterlig data från litteratur och intervjuer. Datan

från Ryaverket innefattar in- och utflöde för de olika ämnena under en treårsperiod, 2015-2017, och motsvarande från RecoLab under nio månader mellan år 2021 och 2022. Vid beräkningar för RecoLabs utvinningsgrader av de olika näringsämnena antogs processen vara konstant och därför användes medelvärde för alla beräkningar. Beräkningarna tar andelen utgående näringsämnen dividerat med ingående ämnen. Alla ingående ämnen som inte återfinns i någon av produkterna från struvitextraktionen och ammoniakstrippern, eller i det utgående vattnet, antas vara kvar i slammet. Detta antagande är inte helt korrekt, men det saknas data för att kunna beräkna läckage eller förluster via produktion av kvävgas. Beräkningar utfördes i programmen *Matlab* och *Excel*.

3.4 Kretsloppsmodell

Utifrån resultaten för de två reningsverken och litteraturstudien om alternativa reningsmetoder illustrerades ett kretslopp för vardera resurs kväve, fosfor och kol. Kretsloppsmodellen inkluderar näringsämnets väg både innan och efter reningsverket. Vid steg som ger två eller fler produkter anges, om möjligt, andelen av respektive produkt som producerats. För Ryaverket användes årsmedelvärden från 2020 [29] och för Recolab används samma data som för massbalansen. Modellen skapades med programmet *Creately*.

4 Resultat

I detta kapitel behandlas resultatet från intervjustudien och ett avsnitt där några alternativa avloppsvattenreningsmetoder tas upp inkluderas. Dessutom presenteras en teknisk jämförelse mellan de två reningsverken utifrån data på in-och utflöde från respektive reningsverk. Ett ytterligare avsnitt redovisar tre cirkulära kretsloppsmodeller för de tre näringämnenen kol, fosfor och kväve med utgångspunkt i det övriga resultatet.

4.1 Intervjustudie

4.1.1 Framtidsutsikter Gryaab

Gryaab AB genomför en stor förändring och har planlagt invigning av en ny anläggning, Nya Rya, år 2036. Enligt industridoktorand Maria Neth ska denna anläggning inte ersätta det befintliga avloppsreningsverket utan fungera som ett komplement för att de nya anläggningarna tillsammans ska kunna ta emot de förväntade högre vattenvolymererna samt klara de framtida miljökraven. För att göra aktiva val beträffande hållbarhet har Neth varit delaktig i utvecklingen av ett hållbarhetsverktyg som kan användas vid jämförelse av alternativ. Dessutom uppger hon i intervjun att mycket fokus läggs på framtiden, bland annat genom ett projekt där olika framtidsscenarioer för år 2030, 2050 och 2070 utvecklades. Då tittade de specifikt på antalet människor i kommunerna samt hur de kommer leva och äta för att kunna förutspå vad vattnet kommer innehålla och vilken rening som kommer krävas. Anledningen till att många år tas i beaktande är för att *“Det är viktigt när man tittar på sådana här system eftersom de är verksamma en väldigt lång tid, så man måste ha ett långt perspektiv”* berättar hon.

Vidare berättar Neth att resultatet från projektet samt hållbarhetsverktyget har varit viktiga stöd i planeringen för Nya Rya, där olika aspekter tagits hänsyn till för att anläggningen ska bli något som är både miljömässigt, socialt och ekonomiskt fördelaktigt. *“Grunden är att kunna leverera den reningen som vi behöver ha utifrån vad vi tror att kraven kommer vara på utgående vatten, för de har blivit tuffare hela tiden och man kommer fortsätta vilja ha ett ännu renare vatten”* nämner hon. Även klimatpåverkan och cirkularitet av resurser spelar in i beslutet kring vilka reningsprocesser som är aktuella i det nya reningsverket.

Vid intervjutillfället uppges det finnas tre huvudsakliga processer som är aktuella. Neth berättar att dessa processer är aktivt slam, membranläggning samt en anläggning med aerobt granulärt slam (AGS). Aktivt slam beskriver hon som en process som har funnits väldigt länge, är väldigt stabil och finns på det existerande Ryaverket. En membranläggning uppges leverera väldigt låga utgående halter, men kräver en del energi och kemikalier. Det tredje alternativet som Neth berättar undersöks till Nya Rya är en AGS-anläggning, som är det allra nyaste av de tre alternativen och som det ännu finns få storskaliga exempel på. Enligt Neth är det dessa alternativ som gäller för den huvudsakliga processen, men att de kan komma att lägga till delar som gör reningen mer resurseffektiv. Ett exempel på detta, som tas upp under intervjun, är att bli ännu bättre på att nyttja kolet i vattnet till denitrifikationen, att man producerar sin egen kolkälla. Neth berättar att metanol i dagsläget tillsätts till denitrifikationen på Ryaverket, vilket är något man i framtiden hoppas kunna minimera och istället kunna utnyttja kolet från det inkommande vattnet.

Ytterligare förbättringspotential för resursutnyttjande på Ryaverket diskuterades under intervjun och Neth nämner att man undersöker möjligheten för användandet av utloppsvattnet, som idag enbart släpps ut i Göta Älv. Hon berättar att batteriföretaget Northvolt som ska bygga en fabrik i Göterbogsområdet varit i kontakt med Gryaab för att förhoppningsvis låta utloppsvattnet vidareledas till fabriken. Detta för att användas som kylvatten i en sluten slinga och därmed minska användandet av nya resurser.

Förutom att fokusera på utvecklingen av den nya anläggningen sker också vidareutveckling av den befintliga anläggningen. Neth beskriver att en av de största begränsningarna för Gryaab är de stora variationerna i inkommande vattenflöde. Förutom att det ibland blir väldigt mycket vatten att behandla innebär det också att koncentrationen av resurser i vattnet varierar mycket. Detta är en stor utmaning för Göteborg och även om man inser att det skulle vara bättre att bli av med en stor del av tillskottsvattnet så är det både väldigt dyrt och komplicerat och göra om systemet. I intervjun uppger Neth att en annan industridoktorand arbetar med att ta fram ett beslutsstöd som tittar på olika insatser för att minska tillskottsvattnet till Ryaverket för att hitta en hållbar nivå, vilket är viktigt för framtiden.

4.1.2 Framtidsutsikter RecoLab

Den övergripande tanken med RecoLab, enligt utvecklingsingenjör Amanda Widén, är att ställa om från att ses som ett reningsverk till att vara ett resursverk, vilket enligt henne är något som hela branschen strävar mot. Från studiebesöket diskuterades det även om att det tillhörande showroomet ska användas som mötelokal för att katalysera branschöverskridande samhällsförändring och på så vis utveckla bilden av vad reningsverk kan och just nu gör för samhället. Hon fortsätter dock med att de tekniker som används på RecoLab inte är unika eller nya, utan att de fick använda sig av det som fanns på marknaden vid upphandlingen. Det som är unikt är snarare sammansättningen och kombinationen av de tekniker som används, och att målet vid sammansättningen av dem var att maximera resursutvinningen. Som Widén uttrycker det: *“Det som är lite obeprövat, det är ju att vi både har källsorterat avlopp och sen att vi har den här kombinationen av de här teknikerna. Att vi verkligen har försökt maximera återvinning av resurser.”* Hon fortsätter med att de hela tiden undersöker möjligheterna att förbättra processen genom att göra små ändringar i systemet, som till exempel nanofiltreringen som har lagts till i efterhand. De har även kontakt med liknande projekt i Europa och utbyter erfarenhet med dessa.

RecoLabs huvudsakliga produkter är fosfor i form av struvit, kväve i form av ammoniumsulfat, samt rent vatten. Vid studiebesöket uppgavs att 80% av det inkommande gråvattnet når dricksvattenkvalitet i slutändan. Enligt Widén kan RecoLab utvinna 3 gånger så mycket fosfor och 7 gånger så mycket kväve som ett konventionellt reningsverk, då en större del av kvävet passerar röt-kammaren. Fosforökningen beror enligt Widén på att fosfor även utvinns ur vattenfasen och inte bara finns i slammet, samtidigt som även fosfor i slammet används då slammet skickas till Öresundsverket för certifiering. Under studiebesöket framgick det att tanken med det utvunna kvävet och fosfor var att skapa pellets som då kunde användas som gödning för jordbruk, en process som dock inte är i drift än. I dagsläget är matavfallet i för liten mängd för att det ska vara ekonomiskt lönsamt att avvattna det och göra till biogödsel.

Vid studiebesöket framgick det även att RecoLab jobbar mot att få livsmedelklassning på det nanofiltrerade gråvattnet, eftersom det har dricksvattenkvalitet när det har genomgått hela processen. Ifall detta inte är möjligt är förhoppningen att kunna använda vattnet i fontäner, till bevattning eller till simhallen som ska byggas i närheten. Även värmen från gråvattnet skulle kunna användas till att värma upp simhallen.

På frågan om det finns några nya metoder som de överväger att implementera i framtiden nämner Widén att en passiv filterlösning för lokal gråvattenrening, något som i så fall skulle byggas en pilotanläggning för att testa. Hon tar även upp indunstning som alternativ till näringsåtervinningen i form av pellets. Då skulle produkten istället bli en näringslösning som skulle kunna gå att sälja som konsumentvara istället för att riktas mot lantbruk.

När det gäller frågan om framtidsutsikter för källsorterade avloppssystem så uttrycker Widén att de inte nödvändigtvis är så att källsortering är rätt för alla framtida avloppssystem, men att det är ytterligare ett verktyg att använda där förutsättningarna är gynnsamma. Som exempel tar hon upp ett område i Helsingborg där det finns planer på att bygga nya bostäder för ungefär 10 000 personer och där det har diskuterats ifall dessa ska ha ett liknande system som i Oceanhamnen. Detta då avloppsledningsnätet ut till området redan är högt belastat och att det inte finns tillräcklig kapacitet för att utöka flödet i befintliga ledningar. Nya ledningar skulle därmed behöva grävas ned tvärs över staden. Alternativet att bygga ett lokalt reningsverk i anslutning till den nya stadsdelen blir därmed ett gångbart förslag, enligt Widén. På frågan om vad som är deras största begränsningar i nuläget svarar Widén att mycket är tekniskt möjligt, men det handlar också om ifall det är rimligt. Till exempel skulle det förmodligen vara tekniskt möjligt att bygga om hela Helsingborgs avloppssystem till tre rör, men frågan är ifall det skulle vara en rimlig investering som är värd kostnaden.

Vidare berättar Widén att det förs en diskussion kring om det finns delar av de tekniker som används på RecoLab som kan lämpa sig på befintliga reningsverk i större skala. Hon tar upp struvitutvinning ur rejektvatten från rötkamrar som ett exempel, vilket både skulle öka fosforutvinningen och underlätta reningen av fosfor i ett senare stadie, vilket är en hög belastning på de flesta reningsprocesser i dagsläget. Även nanofiltrering diskuteras om det skulle vara möjligt att applicera i större skala, särskilt ifall kraven på läkemedelsrening skärps. Då skulle även vattnet som släpps ut vara av mycket hög kvalitet och potentiellt kunna återanvändas, vilket är något som RecoLab undersöker själva i nuläget. Förslag till användningsområden som tagits upp, enligt Widén, är till exempel parkbevattning, fontäner, simhallar och dricksvatten. Dessutom används en del spolvatten internt på RecoLab, vilket Widén menar skulle kunna gå att bli självförsörjande på genom att använda återvunnet renat vatten istället för dricksvatten. Återigen är detta ett område där Widén uttrycker att tanken med RecoLab blir att gå före och se vad som skulle krävas för att ställa om. Hon påpekar att målet för alla reningsverk är att göra nytta för sitt närsamhälle, och för RecoLab innebär det att hitta verktyg som kan appliceras på de större reningsverken för att förbättra den nationella nivån på rening och utvinning. På frågan om det är något som just nu hindrar deras utveckling svarar hon att i deras fall är det just tid som är begränsande, då mycket av tiden läggs på att söka tillstånd och certifieringar för t.ex. dricksvatten.

4.1.3 Framtidsutsikter från några inom branschen

Svaren från intervjuerna var generellt sett att utvecklingspotentialen för resursutvinning från avloppsvatten är stor och att det finns stora möjligheter att förbättra reningsprocessen. Enligt industridoktoranden Maria Neth på Gryaab är en av de viktigaste aspekterna för framtiden att tänka på helhetsperspektivet, att det viktiga är att satsa på de insatser som är mest värda totalt sätt.

En återkommande idé från flera av intervjupersonerna är att använda mer av det kolet som finns i det inkommande vattnet till denitrifikationen. På så sätt blir reningsverken mer cirkulära och resurseffektiva då behovet av extern kolkälla minskar. När det kommer till utgående kol, anser den strategiske utvecklaren Fredrik Christensson på Laholmbuktens VA, samt resterande intervjupersoner, att det kolrika slammet bör fortsätta spridas på åkermarker.

Både Neth och Liselotte Stålhandske, utvecklingsstrateg på Hässleholm Miljö AB, är överens om att kväve är en stor onyttjad resurs i dagens reningsprocesser. Detta tar även Amanda Widén upp, utvecklingsingenjör på RecoLab, som håller med om att detta är något som är intressant att forska vidare. Stålhandske tar upp att en möjlig lösning är att använda rejektvattnet som kvävegödslingsmedel, istället för att återigen låta det renas i reningsprocessen. Detta på grund av att rejektvatten innehåller mycket ammoniumkväve, vilket är precis vad man vill ha på åkermarker. Eftersom det är så energiintensivt att tillverka kväve-konstgödsel hade det varit en bra cirkulär lösning att fånga upp det kväve som idag frigörs till luften. Christensson påpekar även att det bildas lustgas i den aktiva slamprocessen som används på de flesta större reningsverk. Lustgas är en kraftig växthusgas och Christensson anser att den är det största hindret för Laholms reningsverk att bli koldioxidneutrala. Om kvävet återvinns bättre skulle växthusgasutsläppen minska, samtidigt som gödselproduktionen ökar.

Något som skiljer reningsverket i Hässleholm från de andra reningsverken rapporten inkluderar är att de använder sig av en anlagd våtmark som efterföljande steg efter reningen. Stålhandske säger *“Vi skickar ut vattnet i en våtmark för partikelavskiljning och lite extra kväverening på sommaren, men den upptar också lite fosfor”*. Dessutom uppger hon att det pågår studier kring våtmarkens reducering av läkemedel, vilket visar på en stor potential och stämmer överens med Christenssons tidigare citat. Vidare belyser Stålhandske också vikten av våtmarken för den biologiska mångfalden och att *“det [våtmarken, reds. anm.] är en väldigt bra mötesplats just mellan samhället och vår verksamhet”*. Att använda våtmarker ser även Neth som en framtida möjlighet inom avloppsvattenrening, men säger också att *“Det kan man inte ha storskaligt på samma sätt, men om man ska hitta en lösning för ett mindre ställe så kanske det kan vara ett bra alternativ”*.

En utvecklingsmöjlighet som återkommande presenteras i intervjuerna är att minska vattenanvändningen genom att återanvända gråvattnet, det vatten som används i bad, tvätt och disk. Neth nämner att det finns förslag på att man bland annat kan ändra systemet så att duschvattnet kan användas som spolvatten, på så sätt minskas dricksvattenanvändningen i toaletterna. Dessutom är flera av de intervjuade överens om att en möjlighet är att återanvända vattnet inom ett hushåll istället för att behöva bygga om hela avloppsnätet. Ett exempel som tas upp är att använda duschar som cirkulerar och renar vattnet för att minska flödet till reningsverken. Problemet med det höga inflödet är inte bara något

som Gryaab nämnt under studiebesök och intervju, utan även Widén anser att reningen blir lättare att genomföra med lägre mängder vatten som kommer till verken. Ytterligare ett förslag som kom upp var att återanvända utloppsvattnet, då detta är en resurs som är nästintill oanvänd på de reningsverk rapporten inkluderat. Möjliga användningsområden som intervjupersonerna tagit upp är bevattning, kyl- eller värmevatten i slutna slingor, i fontäner eller för ytterligare rening för att i förlängningen livsmedelsgodkänna vattnet som dricksvatten.

Vidare är flera av de intervjuade överens om att kraven på reningen framöver kommer bli mycket hårdare, likaså kraven på slamminnehållet. Detta lyfts fram som en stor bidragande faktor till utvecklingen inom området, som troligtvis kommer vara ett incitament för förändring. Bland annat är flera av de intervjuade överens om att det kommer ske en stor förändring inom läkemedelsrening framöver, då detta förmodligen kommer kravsättas och tvinga reningsverken till utveckling. Widén tar dock upp att innovationen delvis hämmas av att reningsverk är statligt eller kommunalt ägda, då det inte finns någon direkt marknadskonkurrens eller drivkraft. Däremot är de förväntade högre kraven något som hon ser som en potentiellt stor drivande faktor till utvecklingen inom resursutvinning från avloppsvatten, som dessutom uppger att om reningsverk blir en mer attraktiv arbetsplats kommer detta främja såväl förändringen som utvecklingen.

En annan aspekt som Widén belyser är vad resurserna som utvinns ska användas till. *“Det är ju en sak att utvinna dem [resurserna, reds. anm.] och ta fram dem och så, men det är en annan sak att de faktiskt kommer tillbaka till samhället och gör nytta”*, säger Widén. För att innehållet i avloppsvattnet ska vara en resurs behöver det vara värt att utvinna dem, det vill säga att processerna inte kostar mer än värdet på det som utvinns, berättar hon. I det fallet har RecoLab en fördel i och med att inloppet är mer koncentrerat. I intervjun med Widén sa hon följande: *“De här resurserna, som vi återvinner, har i mångt och mycket skulle jag säga generellt ganska dåligt värde rent ekonomiskt som det ser ut nu. [...] vilket gör att kostnader som hamnar på processen kan vi inte ta igen genom att sälja produkter som det är idag.”* Som exempel tar hon upp biogas, en resurs som inte har satsats så mycket på de senaste 10 åren men som enligt Widén har stor potential och där efterfrågan förhoppningsvis kommer att öka framöver.

På frågan om vilket intervjupersonerna ser som det mest framstående verket i Sverige idag svarar många att RecoLab har stor potential, dock är de samtidigt överens om att omställningen till samhällen med tre rör istället för ett är komplicerad att genomföra. Ytterligare verk som anses arbeta mot framtiden är Österlen, som har nollutsläpp till sin recipient som mål och att allt vatten ska återcirkuleras. Även Simrishamn nämns, som Stålhandske anser vara ett framstående verk just för att deras satsning på framförallt läkemedelsrening är så stor. Neth rekommenderar inget specifikt reningsverk men säger att det oftast är mer resurseffektivt med större reningsverk än flera små, det vill säga att centraliserade system överväger decentraliserade. Detta är även något som Widén tar upp, då hon berättar att processerna på RecoLab blir dyrare eftersom de sker i så pass liten skala och inte har de skalfördelar som större reningsverk har. Christensson tycker däremot att småskalig cirkulär verksamhet fortfarande har sin plats i samhället. *“Lika väl som att prata off-grid i energisammanhang kan man prata off-grid i avloppsvattenhantering också.”*

4.2 Alternativa metoder för resursutvinning

Detta avsnitt behandlar alternativa reningsprocesser och metoder som är relevanta för resursutvinning från avloppsvatten. Tre tekniker för utvinning av kväve och fosfor presenteras och teknikernas aktuella reningsgrader visas i tabell 4.1.

Hydroponisk odling är odling där växterna växer i en näringsrik vätska i en kontrollerad miljö, vilket visat sig vara mer produktivt och snabbare än konventionell odling [46]. Denna odlingsmetod kan bland annat genomföras i avloppsvatten, som innehåller många av de näringsämnen som grödorna behöver för att växa. Detta är en bra metod för att bruka vattnet och återföra näringsämnena till växter, samtidigt som avloppsvattnet renas från dem. Ett experiment där sallad odlades i avloppsvatten visade reningsgrader för kväve, fosfor, COD och BOD på 80, 77, 86 respektive 87 procent. Förutom att utvinna näringsämnena från vattnet, bidrar denna odlingsmetod också till att mindre mängder gödsel används. Det kan dock argumenteras emot konventionella odlingsalternativ utomhus med resonemanget att artificiellt ljus krävs för att odlingen ska vara effektiv.

Ytterligare en metod för att utvinna mer resurser ur avloppsvatten är att minska utspädningen av det näringsrika urinet. Detta kan göras med hjälp av så kallad urinseparation, där speciella toaletter används för att möjliggöra uppsamlingen av urin [47]. Urinet kan sedan torkas och från det pulver som bildas kan näringsrika pellets produceras, som sedan kan användas i jordbruket som gödsel. Urin innehåller mycket näringsämnen, däribland kväve, fosfor och kalium, och kan därför ersätta nuvarande gödningsmedel. Det finns olika metoder för att separera urinet, däribland urinseparationstoaletter som automatiskt torkar urinet. Alternativt kan ett separat rör användas som leder urinet till en tank där det sedan kan processas. Urinseparation är ett stort forskningsområde och det återstår att tillämpa metoden i det urbana samhället. Metoden möter dock ett visst motstånd, eftersom transformationen till användning av mänskligt urin för odling är inte helt accepterat av hela befolkningen.

En metod som är mer fokuserad på vattenrening är användandet av ett nanoporöst kiseldioxid-material för adsorption av framförallt kväve och fosfor [48]. Detta material är ett bra adsorptionsmaterial då det har en stor ytaarea, justerbar porositet, homogen porstorlek samt är både termiskt och mekaniskt stabilt. Dessutom kan magnetiska egenskaper introduceras för att separera det använda materialet efter adsorptionsprocessen, vilket är nödvändigt för att kunna tillämpas i fält. Ett experiment som genomförts på avloppsvatten, där ett nanoporöst kiseldioxid-material använts för rening av näringsämnena, visade att reningen av både kväve och fosfor var väldigt effektiv. Det totala kvävet minskade med 97,8% och totalt fosfor med 98,7%, vilket visar stor potential för användandet av nanoporöst kiseldioxid som alternativt och förnybart adsorptionsmedia för utvinningen av kväve och fosfor ur avloppsvatten.

Ännu en metod som kan användas för vattenrening är biokol, som likt det nanoporösa kiseldioxid-materialet adsorberar näringsämnena och på så sätt utvinna dem från avloppsvattnet [49]. Biokol är ett poröst kol-material som produceras vid termokemisk nedbrytning av biomassa i syrefattig miljö. Anledningen till att biokol anses vara ett material som är bra för miljön är för att det både inbinder kol i stabil form och på så sätt förhindrar utsläpp till atmosfären vid biomassanedbrytning, dessutom anses det vara en effektiv, billig och miljövänlig adsorbent. Förutom att kunna användas för adsorption

av föroreningar i avloppsvatten, kan biokol användas för att förbättra jordens bördighet, samt för att ersätta fossila bränslen vid energiproduktion. Forskning har visat att biokol är en effektiv adsorbent för kväve och fosfor, men att den dessutom är effektiv för att extrahera tungmetaller och antibiotika ur vattnet. Då biokol använts som ett biofilter vid avloppsrening har det visat sig ha en reningsgrad på 90% för COD, 64% för totalt kväve och 78% för total fosfor [49].

Tabell 4.1: Tabell över de alternativa reningsmetodernas reningsgrad för kväve och fosfor från avloppsvatten, data från externa källor [46], [48], [49]

Reningsmetod	Reningsgrad kväve (%)	Reningsgrad fosfor (%)
Hydroponisk odling	80	77
Nanoporöst kiseldioxid	97,8	98,7
Biofilter av biokol	64	78

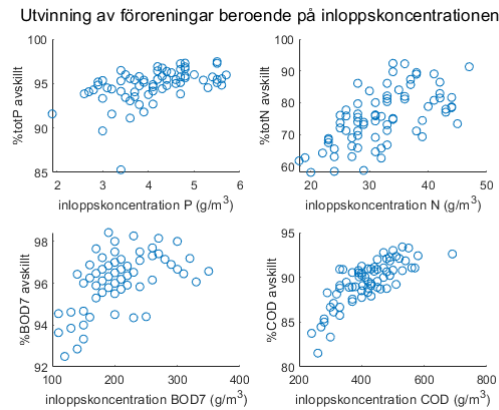
4.3 Teknisk jämförelse mellan Ryaverket och Recolab

I detta avsnitt kommer data och beräkningar från Ryaverket och RecoLab presenteras för att kunna jämföra de två avloppsreningsverken. Jämförelsen utförs baserat på utvinningsgrad och reningsgrad av näringsämnen samt utifrån energiinnehåll i avloppsvattnet. Avsnittet behandlar också hur mycket energi och näringsämnen som recirkuleras.

4.3.1 Näringsutvinning

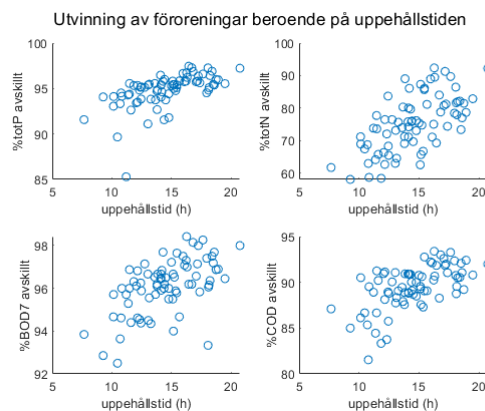
Avloppsvattnet som inkommer till de två reningsverken innehåller många olika näringsämnen och det finns restriktioner på hur höga halterna får vara efter att vattnet renats. Ur ett hållbarhetsperspektiv borde dessa resurser utvinnas i så stor grad som möjligt för att kunna utnyttjas igen. För att analysera effektiviteten av resursutvinningen på Ryaverket ställdes en massbalans upp för de olika näringsämnena. I massbalansen beräknas procentandelen som renas bort, genom beräkningar av procentuell minskning från inlopp- och utloppskoncentrationerna.

Effektiviteten av reningen på Gryaab presenteras i figur 4.1, där där den avskilda mängden kväve, fosfor, BOD7 och COD har plottats mot inloppskoncentrationen.



Figur 4.1: Massbalans av fosfor, kväve BOD7 och COD på vattnet som passerar Ryaverket. Resultatet ger en procentsats av hur mycket som avskiljs av varje resurs över reningsprocessen och presenteras i förhållande till inloppskoncentrationen. Data har tagits veckovis från Ryaverket mellan år 2015 och 2017.

Andelen av näringsämnena i figur 4.1 är inte samma som sedan återförs till jordbruket via slammet. Av kvävet som renas kan ca 20% förväntas återfinnas i slammet [29] och även andelen kol, som kan korreleras med BOD och COD, kommer att vara mindre i slammet. Däremot kommer all fosfor kunna återfinnas i slammet. X-axeln i figuren har enheten inloppskoncentration. Inloppskoncentrationen är beroende på dagvatten i systemet, vilket också skulle ändra uppehållstiden i reningsverket. Plottas istället de avskilda mängderna mot uppehållstiden ser det ut som i figur 4.2 nedan.



Figur 4.2: Massbalans av fosfor, kväve BOD7 och COD på vattnet som passerar Ryaverket. Resultatet ger en procentsats av hur mycket som avskiljs av varje resurs över reningsprocessen och presenteras i förhållande till uppehållstiden. Data har tagits på Ryaverket veckovis mellan år 2015 och 2017.

Resultatet för RecoLab sammanställs i tabell 4.2, där beräkningarna visar att nästintill alla näringsämnen som finns i de inkommande flödena utvinns.

Tabell 4.2: Sammanställning av RecoLabs beräknade utvinningsgrader av näringsämnena fosfor, kväve och kol.

Näringsämne	Utvinningsgrad [%]
Fosfor	>99
Kväve	>99
Kol	>99

Av det utvunna kvävet återfinns 55% i slammet och resterande 45% finns i produkter från struvitutfällningen och ammouniumstrippen. Det sistnämnda har beräknats genom ett antagande om att 1/6 av kvävet försvinner vid den första slamborttagningen. Fosforutvinningen är också maximal, där 37% återfinns i slammet och 63% i struviten vid användande av samma antagande som tidigare. För kol är det osäkert hur mycket som blir till biogas och hur mycket som återfinns i slammet, då biogasmätaren inte fungerade för tillfället. För kol räknas utvinningsgraden som det kol som behandlas vidare. Delar kol kommer i biogas produktionen bilda koldioxid som fortfarande är del av biogasen. Denna återvinns inte, men räknas ändå med i procentsatsen i tabell 4.2. Alla utgående flöden efter filtreringen innehåller mindre än 0,1% av de ingående halterna av alla de undersökta ämnena, vilket skulle kunna räknas som försumbart.

4.3.2 Energiutvinning

En uppskattning av energiinnehållet i det inkommande avloppsvattnet kan ses i tabell 4.3. Beräkningarna av energiinnehållet gjordes både per liter och per dag.

Tabell 4.3: Tabell med medelvärden för inloppen till Ryaverket och RecoLab på volyminflöde per dag, gCOD per kubikmeter, gCOD per dag och uppskattat energiinnehåll. Inlopp till RecoLab är uppdelat i svartvatten, matavfall samt gråvatten, och dessa är sedan summerade till ett totalinlopp.

Reningsverk	Inlopp	m^3/dag	gCOD/m^3	gCOD/dag	kJ/m^3	kJ/dag
RecoLab	Svartvatten	6,33	7 413	46 924	100 075	633 474
RecoLab	Matavfall	4	7 270	29 080	98 145	392 580
RecoLab	Gråvatten	42,33	450,8	19 082	6 085,8	257 611
RecoLab	Sammanlagt inlopp	52,66	15 133,8	95 806	204 306	$1,284 \cdot 10^6$
Ryaverket	Huvudinlopp	352 883	393	$1,385 \cdot 10^8$	5305,5	$1,870 \cdot 10^9$

Beräkningarna visar att koncentrationen av gCOD per kubikmeter är högst för RecoLabs svartvatten och matavfall, och lägst för Ryaverkets huvudinlopp. Både gCOD per dag och energiinnehåll per dag var högre med ungefär en faktor 10^4 för Ryaverkets huvudinlopp jämfört med samtliga av RecoLabs inlopp, medan energiinnehåll per m^3 var ca 20 gånger större i RecoLabs svartvatten och matavfall än i gråvattnet och Ryaverkets huvudinlopp.

Värdena på energin i kJ/m^3 och kJ/dag för Ryaverkets huvudinlopp dividerades därefter med antal personekvivalenter för Ryaverket, det vill säga 800 000 pe. Vid studiebesöket framgick att RecoLab i nuläget tar emot avloppsvatten från 900 personer i dagsläget, och utifrån detta samt medelvärdena på BOD7 i g/dag för gråvattnet och svartvattnet, beräknades antalet personekvivalenter för RecoLab till 455 pe. Värdena på energin i kJ/m^3

och kJ/dag för RecoLabs sammanlagda inlopp dividerades sedan med de beräknade personekvivalenterna. Resultaten presenteras i tabell 4.4 nedan.

Tabell 4.4: Tabell med antal personekvivalenter för respektive reningsverk, samt uppskattat energiinnehåll per m^3 och personekvivalent samt per dag och personekvivalent.

Reningsverk	Personekvivalenter	$\text{kJ}/m^3 \cdot \text{pe}$	$\text{kJ}/\text{dag} \cdot \text{pe}$
RecoLab	455,03	448,9	2 822
Ryaverket	800 000	$6,632 \cdot 10^{-3}$	2 338

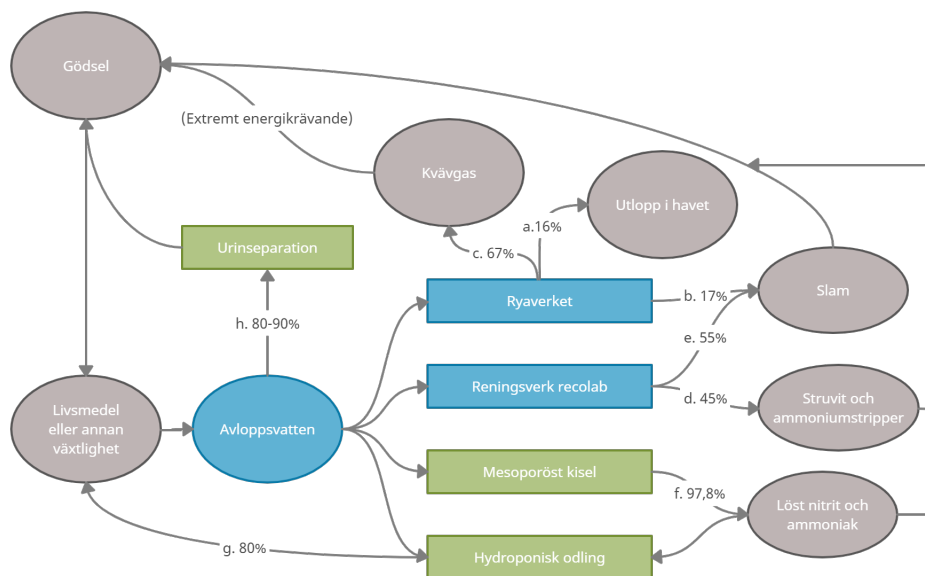
De uppskattade energiinnehållen blev ca 70 000 gånger större per m^3 och pe för RecoLab jämfört med Ryaverket, samt ungefär 1,2 gånger större per pe och dag för RecoLab jämfört med Ryaverket.

4.4 Framtidens avloppskretslopp

I detta avsnitt presenteras tre alternativa kretsloppsmodeller för recirkulering av kväve, fosfor och kol från avloppsvatten. Dessa modeller är utvecklade utifrån resultat från såväl litteratur, intervjustudie samt den tekniska jämförelsen. De är skapade för att illustrera möjligheter för framtidens rening av avloppsvatten där okonventionella tekniker presenteras med färgen grön. Att processerna inkluderas i samma kretslopp innebär inte att de är tänkta att finnas i ett sammankopplat system, utan är endast för att underlätta jämförelsen av dem.

4.4.1 Kvävets kretslopp

Figur 4.3 visar hur kvävet omhändertas i reningsprocessen och kretsloppet runt omkring. Det inkluderar både nutida processen för Ryaverket och RecoLab samt metoderna urinseparation, mesoporöst kisel och hydroponisk odling från avsnittet om alternativa metoder inom reningsprocessen.



Figur 4.3: Utvecklad kretsloppsmodell för kväve. Beräkningar av procentsatser beskrivs i tabell 4.5

Procentsatser beräknas från data från respektive reningsverk eller från externa källor. Förklaringar för beräkningarna presenteras i tabell 4.5

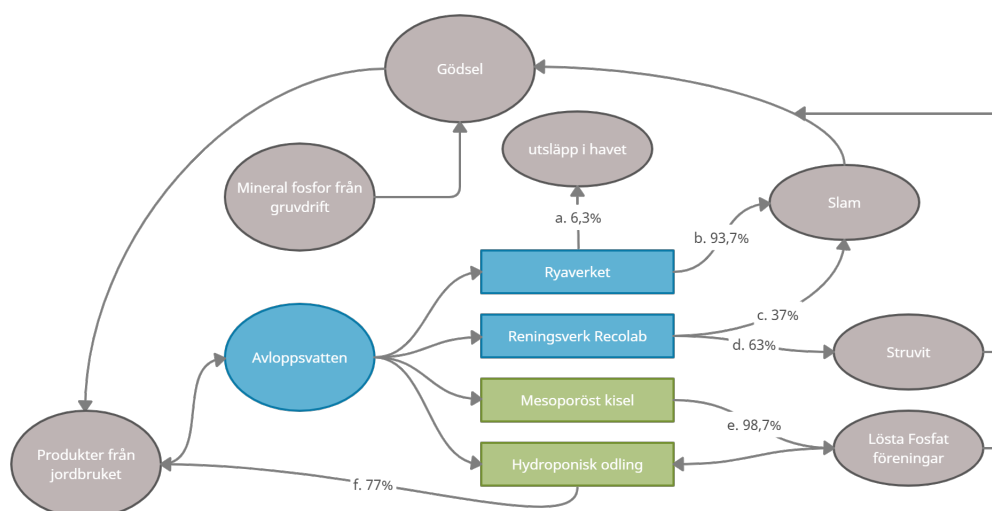
Tabell 4.5: Förklaringar av procentsatser i kvävet kretslopp i figur 4.3

	Beräkningsmetod av procentsats
a	Andelen kväve utgående jämfört med ingående över ett år
b	Av det renade kvävet antas 20% återfinnas i slammet
c	Resterande 80% av det renade kvävet antas bilda kvävgas.
d	Över struvitutfällningen och ammoniumstrippern, tillsammans med ett antagande att $\frac{1}{6}$ av kvävet försvinner med första slamborttagningen, beräknades denna minskning av ingående till utgående kväve i mätdata från RecoLab.
e	I utflödet återfinns ca 0,5% av det ingående kvävet enligt mätdata från RecoLab. Resterande kvävet antas återfinnas i slammet.
f	Procentsats från litteratur [48].
g	Procentsats från litteratur [46].
h	Procentsats från litteratur [47].

4.4.2 Fosfors kretslopp

Figur 4.4 visar hur fosfor omhändertas i reningsprocessen och sedan återförs till sitt kretslopp. Det inkluderar både nutida processen för Ryaverket och RecoLab samt metoderna mesoporöst kisel och hydroponisk odling från avsnittet om alternativa metoder inom reningsprocessen.

Angivna procentsatser är beräkningar baserade på data från respektive reningsverk, eller från externa källor. Förklaringar för beräkningar beskrivs i tabell 4.6



Figur 4.4: Utvecklad kretsloppsmodell för fosfor. Beräkningar av procentsatser beskrivs i tabell 4.6

Tabell 4.6: Förklaringar av procentsatser i fosfors kretslopp i figur 4.4

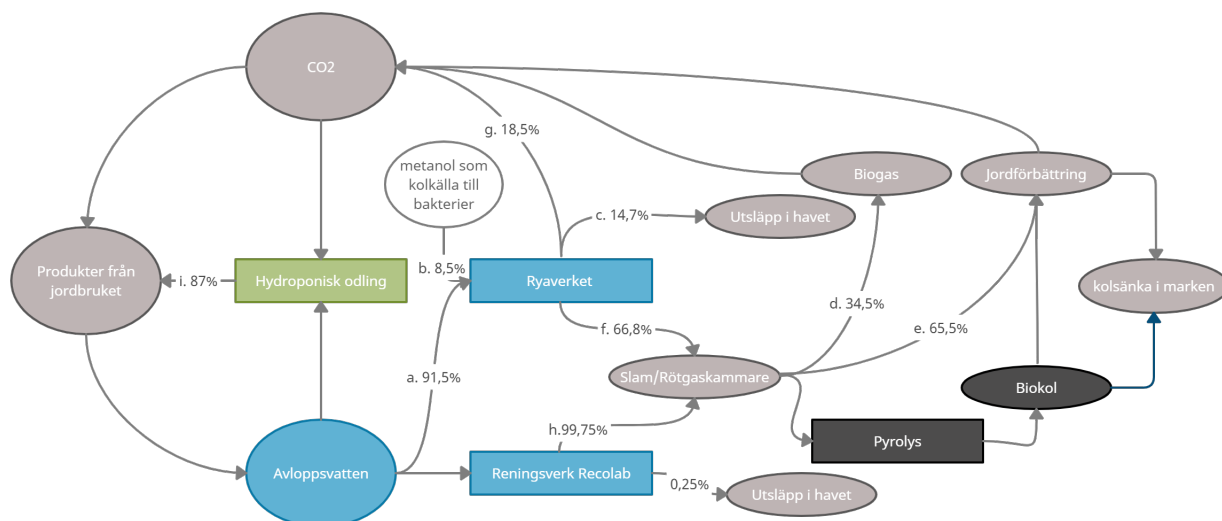
	Beräkningsmetod av procentsats
a	Andelen fosfor som är utgående jämfört med ingående i Ryaverket över ett år [29].
b	Andelen fosfor som inte finns i utgående vatten från Ryaverket över ett år [29]. Allt fosfor antas återfinnas i slammet, antingen i form av utfällt fosfor eller i del av biomassan.
c	I utflödet återfinns ca 0,7 procent av den ingående fosfor enligt mätdata från RecoLab. Resterande fosfor antas vara i slammet
d	Över struvitutfällningen, tillsammans med ett antagande att $\frac{1}{6}$ av fosfor försvinner med första slamborttagningen, beräknades denna minskning av ingående till utgående fosfor. Data kommer från RecoLabs egna mätningar
e	Procentsats från litteratur [48].
f	Procentsats från litteratur [46].

4.4.3 Kolets kretslopp

Figur 4.5 visar hur kolet omhändertas i reningsprocessen. Den inkluderar både nutida processen för Ryaverket och RecoLab samt metoden hydroponisk odling från avsnittet om alternativa metoder inom reningsprocessen.

Angivna procentsatser kommer från data från respektive reningsverk, eller från observationer i angiven källa. Alla procentsatser presenteras och förklaras i tabell 4.7 nedan.

Steget pyrolys är inte en reningsteknik av avloppsvatten i sig, men är medtaget eftersom det är en behandlingsmetod av slam som både skapar en mer stabil produkt som kolsänka och har möjlig fortsatt användning som filter i ett reningsverk [49].



Figur 4.5: Utvecklad kretsloppsmodell för kol. Beräkningar av procentsatser beskrivs i 4.7

Tabell 4.7: Förklaringar av procentsatser i kolets kretslopp i figur 4.5

Beräkningsmetod av procentsats	
a	Ingående kol bestämdes utifrån årsmedelvärdet av ingående TOC (Total Organic Carbon) taget från Ryaverkets miljörapport [29].
b	Utöver ingående halten kol från avloppsvatten tillsätter Ryaverket även metanol som extern kolkälla [29]. Andelen kol i metanol uppskattades till 12/32 (taget från atomvikter) av totalvikten. Denna massan tillsammans med massan TOC antogs som 100% av ingående kol.
c	Det årliga rapporterade medelvärdet av TOC användes för att uppskatta hur mycket som går ut i havet [29]. Detta värde delades på mängden ingående kol.
d	Volymen biogas [29] användes och med hjälp av ideella gaslagen uppskattades antalet mol gas. All gas antogs endast innehålla endast en kol atom (stämmer för metan och koldioxid) och massan kol bestämdes utifrån antalet mol multiplicerat med molvikten. Koldioxiden i biogas räknas med som biogas och inte i andra utsläpp av koldioxid. Förhållandet är ungefär 3:2 metan till koldioxid i biogasen [29].
e	TOC av TS (torr slam) halten av slam uppskattades till 70% [50] och massan TS togs från Ryaverkets årsrapport, där mängden slam från externa källor subtraherades [29].
f	Vikten kol från biogas och slam adderades och delades på totalhalten ingående kol.
g	Resterande kol som fanns i ingående men ej i utgående kol antogs släppas ut som koldioxid som del av reningsprocessen.
h	80% motsvarar hur stor andel COD som kommer in via matavfall och svartvatten utifrån mätdata från RecoLab. 20% kommer in som gråvatten och hamnar i en anaerob biologisk reningsbädd. Inga källor hittades på var detta kolet tar vägen, men förmodligen så sedimenterar mikroorganismerna och samlas upp som slam. I det utgående vattnet finns ca 0,25% av ingående summerad COD kvar. Detta, i samband med att biogasmätaren ej fungerade på RecoLab för att få mätdata, gjorde exakta beräkningar omöjliga.
i	Procentsats från litteratur [46].

5 Diskussion

I detta kapitel ingår en resultatdiskussion där det inledande avsnittet visar den tekniska jämförelsen av de två reningsverkens inflöden och det efterföljande avsnittet diskuterar kretsloppsmodellerna samt intervjustudiens resultat. Det presenteras även en metoddiskussion i avsnitt 5.3.

5.1 Resursutvinning

5.1.1 Kväve

Som man kan se i figur 4.3 skiljer sig kväveutvinningen stort mellan RecoLab och Ryaverket. På RecoLab återvinns minst 45% av kvävet i form av struvit eller ammoniumsulfat, och resterande 55% kan antas vara i slammet. På Ryaverket är motsvarande siffra endast 17%. Detta beror på att Ryaverket fokuserar på att rena bort kvävet genom nitrifikationsprocessen, vilket innebär att så mycket som 67% av kvävet avgår till atmosfären, och att den enda kväveåtervinningen sker genom återanvändning av slam. Därtill sprids inte allt slam på åkermark, vilket betyder att återföringen av kväve till kretsloppet blir ännu mindre. Från 2020 till 2021 har dock mängden slam från Ryaverket som certifierats med REVAQ ökat från knappt hälften till 80% [29], vilket betyder att en större andel kan användas på åkermark och därmed att en högre andel näring återförs.

5.1.2 Fosfor

När det gäller fosforåtervinning ser det i figur 4.4 vid en första anblick jämnare än för kväveåtervinningen. På RecoLab utvinns 63% av fosfor i form av struvit, och ungefär 37% återfinns i slammet. På Ryaverket är den enda fosforutvinningen i form av slam, där så mycket som 93,7% av fosfor återfinns i slutet av processen. Totalt är alltså fosforutvinningen högre på Ryaverket än på RecoLab, men eftersom fosfor fälls ut och bildar ett olösligt salt innan det hamnar i slammet på Ryaverket så är det inte lika biologiskt tillgängligt som i struviten från RecoLab. Det, i kombination med att allt slam inte certifieras och sprids på åkermark, innebär att den totala halten fosfor som återförs till kretsloppet i biologiskt tillgänglig form blir betydligt större på RecoLab. Med struvit som gödsel undviks dessutom de negativa aspekter som har tagits upp med slamspridning, t.ex. att det kan innehålla tungmetaller och andra miljöfarliga ämnen. Ifall ett förbud mot spridning av slam går igenom som följd av den statliga utredningen som tas upp i avsnitt 2.6.1, skulle fosforutvinning i form av struvit vara ett bra alternativ för att ta till vara på fosfor.

5.1.3 Kol

Kol utvinns inte som en specifik resurs, men är ändå en del av kretsloppet. Kol som kommer in via gråvattnet på RecoLab kan antas användas som näringskälla i den biologiska reningen. Det är svårt att uppskatta hur mycket av kolet som finns i gråvattnet, men ett rimlig antagande baserat på koncentration COD i de olika flödena är att ca 80% av kolet finns i svartvattnet och matavfallet, och att resterande 20% då finns i gråvattnet. Återvinningen av kolet i matavfallet och svartvattnet på RecoLab görs genom rötning

som bildar biogas och slam, vilket liknar Ryaverkets process. Det är alltså ingen större skillnad mellan de två reningsverken i denna aspekt.

På Ryaverket tillförs metanol, medan RecoLab endast använder kolet som finns i flödet. Behovet av att tillsätta en extern kolkälla för Ryaverket skulle kunna bero på att processen är i såpass mycket större skala än på RecoLab, och att även rötningstiden skiljer sig mellan de två reningsverken, då RecoLab endast rötar i sju dagar medan Ryaverket rötar i ca 20 dagar. Den kortare rötningstiden kan potentiellt innebära en mindre biogasproduktion på RecoLab, vilket inte kan bekräftas då data på biogasproduktionen saknas från RecoLab i nuläget. Slammet från RecoLab går dessutom in i Öresundsverket, där ytterligare en rötning kommer ske.

5.1.4 Energi

Resultaten av de beräknade energiinnehållen i de olika inflödena presenterade i tabell 4.3 visar att den totala mängden COD per dag är betydligt större i Ryaverkets inlopp jämfört med samtliga av RecoLabs inlopp. Därmed blir även det uppskattade energiinnehållet per dag större för Ryaverket, eftersom detta beräknades utifrån COD per dag. Däremot var koncentrationen av COD betydligt högre i svartvattnet och matavfallet som kommer in till RecoLab. Det skulle kunna bero på att det är dessa flöden som har mest biomassa i kombination med att de även har lägst vatteninnehåll. Samtidigt är dessa flöden de minsta av RecoLabs tre flöden, vilket syns på att de beräknade energiinnehållen i kJ/dag skiljer sig mindre än vad gCOD/m^3 gör. Gråvatten har t.ex. ett relativt lågt gCOD/m^3 , men eftersom dess flöde är över 10 gånger så stort som flödet för matavfall blir skillnaden i deras totala energiinnehåll per dag betydligt mindre än skillnaden i gCOD/m^3 . Å andra sidan innebär ett stort men utspätt flöde att det blir svårare att utvinna energin, även om det totala energiinnehållet är jämförbart.

När de uppskattade energiinnehållen dividerades med antal personekvivalenter för respektive reningsverk var energiinnehållet per m^3 och pe kraftigt lägre för Ryaverket än för RecoLab, medan energiinnehållet per person och dag var i ungefär samma storleksordning för de båda reningsverken. Energiinnehållet per m^3 var markant lägre för Ryaverket redan innan divisionen, men skillnaden blir ännu mer påtaglig per personekvivalent eftersom dessa är så många fler för Ryaverket än för RecoLab. Det visar att energiinnehållet i RecoLabs sammanlagda flöde är jämförbart per person och dag, men betydligt mindre utspätt än Ryaverkets, vilket borde underlätta utvinning av energin. Detta beror sannolikt på att en stor del av Ryaverkets flöde består av dag- och spillvatten, alltså inte enbart avloppsvatten från hushåll. Dessutom tar RecoLab även in matavfall, vilket inte Ryaverket gör, vilket innebär en ytterligare energikälla. Vakuumpoletterna i Oceanhamnen bidrar också till den höga koncentrationen i RecoLabs flöde eftersom de minskar svartvattnets vatteninnehåll.

Att RecoLabs personekvivalenter endast beräknades utifrån BOD7 i svart- och gråvattnet, och inte matavfallet, berodde på att det standardiserade värdet på 70 g BOD7/pe per dag antogs vara beräknat efter hur mycket en personekvivalent normalt bidrar till BOD7 i avloppsvattnet. Detta sker normalt endast via svart- och gråvatten, vilket är varför matavfall uteslöts ur beräkningen. Däremot togs matavfallet med i det sammanlagda inloppet utifrån vilket energiinnehållet beräknades, eftersom det fortfarande är en källa till

energi som kommer in till RecoLab. På samma sätt är dagvatten en del av huvudinloppet till Ryaverket, och tas därför automatiskt med i energiinnehållsberäkningarna trots att RecoLab saknar dagvatten i sitt flöde.

5.1.5 Vatten

Vatten är också en resurs som är möjlig att återanvända, vilket dock inte utnyttjas i stor utsträckning i dagsläget. Det finns flera tillvägagångssätt att ta vara på vattnet som resurs. RecoLab har som mål att producera dricksvatten direkt från avloppsvattnet, medan Ryaverket fokuserar mer på möjligheterna att återvinna vattnet i form av tekniskt vatten. De har exempelvis undersökt möjligheten att förse Northvolt och Volvo Cars nya batterifabrik med kyl- och värmevatten. Genom att producera tekniskt vatten kan en del av dricksvattnets användningsområde ersättas. På så sätt skapas möjligheter att i högre grad utnyttja dricksvattnet som det livsmedel det faktiskt är och resursutvinningen på reningsverken ökar.

5.1.6 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan man utifrån den presenterade datan se att utvinningen av näringsämnena kväve och fosfor blir mer effektiv tack vare RecoLabs källsorterade flöde. Kolåtervinningen blir relativt oförändrad mellan de två reningsverken. Energiinnehållet blir mer koncentrerat som följd av källsorteringen, vilket kan underlätta energiutvinningen, även om totalinnehållet per dag är lägre då flödena är mindre. Vidare kan slutprodukterna efter reningsprocessen sägas vara mer högkvalitativ för RecoLab då vattnet når drickskvalitet och kväve samt fosfor utvinns i renare och mer tillgänglig form än endast som en del av slammet. Om endast resursåtervinning tas i beaktning står det därmed klart att RecoLab överlag är effektivare än Ryaverket. Däremot finns det ytterligare aspekter att ta hänsyn till, vilka presenteras i nästkommande avsnitt.

5.2 Framtidens resursverk

5.2.1 Kretsloppsmodellerna

Syftet med kretsloppsmodellerna är att, utöver att utvärdera RecoLab och Ryaverket, också introducera nya metoder för resursåtervinning i jämförelsen. Modellerna inkluderar resursflöden även för dessa nya metoder, vilket gör att de kan jämföras mot de konventionella teknikerna. Metoderna måste däremot inte vara självständiga och kan kombineras och införas i befintliga reningsverk.

Möjligheten att kunna kombineras med befintliga reningsprocesser är viktigt för metoden hydroponisk odling och urinseparation. Reningsgraden är lägre för hydroponisk odling jämfört med andra metoder, men har fördelen av att kunna vara en del av en annan redan existerande reningsprocess [46]. Dessutom har hydroponisk odling fördelen att näringsämnena direkt kan tas upp av växtlighet. Denna odlingsmetod innebär att näringsämnen inte rinner iväg eller används av t.ex mikroorganismer, som är möjligt vid användning på åkermark. Urinseparation är ännu en metod som borde ske i samband med annan rening.

Om urin separeras från resten av avloppet, skulle kvävehalten minska drastiskt. Utöver att skapa en kvävegödselprodukt, underlättar detta resten av reningen i ett konventionellt reningsverk.

Reningsmetoden med mesoporöst kisel verkar vid första anblick vara optimal när det kommer till återvinning av kväve och fosfor. Studien som presenteras i resultatet är lovande som metod att separera dessa näringsämnen från svartvatten, men för att den adsorberande kiselpartikeln ska kunna återanvändas krävs en disassociation i ett annat lösningsmedel. Det resulterar fortfarande i en lågkoncentrerad näringslösning som inte går att använda som ett bra gödsel. Lösningen har däremot en användning som näringslösning för hydroponisk odling eller algodlingar [48].

Biokol som skapas via pyrolys nämns också i figur 4.5 och är en stabilare form av kol som kan agera som kolsänka i marken och jordförbättring. Till skillnad från slam som inte alltid får spridas på åkermark, renar pyrolysstegat biokolet från läkemedel och några mer flyktiga oönskade metaller. Detta innebär att det får spridas på åkermark och inte riskerar att innehålla farliga ämnen likt slam kan göra. Därmed skulle det betyda att mer kol skulle återföras till åkermarken i det fallet. Utöver det nämns i stycket om alternativa reningsmetoder biokol som adsorberande material, likt den tidigare nämnda mesoporösa kisel. Produktionen av biokol skulle på så sätt både kunna bidra till mer kol som återförs till åkermark och effektivare rening.

5.2.2 Potential för framtiden och branschens framtidsutsikter

Jämförelsen och intervjuerna visar att ett reningsverk som RecoLab med ett källsorterat flöde bidrar till att resurserna utvinns i högre grad än ett konventionellt reningsverk. Frågan om detta är möjligt att implementera i stor skala i resten av landet var de intervjuade dock kritiska till. Anledningen till detta uppgavs bland annat vara att dagens avloppsledningsnät är komplext, långt och därmed mycket dyrt att bygga om. Däremot kan ett källsorterat flöde vara en möjlighet för nybyggda områden där avloppsledningar ännu inte är nedgrävda eller där det befintliga reningsverket inte har tillräcklig kapacitet.

Även om det källsorterade systemet inte anses vara generellt tillämpningsbart i stor skala, kan möjligtvis delar av de reningsmetoder som RecoLab använder sig av anpassas till de konventionella reningsverken. Till exempel skulle nanofiltrering kunna appliceras i större skala [51], vilket skulle förbättra reningen av läkemedelsrester. Dessutom skulle även Ryaverket kunna använda rejektivatten från rötningen till struvitextraktion och på så sätt öka utvinningen av fosfor [52]. I förlängningen skulle detta även leda till att de konventionella reningsverken blir mer resurseffektiva.

De intervjuade var överens om att en minskning av vattenanvändningen överlag skulle förbättra möjligheterna till effektiv rening. Utifrån RecoLabs data om inflödet till reningsverket består det till största del av gråvatten. Gråvattenflödet ligger just nu i snitt på $42,33 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och svartvattnet enbart på i snitt $6,33 \text{ m}^3/\text{dygn}$. I Oceanhamnen i Helsingborg används dock vakuumtoaletter som förbrukar betydligt mycket mindre vatten än klassiska toaletter, vilket bidrar till det låga svartvattenflödet. Oavsett står det klart att användandet av vatten till bad, disk och tvätt är stor och att det därmed finns en stor potential till att minska vattenanvändandet. Exempel på förbättringar skulle kunna

vara att använda dusch- och diskvatten som spolvatten i toaletterna eller på andra sätt recirkulera det inom hushållet. Mängden vatten till reningsverken minskar då och koncentrationen av näringsämnen i vattnet ökar. Mindre vatten betyder också en förlängning av uppehållstiden. Båda dessa faktorer underlättar reningen, vilket går att se i figur 4.1 och figur 4.2. Detta är något som Widén också bekräftade under intervjun, då hon sa att de höga flödena är en försvårande omständighet vid reningen. Även utvecklingsingenjören Dag Lorick nämner under studiebesöket att Ryaverket har problem med stora vattenflöden. Däremot säger Lorick att det inte helt kan lösas med minskande vattenanvändning av privatpersoner, då stora mängder av vattnet till Ryaverket kommer från inläckage av dagvatten.

Ytterligare en åsikt som togs upp av samtliga intervjuade var den stora betydelsen av en cirkulär reningsprocess med fokus på att utnyttja de resurser som avloppsvattnet redan innehåller. Däribland tog Maria Neth upp att tillgängliggöra kolet som finns i det ingående vattnet som ett möjligt förbättringsområde för Ryaverket istället för att tillföra inköpta kolkällor till denitrifikationen.

Slamspridning är positivt för ett cirkulärt kretslopp, då det är i detta steg som näringsämnena kan föras tillbaka till jordbruket. Problemet är dock att kemiska föroreningar och tungmetaller kan återfinnas i slammet, vilket har negativ påverkan på jordbruket och dess grödor. Nackdelarna med slamspridning i kombination med ett framtida eventuellt förbud som följd av den statliga utredningen gör dock att andra utvinningsalternativ är att föredra. Detta blir aktuellt i diskussionen kring kväve, som på konventionella reningsverk idag mestadels släpps ut till atmosfären, så att utvinna mer av kvävet till slammet är ett sätt att öka återvinningen av det. Ett bra alternativ skulle kunna vara att använda ammoniakstripper, där kvävet istället utvinns från rejektvattnet och pelletsprodukten kan användas som gödning.

Eftersom de flesta reningsverk är kommunalt ägda uppgavs det under intervjuerna att konkurrensen på marknaden inte är särskilt stor. Detta skulle i sin tur kunna bidra till att utvecklingen av reningsverken blir hämmad då den största drivkraften till innovation blir de statliga direktiven. Dessa direktiv kan därför anses vara ett viktigt verktyg för att driva reningsverken mot en mer hållbar rening, något som även dykt upp från remisser i undersökningen *"Hållbar slamhantering: Betänkande av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam"* [53][54]. Dessutom kan de användas för att styra utvecklingen mot att avloppsvattenhantering behandlas som resursverk, med huvudsyssla att utvinna resurser istället för att enbart fokusera på vattenrening.

5.2.3 Samhällsaspekter

Under intervjuerna togs en intressant aspekt om vad som kan klassas som en resurs upp. Man kan ifrågasätta vilket värde de resurser som utvinns från avloppsvattnet egentligen har, eftersom de rent ekonomiskt inte har så högt värde. Det kan vara svårt att sälja vidare de resurser som utvinns eftersom det inte finns någon stor efterfrågan som driver upp försäljningsprisen. Däremot har de ett stort värde för miljön och jorden, då näringsämnena är ändliga och därför är värdefulla att utnyttja. Dessutom importeras mycket gödsel och att istället kunna använda näringsämnena från avloppsvatten skulle kunna gynna samhället både ekonomiskt och miljömässigt eftersom behovet av import minskar [26].

Resursutvinning är dock inte någonting som reningsverken nödvändigtvis får betalt för i dagsläget, utan det är snarare en ekonomisk kostnad och belastning. Idag finns tendenser på att efterfrågan på biogas kommer öka, vilket kan komma att höja reningsverkens motivation till biogasproduktion. Något liknande skulle behövas även för kväve och fosfor för att öka värdet på dessa.

En viktig aspekt som har en stor inverkan på samhällsutvecklingen kring avloppsvattenhantering är social acceptans hos befolkningen, något som är tydligt i bl.a. diskussionen om urinseparation i resultatet 4.2 ovan [47]. Något som diskuterades under intervjun med Maria Neth är användningen av det renade vattnet och att det finns platser i världen där man producerat dricksvatten från avloppsvatten. Livsmedelsklassning är också något som RecoLab undersöker möjligheten till, då deras slutprodukt är tillräckligt ren för att användas som dricksvatten. Det är ingen skillnad på kvaliteten på det vattnet när det har uppnått dricksvattenkvalitet, men att uppnå en social acceptans kan säkerligen vara svårt även om livsmedelsklassningen godkänns. Andra begränsningar är ofta mer tekniska och kan sägas ha tydliga lösningar, men social acceptans och andra samhällseliga aspekter kan vara svårare att hitta lösningar på.

Något som nämndes under studiebesöket på RecoLab var idén om att brygga öl på det renade avloppsvattnet, vilket är både klimatsmart och resurseffektivt. Med rätt marknadsföring hade liknande satsningar kunnat göra att produkter av renat avloppsvatten accepteras i dagens samhälle då klimatsatsningar är viktiga för många. Produkter tillverkade på renat avloppsvatten kan dessutom bidra till att ökat fokus läggs på vattenrening och att samhället får upp ögonen för vad som är möjligt med vattenresurshållning. Att lägga till teknik på reningsverken för produktion av dricksvatten kan dessutom vara en bra lösning för platser där dricksvattenförsörjningen är knapp.

5.3 Metoddiskussion

Studien består till viss del av beräkningar, vilka har genomförts med data insamlad från respektive reningsverk. Datan från Ryaverket är från år 2015 till 2017 vilket till en början uppfattades som ett problem då datan inte uppfattades som aktuell. Efter intervjun med industridoktoranden Maria Neth ändrades dock uppfattningen då hon berättade att mätvärdena ligger på ungefär samma nivå idag och att datan från tidigare år fortfarande var relevant och användbar vid beräkningarna. Därför beslutades det att denna data var pålitlig att använda och tillräcklig för att kunna dra relevanta slutsatser.

För RecoLab uppstod problem vid samma beräkningar då denna data var uppdelad på sådana mätvärden genomförda av ett externt ackrediterat labb och viss data enbart var intern. Viss del av interndatan uppfattades som missvisande och därför avlägsnades dessa mätvärden. Exempelvis var ingående halter av vissa näringsämnen lägre än utgående, så bedömningen att exkludera dessa från beräkningarna anses därför vara befogat. För att förhindra att jämförelsen blir felaktig är det viktigt att samma mätmetoder används för båda reningsverken samt att datan presenteras på samma sätt. Jämförelsen hade fördjupats om mer data fanns att tillgå, exempelvis är energijämförelsen begränsad då data på reningsverkens energibehov för processerna saknades, likaså data på biogasproduktion för RecoLab saknades. Även massbalansplottarna presenterades inte likvärdigt för RecoLab

som för Ryaverket. RecoLabs data hade en större spridning vilket gjorde att det ansågs mer tillförlitligt att använda medelvärden. Flödet genom RecoLab antogs vara konstant, vilket är en förenkling då en viss ackumulation sker i uppsamlingstanken och rötgaskammaren. Slammet tas relativt sällan från rötgaskammaren, vilket betyder att vattnet i rötgaskammaren ofta har varierande värden. Detta kan förklara den spridda datan från RecoLab.

Under studiens gång hade författarna kontakt med handledaren vars vägledning bidrog till att lämpliga och relevanta respondenter valdes ut till intervjustudien, samt förmedlade kontakt med respondenterna. Samtliga respondenter arbetade med utvecklingsfrågor på ett specifikt avloppsreningsverk och ansågs därför vara insatta i branschens framtid samt vara pålitliga. Intervjustudien inkluderar fyra personer som är verksamma inom vatten- och avloppsbranschen vilket kan anses vara ett för litet antal, men eftersom de arbetar på olika reningsverk som använder olika tekniker ansågs detta vara tillräckligt för att få en uppfattning om framtidspotentialen inom resursutvinningen. I en framtida studie skulle en förbättring kunna vara att inkludera fler intervjurespondenter och därmed få en bredare bild i frågan. Det fanns även en kunskapsökning bland författarna när arbetet fortskred, något som kan innebära att potentiella följdfrågor är sämre under de tidigare intervjutillfällen. Författarna genomförde även studiebesök på de båda reningsverken som togs upp i studien vilket gav en bättre förståelse över hur processerna går till och hur man faktiskt arbetar med avlopps- och resurshantering. Studiebesöken ökade även gruppens intresse för ämnet och motivation till arbetet.

För att begränsa studiens omfattning inkluderar jämförelsen enbart två reningsverk, anledningen till detta var att författarna ville ha möjligheten att djupare gå in på dessa två istället för att kortfattat presentera ett större antal reningsverk. De två reningsverken som studien innefattar arbetar med två olika metoder för avloppsvattenrening, de ansågs därför vara intressanta att jämföra och vara tillräckligt omfattande för att kunna dra slutsatser. Något som dock inte kunde förutses var svårigheterna i att hitta publikationer om RecoLab då detta är såpass nystartat, vilket försvårade faktainhämtningen i början av studien. Till exempel har en stor del av informationen om Ryaverket hämtats från deras miljörapport, vilket inte har publicerats för RecoLab än. Det vore därför intressant att göra ytterligare en studie när RecoLab har varit i drift en längre tid och processen hunnit utvärderas mer grundligt.

6 Slutsats

Resultatet från intervjuer och beräkningar visar att ett avloppssystem med separerade flöden är mycket mer effektivt med hänsyn till utvinning av kväve och fosfor, jämfört med ett konventionellt reningsverk. Den tekniska jämförelsen indikerar att RecoLab utvinner näringsämnen mer effektivt än vad Ryaverket gör och att de har en slutprodukt av högre kvalitet. Trots att ett källsorterat flöde är bäst ur resursutvinningssynpunkt är det dock svårt att implementera det i stor skala på grund av komplexiteten i att bygga om hela Sveriges avloppssystem. Resultaten från intervjuerna visar att verksamma personer inom området ser stor potentialen inom resursutvinning och tycker att det är viktigt att fokus ligger på att utveckla hållbara metoder.

6.1 Förslag på vidare forskning

Förslag på vidare studier kan vara att undersöka vilken metod som är mest effektiv när det kommer till läkemedel, samt hur detta kan inkorporeras i de befintliga avloppsreningsverken. Detta på grund av att resultatet från denna studie visar att det i framtiden kommer finnas krav på läkemedelsrening och att det kommer vara viktigt för reningsverken att klara av de kraven på ett hållbart sätt.

Ytterligare ett förslag är att undersöka möjligheten för grävattenåteranvändning eller rening i ett hushåll för att öka vattenresurshushållningen. Det finns idag cirkulerande duschar, men något av intresse kan vara att skapa en lösning för att använda duschvatten som spolvatten.

Dessutom kan vidare studier inkludera en jämförelse mellan olika metoder för så kallad "off-grid avloppshantering", för användning av privatpersoner eller mindre samhällen. Detta hade bidragit till minskade miljöföroreningar och en finare miljö på de platser avloppssystemet idag inte fungerar.

Resultatet visar att ett källsorterat avloppssystem är mer effektivt med avseende på resurs- och utvinningsgrad av näringsämnen. Däremot behövs det mer forskning kring möjligheterna för att antingen implementera dessa metoder på existerande konventionella reningsverk eller att undersöka hur man kan implementera ett källsorterat avloppssystem i fler nya stadsdelar.

Referenser

- [1] A. Karlsson. "Övergödning - för mycket av det goda." [Online]. (u.d.), URL: <http://www.miljoportal.se/vatten/oevergoedning/oevergoedning-2013-foer-mycket-av-det-goda> (hämtad 2022-05-10).
- [2] O. Modin, *Vattenkvalitetsparametrar - En översikt*, i "Om Vatten", juli 2017, [Online]. URL: <https://omvatten.se/textbook/kap1> (hämtad 2022-04-15).
- [3] D. Batstone, T. Hülsen, C. Mehta och J. Keller, "Platforms for energy and nutrient recovery from domestic wastewater: A review," *Chemosphere*, årg. 140, s. 2–11, 2015, [Online], ISSN: 0045-6535. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.10.021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351401203X>.
- [4] Naturvårdsverket. "Generationsmålet – miljöarbete för kommande generationer." [Online]. (2022), URL: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/generationsmalet/> (hämtad 2022-02-02).
- [5] N. Gray, *Biology of Wastewater Treatment*, J. Bell, utg. Imperial College Press, 2004, s. 1060.
- [6] *Avloppsteknik 1: Allmänt*, Stockholm: Svenskt Vatten AB, 2013.
- [7] E. Kärrman, H. Kjerstadius, Å. Davidsson, M. Hagman och S. Dahl, *Källsorterande system för spillvatten och matavfall – erfarenheter, implementering, ekonomi och samhällsnytta*, nr 2017-04, Svenskt Vatten Utveckling, Svenskt Vatten AB, 2017, [Online]. URL: https://www.svensktvatten.se/contentassets/37d5142be0f946d3a2cdf26cb16e3dc0/svu-rapport_2017-04.pdf.
- [8] D. Todt, A. Heistad och P. D. Jenssen, "Load and distribution of organic matter and nutrients in a separated household wastewater stream," *Environmental Technology*, årg. 36:12, s. 1584–1593, 2015. DOI: 10.1080/09593330.2014.997300.
- [9] Naturvårdsverket. "Miljömålen." [Online]. (u.d.), URL: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/> (hämtad 2022-02-02).
- [10] P. Balmér, *Parametrar för organiskt material i avloppsvatten och slam och något om deras användning*, nr 2015-11, Svenskt Vatten Utveckling, Svenskt Vatten AB, 2015. URL: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2015-11.pdf?fbclid=IwAR3vcL4bfr0aiueL55F2A_30q8uFqc8Lsrr_suk6LBAUNxrJVpfrp5JSCpI.
- [11] *Tillstånd till miljöfarlig verksamhet vid Ryaverkets avloppsreningsverk i Göteborgs kommun*, Diariennr 551-29583-2017, Göteborg: Länsstyrelsen Västra Götalands Län, jan. 2020, [Online]. URL: <https://www.gryaab.se/wp-content/uploads/2020/02/Beslut-om-bifall-med-villkor12212286.pdf>.
- [12] *Slutliga villkor för utsläpp till vatten av fosfor, BOD7 samt kväve, Brandholmens reningsverk Nyköpings kommun*, Diariennr. 551-6259-17, Nyköping: Länsstyrelsen Uppsala Län, Miljöprövningsdelegationen, okt. 2018, [Online]. URL: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.76f16c3d1665eba4c3ea2de/1539960369441/2018-10-1120Slutliga20villkor20fC3B6r20utslC3A4pp20till20vatten20av20fosfor,20BOD720samt20kvC3A4ve,20Brandholmens20reningsverk20NykC3B6pings20kommun20551-6259-17.pdf>.

- [13] E. Heidrich, T. Curtis och J. Dolfing, "Determination of the Internal Chemical Energy of Wastewater," *Environmental Science & Technology*, årg. 45(2), s. 827–832, 2011. DOI: 10.1021/es103058w.
- [14] Ozonotech. "Ozon och AOP lösningar för hög COD & BOD koncentrationer." [Online]. (u.d.), URL: <https://www.ozonotech.com/sv/applikationer/vattenrening/cod-bod-reduktion/> (hämtad 2022-05-03).
- [15] W. Arts. "BOD, COD, TOC, and TOD - sum parameters in environmental analysis," Chemeurope.com. (u.d.). [Online]. URL: <https://www.chemeurope.com/en/whitepapers/126405/bod-cod-toc-and-tod-sum-parameters-in-environmental-analysis.html> (hämtad 2022-05-03).
- [16] J. Wenström, "Förbättring av kvävereduktionsprocessen på avloppsreningsverket Lucerna under WTOS-styrning," examensarb., Institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet, Uppsala, jan. 2013, [Online]. URL: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Jonas_Wenstr%C3%B6m.pdf.
- [17] Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp. "Ekebro reningsverk." [Online]. (u.d.), URL: <https://www.nsva.se/vatten-och-avlopp/spillvatten/reningsverk-inom-nsva/ekebro-reningsverk/> (hämtad 2022-05-03).
- [18] Vatten & Avlopp. "Rening av avloppsvatten." [Online]. (u.d.), URL: <https://www.vivab.se/vatten-avlopp/avloppsvatten/rening-av-avloppsvatten> (hämtad 2022-05-03).
- [19] Hässleholms Vatten. "Kemisk rening." [Online]. (u.d.), URL: <https://hassleholmsvatten.se/reningsverk-renar-spillvatten/reningsprocessens-olika-delar/hur-fungerar-kemisk-rening/> (hämtad 2022-05-03).
- [20] Gryaab. "Slam." [Online]. (u.d.), URL: <https://www.gryaab.se/vad-vi-gor/slam/> (hämtad 2022-05-03).
- [21] Naturskyddsföreningen. "Slam från ditt avlopp blir gödsel på åkern." Senast uppdaterad 2021-06-10. [Online]. (u.d.), URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/slam-fran-ditt-avlopp-blir-godsel-pa-akern/> (hämtad 2022-04-06).
- [22] *Förordning (1998:944) om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter*, SFS nr: 1998:944, Miljödepartementet, Stockholm: Regeringskansliet, maj 1998, [Online]. URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-1998944-om-forbud-mm-i-vissa-fall_sfs-1998-944.
- [23] Livsmedelsverket. "Kadmium." senast uppdaterad 2022-01-11. [Online]. (u.d.), URL: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/kadmium> (hämtad 2022-04-06).
- [24] SCB, "Utrikeshandel, export och import av varor januari–september 2021/kvartal 3 2021, i löpande och fasta priser," Statistiska centralbyrån, Statistiskt meddelande, nov. 2021, [Online]. URL: https://www.scb.se/contentassets/f864e924242b40849cbacca2c09e05e6/ha0201_2021m09_sm_ha22sm2104.pdf.
- [25] SCB, *Användning av kväve (N) och fosfor (P) från stall- och mineralgödsel 2018/19*,

- [Online], Statistiska centralbyrån, nov. 2021. URL: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/godselmedel-och-kalk/godselmedel-och-odlingsatgarder-i-jordbruket/pong/tabell-och-diagram/godselmedel/anvandning-av-kvave-n-och-fosfor-p-fran-stall--och-mineralgodsel/>.
- [26] H. Jönsson, "Fosfor, kväve, kalium och svavel – tillgång, sårbarhet och återvinning från avlopp," *Energi och teknik*, årg. 105, 2019.
- [27] Svenskt Vatten, *Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering*, senast uppdaterad 2020-04-07, u.d. URL: <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/> (hämtad 2022-02-04).
- [28] Svenskt Vatten, *REVAQ - Regler för certifieringssystemet*, utgåva 7.2, jan. 2022.
- [29] K.-E. Videbris, "Miljörapport för Ryaverket 2021," Gryaab AB, Göteborg, [online], april 2022.
- [30] Svenskt Vatten. "Avloppsfakta." Senast uppdaterad 2016-03-30. [Online]. (u.d.), URL: <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/avloppsfakta/> (hämtad 2022-02-15).
- [31] "Årsrapport 2020 - Rya värmepumpverk," Göteborg Energi AB, Göteborg, 2020, nr 10-2021-0076. [Online]. URL: <https://www.goteborgenergi.se/ars-och-hallbarhetsredovisning/forvaltningsberattelse>.
- [32] "Hållbarhetsredovisning 2021," Gryaab AB, Göteborg, mars 2022, [Online]. URL: <https://www.gryaab.se/om-gryaab/publikationer-och-informationsmaterial/>.
- [33] *Ryaverket enligt Svenskt Vattens Regler för certifieringssystemet Revaq, Renare vatten – bättre kretslopp*. Certifikat 243102, utgåva 4. [Online], Gryaab AB, Göteborg: RISE, Research Institutes of Sweden AB, 2018. URL: <http://publiccert.extweb.se/en/Product/Index/243102?key=PID014518>.
- [34] Stadsledningsförvaltningen Helsingborg. "Tre rör ut." Senast uppdaterad 2021-03-04. [Online]. (u.d.), URL: <https://hplus.helsingborg.se/miljo/nytt-avfallssystem/> (hämtad 2022-04-19).
- [35] RecoLab. "RecoLab." Senast uppdaterad 2022-04-01, [Online]. (2021), URL: <https://www.recolab.se/> (hämtad 2022-04-19).
- [36] "Miljörapport 2020, Öresundsverket," NSVA, Helsingborg, tekn. rapport, 2020, [Online]. URL: <https://www.nsva.se/wp-content/uploads/2019/08/textdel-oresundsverket-2020.pdf>.
- [37] Nordvästra Skånes Renhållnings AB, *Kunskap i fokus på RecoLab showroom*, [Online], n.d. URL: <https://nsr.se/om-nsr/projekt/projektbanken/recolab-showroom/> (hämtad 2022-04-19).
- [38] H. Kjerstadius, S. Haghighatafshar och Å. Davidsson, "Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems," *Environmental Technology*, årg. 36(13), 2015, [Online]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25608932/>.
- [39] Swedish Water Research. "NSVA får investeringsbidrag för rening av läkemedel." Senast uppdaterad 2018-12-07. [Online]. (u.d.), URL: <https://www.swedenwaterresearch.se/projektnyheter/nsva-far-investeringsbidrag-rening-av-lakemedel/> (hämtad 2022-04-19).

- [40] RecoLab. "Utvecklingsanläggningen." Senast uppdaterad 2 november 2021, [Online]. (2021), URL: <https://www.recolab.se/utvecklingsanlaggning/> (hämtad 2022-04-19).
- [41] E. Levlin, K. Tjus, U. Fortkamp m. fl., *Metoder för fosforåtervinning ur avloppsslam*, IVL Rapport B2184, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, 2014, [Online]. URL: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76ab/1454339645269/B2184.pdf>.
- [42] *Avloppsteknik 2: Reningsprocessen*, Stockholm: Svenskt Vatten AB, 2008, s. 117.
- [43] M. C. Harrell och M. A. Bradley, *Data collection methods : semi-structured interviews and focus groups*. RAND Corporation, 2009, s. 27, ISBN: 9780833048899.
- [44] P. Balmér och D. Hellström, *Nyckeltal för reningsverk – verktyg för effektivare resursanvändning*, forskn.rapport, nr 2011-15 (2:a revidering), Svenskt Vatten AB, 2011, [Online]. URL: http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2011-15.pdf.
- [45] *Kungörelse med föreskrifter om kontroll av utsläpp till vatten- och markrecipienten från anläggningar för behandling av avloppsvatten från tätbebyggelse*, SNFS 1990:14, Statens naturvårdsverks författningssamling, Miljöskydd, Stockholm: Statens naturvårdsverk, dec. 1990, [Online]. URL: <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/nfs/1990/snfs-1990-14.pdf>.
- [46] L. Cifuentes-Torres, L. G. Mendoza-Espinosa, G. Correa-Reyes och L. W. Daesslé, "Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities," *Ware and Environmental Journal*, 2020, [Online]. DOI: 10.1111/wej.12617. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/wej.12617>.
- [47] C. Wald, "The urine revolution: how recycling pee could help to save the world," *Nature*, årg. 602, s. 202–206, 2022, [Online]. URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00338-6>.
- [48] K. Eun-Sik, S. W. Geun, C. Jeongmin och H. Min-Jin, "Recovering Nutrients from Waste Black Water Through Multi-Functional Mesoporous Silica," *Journal of nanoscience and nanotechnology*, årg. 21(9), s. 4936–4940, 2021. DOI: 10.1166/jnn.2021.19270.
- [49] W. Xiang, X. Zhang, J. Chen m. fl., "Biochar technology in wastewater treatment: A critical review," *Chemosphere*, årg. 252, 2020, [Online]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520307323>.
- [50] A. Serbanescu, M. Barbu, I. Nicolescu och E. Bucur, "Interdependance Between Total Organic Carbon Content and Heating Value of Sewage Sludge Samples," *The Environment and the Industry*, s. 272–278, sept. 2017. DOI: 10.21698/simi.2017.0035.
- [51] M. A. Abdel-Fatah, "Nanofiltration systems and applications in wastewater treatment: Review article," *Ain Shams Engineering Journal*, årg. 9(4), s. 3077–3092, 2018, [Online], ISSN: 2090-4479. DOI: 10.1016/j.asej.2018.08.001. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447918300534#!>.
- [52] F. Stenström, J. la Cour Jansen, A. A. Chan m. fl., *Rejektvattenbehandling – en kunskapssammanställning*, nr 2017-11, Svenskt Vatten Utveckling, Svenskt Vatten AB, 2017, [Online]. URL: http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2017-11.pdf.

- [53] *Hållbar slamhantering: Betänkande av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam*, SOU 2020:3, Statens offentliga utredningar, Stockholm: Regeringskansliet, jan. 2020, [Online]. URL: <https://data.riksdagen.se/fil/7403DF0C-4B4A-452C-B18B-CA141EAD58A7>.
- [54] *Havet och människan*, Diarienummer: 2021/00092, Ragn-Sells, Regeringskansliet, mars 2020, [Online]. URL: <https://www.regeringen.se/49bad9/contentassets/7c1633b23fe34d45b62752d4acae18cf/ragn-sells.pdf>.

A Appendix

A.1 Intervjuunderlag: Industridoktorand Gryaab AB | Chalmers Tekniska Högskola

Bakgrundsfrågor:

- Vad heter du?
- Vilken yrkesroll har du idag?
- Hur länge har du jobbat inom området?
- Vad har du för utbildning?
- Får vi tillstånd att spela in intervjun och citera dig i vår rapport?

Resursutvinning:

- Hur arbetar ni med resursutvinning från avloppsvatten idag?
 - Vilka processer använder ni? För- och nackdelar?
 - Vilka specifika resurser utvinns? Vilka mängder utvinns för de olika resurserna?
 - Kostnader för de olika resursernas utvinning (energi, kemikalier, kronor.)?
 - Kan du ta fram data från mätningar på in- och utflöde (kväve, fosfor, BOD, COD och temperatur in och ut. även producerad biogas)?
 - Finns det någon biprodukt som inte kan säljas/användas vidare på ett bra sätt?

Framtiden och potential:

- Vad kan Gryaab göra eller vad gör ni för att utvecklas, med avseende på hållbarhet?
 - Vad anser ni vara era största begränsningar just nu? Potentiella lösningar?
 - Finns det några omöjligheter? Något som inte går att åter-/utvinna?
- Vad har ni för mål för nya Rya?
 - Vad finns det för kostnadsaspekter för framtida projekt?
 - Alternativa reningsprocesser (aktivt kol, multifunktionellt poröst kisel, biologisk rening mha växter eller alger)? Känner ni till dessa och vad anser ni om dom? Är det aktuellt för er att implementera i er reningsprocess?
- Vad ser du för generella potential inom området? Störst utvecklingsmöjlighet?

- Vilka reningsverk tycker du står i framkant idag? Har ni något mål om att bli lika "bra"?
- Förslag på någon typ av kretsloppsmodell?
 - Hur hade det optimala kretsloppet kring ett reningsverk sett ut och hur kan det uppnås?

A.2 Intervjuunderlag: Utvecklingsingenjör RecoLab | NSVA

Bakgrundsfrågor:

- Vad heter du?
- Vilken yrkesroll har du idag?
- Hur länge har du jobbat inom området?
- Vad har du för utbildning?
- Får vi tillstånd att spela in intervjun och citera dig i vår rapport?

Resursutvinning:

- Hur arbetar ni med resursutvinning från avloppsvatten idag?
 - Vilka processer använder eller undersöker ni just nu? För- och nackdelar?
 - Vilka specifika resurser utvinns?
 - * Vet du vilka mängder som utvinns av de olika resurserna?
 - * Kostnader för de olika resursernas utvinning (energi, kemikalier, kronor)?
 - Finns det någon biprodukt som inte kan säljas/användas vidare på ett bra sätt?
- Hur gick tankeprocessen kring valet av metoder vid designandet av RecoLab?
 - Hur var det att designa en anläggning från grunden?
 - Var det något reningsverk som ni modellerade RecoLab efter?
 - Används det någon unik metod på RecoLab?

Framtiden och potential:

- Vilka utvecklingsområden arbetar ni mest med i nuläget?
 - Var ser du störst potential?
 - * Vad tror ni är nästa steg kring gråvattenhantering efter rening?
 - Vad anser ni vara era största begränsningar just nu? Potentiella lösningar?
 - Finns det några omöjligheter? Något som inte går att åter-/utvinna?
- Vad är målet för RecoLab i framtiden?
 - Är det en modell att applicera i större skala eller en enskild testanläggning?
 - Vad finns det för kostnads-/samhällsaspekter kring projektet?
 - Finns det någon mer reningsprocess ni skulle vilja integrera, t.ex alger?

- Vad ser du för generell potential inom området? Störst utvecklingsmöjlighet?
- Vilka reningsverk tycker du står i framkant idag?
- Hur hade det optimala kretsloppet kring ett reningsverk sett ut? Hur kan det uppnås?

A.3 Intervjuunderlag: Utvecklingsstrateg Hässleholm Miljö AB. Strategisk utvecklare Laholmsbuktens VA

Bakgrundsfrågor:

- Vad heter du?
- Vilken yrkesroll har du idag?
- Hur länge har du jobbat inom området?
- Vad har du för utbildning?
- Får vi tillstånd att spela in och citera dig i vår rapport?

Resursutvinning:

- Hur arbetar ni med resursutvinning från avloppsvatten idag?
 - Vilka processer använder ni? För- och nackdelar?
 - Vilka specifika resurser utvinns? Vilka mängder utvinns för de olika resurserna?
 - Kostnader för de olika resursernas utvinning (energi, kemikalier, kronor.)?
 - Kan du ta fram data från mätningar på in- och utflöde (kväve, fosfor, BOD, COD och temperatur in och ut. Även producerad biogas, cellulosa)?
 - Finns det någon biprodukt som inte kan säljas/användas vidare på ett bra sätt?
 - Anser du att slamspridning på åkrar är bra eller dåligt? Är det bra att använda slam som gödselmedel?

Framtiden och potential:

- Vad kan ni göra eller vad gör ni för att utvecklas, med avseende på hållbarhet?
 - Vad anser ni vara era största begränsningar just nu? Potentiella lösningar?
 - Finns det några omöjligheter? Något som inte går att åter-/utvinna?
- Vad har ni för mål för framtiden?
 - Vad finns det för kostnadsaspekter för framtida projekt?
 - Alternativa reningsprocesser (aktivt kol, multifunktionellt poröst kisel, biologisk rening mha växter eller alger)? Känner du till dessa och vad anser du om dom? Är det aktuellt för er att implementera i er reningsprocess?
- Vad ser du för generella potential inom området? Störst utvecklingsmöjlighet?

- Vilka reningsverk tycker du står i framkant idag? Har ni något mål om att bli lika "bra"?
- Förslag på någon typ av kretsloppsmodell?
 - Hur hade det optimala kretsloppet kring ett reningsverk sett ut och hur kan det uppnås?