



Klimatanalys av avloppsreningsverk

Analyser av två av Laholmsbuktens VA:s avloppsreningsverk med förslag på förbättringsåtgärder

Linnéa Turesson och Emma Adriansson

Miljövetenskap 15hp

2016-06-19

Handledare
Hanna Berggren

Examinator
Sylvia Waara

Sammanfattning

Den förstärkta växthuseffekten är den största orsaken till att klimatet har förändrats med en negativ effekt. Den globala uppvärmningen är ett resultat av den förstärkta växthuseffekten och är ett alarmerande hot mot både människan och miljön som kan komma att resultera i katastrofala konsekvenser. Temperaturökningen sker på grund av mänskliga aktiviteter, och den ledande faktorn för utsläpp av växthusgaser är förbränning av fossila bränslen. De största källorna till utsläpp av växthusgaser genereras inom transportsektorn, industriprocesser och energiproduktion. Det arbetas både globalt och nationellt för att minska alla länders utsläpp av växthusgaser. Arbetet har gått framåt inom många sektorer men för att nå en minskning av den totala klimatpåverkan måste alla potentiella källor för utsläpp utredas.

Baserat på vetenskapliga studier har det uppmärksammats att avloppsreningsverk avger flera växthusgaser genom de olika reningsprocesserna och bidrar därmed till växthuseffekten. Det här examensarbetet utreder två utvalda avloppsreningsverk och identifierar vilka processer som ger upphov till störst klimatpåverkan. Med hjälp av ett Excel-baserat analysverktyg beräknas klimatpåverkan och resultaten visar reningsverkens Carbon Footprint.

Målet har varit att tillhandahålla resultat från reningsverkens klimatpåverkan och fastställa vilka processer som bidrar till den största klimatpåverkan. Analyser på resultaten och förslag på förbättringsåtgärder ska hjälpa reningsverken med fortsatt klimatarbete.

Slutsatsen av beräkningarna visar att reningsverken ger ett nettoutsläpp av växthusgaser och att de största utsläppen är emissioner från avloppsvattenreningen samt biogasanvändningen. Analyser visar att resultaten kan vara osäkra då antaganden kring emissioner som har gjorts i verktyget har stora variationer. Det finns behov av fortsatta studier med mätningar på reningsverk för att ersätta data med osäkra antaganden.

Nyckelord

Avloppsreningsverk, klimatpåverkan, växthusgasemissioner, koldioxidavtryck, beräkningsverktyg

Abstract

The intensified greenhouse effect is the biggest cause for a negative climate change. Global warming is a result of enhanced greenhouse effect and poses a potential threat for humans and its surrounding environment that can result in disastrous consequences. The rise in temperature is driven by increased human activity whereas the leading cause for emissions of greenhouse gases is the combustion of fossil fuels. The prominent source of emissions is from the following sectors: transport, industrial and energy. The task of reducing the emissions of greenhouse gases is both globally and internationally prioritized. Progress has been made although every potential source for emissions has to be investigated in order to reduce the total climate impact.

Based on scientific research, wastewater treatment plants are also a contributing factor to the greenhouse effect by emissions of gases. This bachelor's thesis is investigating two wastewater treatment plants and identifying which processes contribute to the climate impact.

The climate impact is calculated with an Excel-based analyzing tool and the results show the Carbon Footprints for the treatment plants.

The purpose of this paper is to present result acquired from the treatment plants and identify the processes that have the biggest impact on our climate. Afterwards, solutions derived from the analysis of results will be suggested to improve and bring additional help to the treatment plants with their climate work.

In conclusion, it is determined that the treatment plants both have net emissions of greenhouse gases. The biggest contributor is the wastewater treatment and the use of biogas. Results from analysis show that some of the assumptions on emissions made in the tool make the initial results doubtful. Therefore, further research is needed on this subject in order to produce more reliable facts.

Keywords

Wastewater treatment, climate impact, greenhouse gas emissions, Carbon Footprint, calculation tool

Förord

Examensarbetet har genomförts som ett avslutande projekt på Miljöstrategiprogrammet respektive Miljö- och hälsoskyddsprogrammet vid Högskolan i Halmstad. Examensarbetet är en kandidatuppsats som genomförts under våren 2016 och omfattar 15 hp. Den här rapporten är ett resultat från ett samarbete med Laholmsbuktens VA. Hanna Berggren på miljökonsultföretaget SEE U har varit vår huvudhandledare och Lars- Gunnar Johansson på Laholmsbuktens VA har varit vår kontaktperson.

Vi vill först och främst tacka vår handledare Hanna Berggren för all vägledning och stöd som vi har fått under arbetets gång. Vi vill också rikta ett stort tack till Lars-Gunnar Johansson för snabba svar och hjälp när vi stött på problem. Vi vill även tacka Susanne Tumlin på Gryaab, en av författarna av verktyget, för support och granskning av våra beräkningar.

Halmstad, maj 2016

Linnéa Turesson och Emma Adriansson

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Ordlista	3
1.2 Syfte och mål	5
1.3 Avgränsningar	5
1.4 Bakgrund	6
1.4.1 Systemgränser	6
1.4.2 Emissioner.....	7
1.4.3 Ekvivalensfaktorer	7
1.5 Reningsmetoder	8
1.5.1 Mekanisk rening.....	8
1.5.2 Biologisk rening.....	8
1.5.3 Kemisk rening.....	9
1.5.4 Slambehandling.....	9
1.5.5 Slamhantering	10
1. 6 Objektbeskrivning	10
1.6.1 Västra stranden.....	10
1.6.2 Ängstorp.....	11
1. 7 Emissioner från upp- och nedströmsprocesser	12
1.7.1 Uppströmsprocesser	12
1.7.2 Nedströmsprocesser	12
1.8 Sveriges klimatpolitik.....	14
1.8.1 Miljö kvalitetsmål	14
1.8.2 Hur går det?.....	14
1.8.3 Vad behövs göras?	15
2. Material och metod	16
2.1 Insamling av data.....	16
2.2 Litteraturstudier	16
2.3 Databaser och sökord.....	16
2.4 Verkyget	16
2.4.1 Indata reningsverksemissioner	17
2.4.2 Indata kemikalier	17

2.4.3 Indata energi.....	18
2.4.4 Indata transporter	18
2.4.5 Indata slam och avfall	18
2.4.6 Indata för alternativa scenarion.....	18
2.5 Känslighetsanalys	19
2.6 Osäkerhetsanalys	19
3. Resultat	20
3.1 Känslighetsanalys	23
3.2 Osäkerhetsanalys	25
3.3 Förbättringsåtgärder.....	26
4. Diskussion	30
4.1 Osäkerheter.....	30
4.1.1 Emissioner från avloppsreningen.....	30
4.1.2. Emissioner från slamlagring	31
4.1.3 Biogasanvändningen	31
4.1.4 Gödselsubstitution.....	32
4.1.5 Elproduktion	32
4.1.6. Vad kan de göra idag?.....	33
4.2 Hållbar utveckling	34
4.3 Etiska aspekter och miljömål.....	34
5. Slutsatser	35
6. Förslag till fortsatt forskning	36
7. Referenser	37
7.1 Rapporter:	37
7.2 Vetenskapliga artiklar.....	40
7.3 Hemsidor	42
7.4 Böcker.....	43
7.5 Personlig kommunikation.....	43
8. Bilagor	44
Bilaga 1	44
Bilaga 2.....	45
Bilaga 3.....	46

1. Inledning

Vi står idag inför en rad olika miljöproblem i världen och i Sverige. Ett av de största globala problemen är den förstärkta växthuseffekten och dess påverkan på klimatet. Problemet måste prioriteras både nationellt och internationellt för att utvecklingen ska gå åt rätt håll. I Sverige arbetar vi med 16 miljömål för att minska vår antropogena påverkan på vår miljö. Ett av dem är "Begränsad klimatpåverkan" som beskriver hur vi ska agera för att minska våra utsläpp av växthusgaser och vår påverkan på klimatet (Naturvårdsverket 2013a).

Det är främst de antropogena utsläppen av växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas som bidrar till den globala uppvärmningen. Förbränning av fossila bränslen från transportsektorn, industriprocesser, el- och värmeproduktion är det som släpper ut mest växthusgaser. Vetskapen om effekterna av förbränningen av fossila bränslen har länge varit känt och arbetet med att minska dessa utsläpp pågår och har i Sverige gått framåt. Trots det fortsätter de globala halterna av växthusgaser att öka och utsläppen måste upphöra för att förhindra den förväntade temperaturökningen på två grader till år 2100 (Miljömål 2015a).

Enligt FN:s klimatpanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) är avloppsrening en källa för utsläpp av växthusgaser. Metan- och lustgasemissioner avges direkt under reningsprocesserna och koldioxid släpps ut indirekt genom hög kemikalieförbrukning (IPCC 2006a). Flertal vetenskapliga studier visar klimatpåverkan som avloppsrening bidrar med och lyfter problematiken med emissioner från reningsprocessen. De studier som finns undersöker reningsverk med olika kapacitet och reningsprocesser från länder över hela världen (Tumlin et al. 2014).

Det som avgör hur mycket och vilka emissioner som avges från reningsverk beror på vilken kapacitet och teknik som används. Biologisk rening, kemikalieförbrukning, energianvändning, transporter och slamhantering är de områden och processer som utredningen fokusera kring (Tumlin et al. 2014). Biologisk rening och slamhantering bidrar ofta till okontrollerade utsläpp av metan men även till utsläpp av lustgasemissioner. Transporter, energianvändning och kemikalieförbrukning leder till ökade utsläpp av koldioxid (Tumlin et al. 2014). Slutsatsen från forskningen är att det är de energikrävande processerna på reningsverken som står för den största klimatpåverkan (Rodriguez-Garcia 2011).

Avloppsreningsverken bidrar med en stor miljönytta när de renar vårt avloppsvatten som sedan släpps ut i våra vattendrag. Övergödning av våra vatten är ett uppmärksammat problem som har lett till restriktioner kring reningen av vårt avloppsvatten (Naturvårdsverket 2012). Idag ställs det krav på hur mycket organiskt material, kväve och fosfor som reningsverken får släppa ut i recipienten. Reningsverkens påverkan på övergödningen har således minskat men det är fortfarande ett stort problem, i synnerhet för Östersjön (Miljömål 2015b). Högre utsläppskrav på reningsverken kommer i framtiden att innebära mer energikrävande processer som resulterar i högre utsläpp av koldioxid (IPCC 2006a).

Forskningen visar att utsläppen av växthusgaser från reningsverk kan vara stora men vilka volymer som avgår är olika, beroende på hur reningsverken är uppbyggda och vilket land de befinner sig i. Parametrarna som kan variera mellan reningsverken är olika utsläppskrav för utgående vatten, recipient och rådande klimat (Flores-Alsina et al. 2011).

IPCC:s rapport beskriver att avloppsreningsverk kan ha en betydande påverkan på klimatet och uppmanar till framtida klimatutredningar. I dagsläget finns det inget krav på reningsverken att utreda sin klimatpåverkan men enligt IPCC finns det vetenskapliga bevis för att utredningar behövs. Framtida ökad flödesbelastning och striktare utsläppsnivåer på avloppsvattnet kommer att innebära en ökad klimatpåverkan från reningsverken. Det är därför av stor vikt att utredningar av reningsverken kan påbörjas så snart som möjligt för att arbeta i förebyggande syfte (IPCC 2006a).

1.1 Ordlista

Aerob - Biologisk process som kräver tillgång till syre.

Anaerob - Biologisk process som sker utan tillgång till syre.

Antropogen - Effekt som beror av mänsklig påverkan.

BOD₇ - Biochemical Oxygen Demand, mått på innehållet organiskt material som finns i vatten. Förklarar hur mycket syre som krävs för att bryta ner organiskt material i en period över 7 dygn.

Carbon Footprint - Koldioxidfootavtryck, totala antropogena utsläpp av växthusgaser från en organisation/individ/produkt och mäts i enheten koldioxidekvivalenter.

COD - Chemical Oxygen Demand, Mått på hur mycket syre som förbrukas vid fullständig kemisk nedbrytning av organiskt material i vatten.

Emissioner - Ämnen som avgår och frigörs till omvärlden.

GWP - Global Warming Potential, en faktor som beskriver hur mycket ett utsläpp av en växthusgas bidrar till den globala klimatpåverkan.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change, FN:s klimatpanel som ska förse världen med ett tydligt vetenskapligt perspektiv över rådande klimatförändringar och dess påverkan utifrån internationella forskningsrapporter.

Koldioxidekvivalent (CO_{2e}) - En gemensam faktor för växthusgaserna som visar hur mycket koldioxid som hade behövts släppas ut i relation till andra växthusgaser.

Kristallin struktur - Ämnen med en ordnad position av ämnets atomer.

Marginaler - Produceras när det behövs mer energi än vad som finns på nätet. För att tillgodose behovet används ofta kolkraft för att snabbt täcka dessa ”toppar”.

Rejektvatten - Kväverikt vatten som avskiljs vid avvattning av slam.

Pe - Personekvivalenter, den genomsnittliga mängd organiskt material (70 g BOD₇/person * dygn).

TS - Total solids, torrsubstanshalt, andelen material som kvarstår efter torkning vid 105°C i 24 timmar.

VS - Volatile solids, glödförlust, andel organiskt material som förbränns vid en temperatur av 550 °C.

Växthuseffekten - En värmande inverkan som atmosfären har på grund av sin förmåga att absorbera, reflektera eller släppa igenom strålning av olika våglängder. Utan den naturliga växthuseffekten hade medeltemperaturen på jorden varit cirka 30 grader kallare än idag. När människan genom olika aktiviteter släpper ut växthusgaser bidrar det till den förstärkta växthuseffekten, vilket resulterar i en global uppvärmning.

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att beräkna utsläppen av växthusgaser från två av Laholmsbuktens VA:s (LBVA) reningsverk och identifiera vilka processer som ger upphov till mest utsläpp. Resultaten från reningsverken ska jämföras med varandra. Osäkerhets- och känslighetsanalyser kommer att studera resultatens pålitlighet. Resultatet ska ge LBVA en överblick över de processer i verksamheterna som ger upphov till de största växthusgasemissionerna.

Vårt mål med examensarbetet är att kunna ta fram ett resultat av reningsverkens klimatpåverkan redovisat i koldioxidekvivalenter och fastställa vilka processer som bidrar till den största påverkan. Målet med klimatutredningen är att ge LBVA kunskap gällande deras klimatpåverkan och den forskning kring förbättringsåtgärder som finns för att minska utsläppen av växthusgaser. Kunskapen kommer förhoppningsvis att ge dem förutsättningar för att minska verksamhetens klimatpåverkan.

1.3 Avgränsningar

I projektet har endast klimatpåverkan från de två avloppsreningsverken undersöks, ytterligare miljöpåverkan beaktas inte och inte heller påverkan från uppbyggnaden, rivning och underhåll. Kostnader för eventuella förbättringar tas inte med och inte heller juridiska frågor.

Emissionerna beräknas på årsbasis och har tillhandahållits från LBVA:s interna och externa provtagningar. Inga egna provtagningar eller mätningar har gjorts. Vid avsaknad av data från LBVA så har det baserats på litteratordata i verktyget eller egna efterforskningar.

1.4.2 Emissioner

Resultaten visar ett Carbon Footprint för varje reningsverk och inkluderar koldioxid, metan samt lustgas. Carbon Footprint kan användas för beräkningar inom avloppsreningsverk om det tydligt framgår vilka växthusgaser som inkluderats (Tumlin et al. 2014). Metan (CH₄)- och lustgasemissioner (N₂O) är två växthusgaser som avgår från avloppsreningsprocessen och måste därför inkluderas utöver koldioxid (CO₂). I beräkningen exkluderas gaser som anses ha mindre påverkan då emissionerna av dessa antas vara obefintliga från avloppsvattenrening (Tumlin et al. 2014).

1.4.3 Ekvivalensfaktorer

Växthusgasernas effekt på klimatet varierar i styrka för de olika gaserna. För att mäta och jämföra påverkan från de olika växthusgasemissionerna är det nödvändigt att omvandla de olika växthusgaserna till en gemensam parameter, se tabell 1. För att bestämma den potentiella klimatpåverkan (GWP) omvandlas emissionerna till en gemensam faktor, koldioxidekvivalenter (CO_{2e}). Beroende på vilken tidsperiod man vill räkna klimatpåverkan samt hur långlivade de olika växthusgaserna är, får koldioxidekvivalenterna även en tidsdimension. Metan är mindre långlivat än både koldioxid och lustgas. Ur ett kortsiktigt perspektiv är metanutsläppen värst (IPCC 2013). I verktyget används ett 100-års perspektiv eftersom det är det som används vid nationell rapportering av klimatpåverkan till FNs klimatkonvention (IPCC 2006b).

Tabell 1. Växthusgaserna omräknat till koldioxidekvivalenter i relation till olika tidsrymder (Tumlin et al. 2014)

Växthusgas	Livslängd i atmosfären (år)	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀
N ₂ O	144	268 (kg N ₂ O/kg CO ₂)	298 (kg N ₂ O/kg CO ₂)
CH ₄	12	86 (kg CH ₄ /kg CO ₂)	34 (kg CH ₄ /kg CO ₂)
CO ₂	100	1	1

1.5 Reningsmetoder

Idag ser reningen vid kommunala reningsverk generellt liknande ut. Reningen sker i tre olika steg, mekanisk, biologisk och kemisk rening. Vid god biologisk rening kan det kemiska steget exkluderas (Persson 2005). Nedan följer de metoder och processer som förekommer på Västra strandens och Ängstorps reningsverk.

1.5.1 Mekanisk rening

Den mekaniska reningens huvudsyfte är att avskilja större föremål och partiklar från avloppsvattnet. Det inkommande vattnet leds först genom ett rensgaller som har en rullstrappsfunktion. Gallret har en spaltvidd på 2-3 millimeter och det är de stora fasta föremålen som rensas bort (Persson 2005). Det går sedan vidare till en renstvätt och press för att hålla nere volymerna. Renset som avskilts transporteras sedan till en förbränningsanläggning (LBVA 2015a).

Det efterföljande mekaniska steget är ett luftat sandfång. I det luftade sandfånget sedimenteras sand och andra tunga partiklar där de långsamt sjunker ner till botten (Persson 2005). Genom att låta större partiklar ansamlas på botten så minskar man på slitaget av pumpar och annan utrustning. Botten skrapas sedan för att sedimentet ska samlas ihop. Sedimentet innerhåller mycket sand som efter tvättning kan användas som anläggningsmaterial internt och externt. Fett som flyter upp till ytan samlas upp med hjälp av en skrapa och går sedan till förbränning (LBVA 2015a). Vid större vattenflöden än vad reningsverket klarar av leds en del av vattnet om innan sandfånget till en intern bräddvattenanläggning. Den mekaniska reningen avslutas med en försedimenteringsbassäng där syftet är att avskilja ytterligare fasta partiklar och föroreningar (LBVA 2015a).

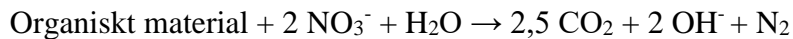
1.5.2 Biologisk rening

Det biologiska reningssteget används för att reducera organiskt material, kväve och fosfor.

Det är en mikrobiologisk process där bakterier omvandlar respektive tar upp kväve och fosfor för att sedan sedimenteras på botten. Biologisk rening kan ske aerobt eller anaerobt och oftast är det en kombination av de båda. I den biologiska reningen kan det ske metan- och lustgasemissioner. Lustgas är en stark växthusgas som har en stor påverkan på växthuseffekten (Tumlin et al. 2014).

Kvävereningen sker i aktivslambassänger med oluftade zoner som kallas anoxzon och luftade aeroba zoner. Returslam återinförs i bassängerna från eftersedimenteringsbassänger som är det nästa steget i reningen. Returslam kallas för aktivt slam eftersom det innehåller mikroorganismer som behövs för kväverening och nedbrytning av organiskt material. Nitrifikationsbakterier och denitrifikationsbakterier utnyttjas för att omvandla kvävet i avloppsvattnet till kvävgas. Vid låga halter syre, för mycket nitrit, eller hastiga processförändringar kan lustgas bildas på grund av ofullständig denitrifikation eller nitrifikation (Persson 2005). Vid avloppsreningsverken sker en fördenitrifikation, vilket betyder att denitrifikationssteget sker innan nitrifikationssteget (LBVA 2015a, b).

Denitrifikation:



Nitrifikation:



(Persson 2005)

I biologisk fosforrening försöker man gynna speciella bakterier som heter Acinetobakter som konsumerar fosfor (Persson 2005). På Västra stranden använder de sig av biologisk fosforrening men hade problem med processen och fick under halva året tillsätta fällningskemikalier för att kemiskt fälla ut fosfor (LBVA 2015a).

1.5.3 Kemisk rening

Kemisk rening används främst för att minska halterna fosfor innan det släpps ut i recipienten (Persson 2005). På grund av problem med den biologiska fosforreningen hos Västra stranden använder de kemisk rening av fosfor som även Ängstorp har (LBVA 2015a, b). I det kemiska reningssteget tillsätts fällningskemikalier i flockningsbassänger och vid Västra stranden även trycksatt vatten (dispersionsvatten) för att avskilja fosfor. Fosfor reagerar med fällningskemikalien och bildar små flockar, klumpar. Flockarna fäster på luftbubblorna och flyter med upp till ytan, en process som kallas flotation (Persson 2005). Därefter leds det behandlade vattnet vid Västra stranden vidare till flotationsbassänger där kemslemmet samlas upp för vidare behandling (LBVA 2015a). Vid Ängstorps reningsverk leds det kemiskt behandlade vattnet vidare till flockningsbassänger för att avslutas i sedimenteringsbassänger. Slammet som bildas skiljs av och förs till vidare slambehandling (LBVA 2015b).

1.5.4 Slambehandling

Det sista steget i ett avloppsreningsverk är hanteringen av slam som är en restprodukt från reningsprocessen. Mängden slam som produceras beror på de olika reningsstegen samt vilka processer som används (Persson 2005).

Reningsverken tar emot slam från mindre reningsverk och enskilda avlopp som sedan samrötas. Innan rötning tillsätts polymer i en mekanisk förtjockare, vid Västra stranden stabiliserar sedan slammet i en anaerob termofil (55 °C) nedbrytningsprocess. Vid Ängstorps reningsverk använder man en anaerob mesofil (35-37°C) nedbrytningsprocess. Förutom att slammängden minskar vid nedbrytning så behöver slammet stabiliseras för att det inte ska innehålla biologiskt nedbrytbart organiskt material som kan ge luktproblem. Det förhindrar även att slammet innehåller parasiter, bakterier och virus som kan sprida sjukdomar (Persson 2005). Slammet som är i vätskeform behöver avvattnas för att minska i volym och vikt och även för att få ut en bättre slutprodukt (Persson 2005). Avvattningen sker först med en tillsats av polymer för att sedan på Västra stranden centrifugeras och på Ängstorp skruvpressas (LBVA 2015a, b).

Rötning är en nedbrytningsprocess som sker i en sluten kammare under anaerobiska förhållanden och resulterar i att rötgas bildas. Rötgasen består i huvudsak av metangas och koldioxid. Metan är en växthusgas som har en stor påverkan på växthuseffekten. Det är därför viktigt att minska metanläckage som kan uppstå vid processen och även att ta till vara på all den gas som produceras. Rötgasen som bildas kallas för biogas och är en produkt som kan användas för att generera värme och el (Persson 2005). Västra stranden har en kombinerad gasmotor som utvinnet både värme och el för internt bruk. Ängstorp använder gasen till att driva en värmepanna och använder värmeenergin internt (LBVA 2015a, b).

1.5.5 Slamhantering

Sluthantering av slam från de båda avloppsreningsverken skiljer sig åt. Ängstorp skickar sitt slam för tillverkning av anläggningsjord och Västra stranden sprider största delen av sitt slam på åkermark (LBVA 2015a, b). Resterande mängd slam används till jordtillverkning och deponitäckning. Västra stranden är Revaq- certifierat, ett certifieringssystem med syfte att skapa en hållbar återföring av näringsämnen i slammet till jordbruket. Revaq- certifieringen kvalitetssäkrar reningsverkens arbete för att minska de oönskade ämnena i slammet (Revaq 2016).

Genom att använda rötat slam från reningsverk som gödningsmedel på åkrar minskas behovet av att använda mineralgödsel. Det rötade slammet innehåller näringsämnena kväve, fosfor, svavel och kalium. Kväve och fosfor är två viktiga växtnäringsämnen. Beroende på hur stor andel kväve och fosfor det finns i slammet anses det substituera mineralgödsel (Selinus 2011). Fosfor anses vara en ändlig resurs och det är därför viktigt att effektivisera användningen och att förbättra återanvändningen. Framställningen av kväve till mineralgödsel är en resurskrävande och dyr process. Genom att återföra näringsinnehållet i slam kan det istället minska påverkan och resursanvändningen från framställningen av mineralgödsel (Selinus 2011).

1. 6 Objektbeskrivning

De två avloppsreningsverken, Västra stranden och Ängstorp som studeras i examensarbetet, drivs av Laholmsbuktens VA som är en kommunal förvaltning som styrs av en nämnd med politiker från både Halmstads och Laholms kommuner. LBVA ansvarar för dagvatten-, spillvatten- och dricksvattenverksamhet i Laholms och Halmstads kommun (LBVA 2016).

1.6.1 Västra stranden

Västra stranden tar idag emot och behandlar vatten från Halmstads tätort samt ett antal mindre orter vilket innebär att cirka 70 000 personer är anslutna till reningsverket. De tar även emot vatten från ett tjugotal tillståndsprövade industrier (LBVA 2015a). Reningsverket är dimensionerat för att klara 143 000 personekvivalenter (pe) eller maximalt 10 000 kg BOD₇/dygn, beräknat på 70 g BOD₇/person och dygn (LBVA 2015a).

De har en medelbelastning på 101 000 pe och behandlar externt slam från enskilda avlopp samt kommunens övriga reningsverk. Deras utlopp ansluter till Nissan som mynnar ut i Laholmsbukten (LBVA 2015a).

Verkets vattenbehandling:

- Rensgaller
- Luftat sandfång
- Försedimentering (möjlighet för dosering av fällningskemikalier)
- Aktivslamanläggning (biologisk fosforrening, fördenitrifikation, aktivreturslamprocess (ARP) för rejektvattenbehandling)
- Mellansedimentering (returslampumpning via ARP-bassängen)
- Flotation (dosering av fällningskemikalier)
- Efterpolering i dammsystem
- Utlopp i Nissan

1.6.2 Ängstorp

Ängstorps är ett mindre reningsverk som tar emot och behandlar vatten från Laholms tätort samt ett par mindre orter. Idag är cirka 9 500 personer anslutna till reningsverket och även ett fåtal tillståndspliktiga verksamheter. Reningsverket tar även emot lakvatten från en deponi. Reningsverket är idag dimensionerat till att klara 21 000 pe, vilket motsvarar en maximal belastning på 1470 kg BOD₇/dygn, men har en medelbelastning på 10 500 pe (LBVA 2015b). Under 2016/2017 ska två andra reningsverk, Veinge och Hedhuset avvecklas för att leda om deras vatten till Ängstorp (LBVA 2015b). Ängstorps reningsverk kommer därför byggas ut för att klara av den ökade belastningen. Den utökade verksamheten har tillstånd för en genomsnittlig belastning på 50 000 pe och efter ombyggnationen räknas 33 000 personer anslutas till Ängstorps reningsverk (LBVA 2015c).

Verkets vattenbehandling:

- Rensgaller
- Luftat sandfång
- Försedimentering
- Aktivslamanläggning med fördenitrifikation, intern kolkälla
- Mellansedimenteringsbassäng
- Kemisk fosforavskiljning, flockningsbassäng med grindomrörare
- Eftersedimenteringsbassänger
- Utlopp i Lagan

1. 7 Emissioner från upp- och nedströmsprocesser

I tidigare nämnda vatten- och slamprocesserna uppstår direkta emissioner från reningsverken. Verktuget kartlägger och beräknar även de indirekta emissionerna. De kan uppstå i upp- och nedströmsprocesser vid hantering eller tillverkning av produkter och restprodukter vid reningsverken (Tumlin et al 2015).

1.7.1 Uppströmsprocesser

De uppströmsprocesser som inkluderas är inköpt el, värme, produktion och transporter av kemikalier. Transport av externt slam till reningsverken inkluderas inte. De olika uppströmsprocesserna bidrar till utsläpp av koldioxid. Utsläppen från elproduktion kan variera kraftigt beroende på vilken elkälla som används (Tumlin et al. 2014). Koldioxidutsläppen för el varierar mellan 750 g CO₂/kWh för europeisk marginael och 10 g CO₂/kWh för svensk elmix (Elforsk 2008). Svensk elmix består till största del av vattenkraft och kärnkraft, vilket resulterar till ett lågt koldioxidutsläpp (Svensk energi 2016). Idag sker ett utbyte av el mellan de nordiska länderna men det finns ett direktiv om att ha en gemensam europeisk elmarknad. En nordisk elmix beror till stor del av förnybara källor och har därför låga utsläpp av koldioxid per producerad kWh (Gode 2009).

Val av värmekälla har även betydelse i hur mycket koldioxid som släpps ut vid produktionen. I verktuget används en svensk värmemix som ger upphov till 89 g CO₂/kWh. Siffran är baserad på en sammanställd mix av fjärrvärmeproduktionen i Sverige. Finns det en specifik siffra för den lokala produktionen av fjärrvärme kan den med fördel användas (Tumlin et al. 2014).

Produktionen av kemikalier bidrar till stora utsläpp av växthusgaser. Kemikalierna som används produceras främst av större kemikalieföretag i Europa och utsläppen från dessa kan variera mellan 2,7 kg CO₂/ton (BASF 2016) till 3560 kg CO₂/ton producerad produkt (VA-teknik Södra 2014). Kemikaliernas transporter inkluderas i beräkningen med hänsyn till fordonsvikt och drivmedel. Det tas inte hänsyn till var produktionen skett utan man mäter avståndet från grossistlagret till reningsverket (Tumlin et al. 2014).

1.7.2 Nedströmsprocesser

De olika nedströmsprocesserna genererar utsläpp av växthusgaser men kan även resultera i en minskning av det totala utsläppet av växthusgaser (Tumlin et al. 2014).

Biogas

Genererade emissioner

Förbränning av biogas för att producera värme och el ger emissioner av koldioxid, metan och lustgas (Foley et al. 2010). Vid service av förbränningsanläggningen eller överskott av biogas facklas gasen. Fackling innebär att gasen bränns utan att ta tillvara på dess energi, och ger utsläpp av koldioxid men också metangas (Brown et al 2010).

Undvika emissioner

Biogas som produceras har olika användningsområden, till exempel för att producera el, värme eller drivmedel. Fördelarna med att ta tillvara på biogasen är många. Vid el- och värmeproduktion från biogas undviks emissioner från alternativa produktionskällor, exempelvis förbränning av fossila bränslen (Bani et al. 2010).

Transport

Genererade emissioner

Transporter av sand, rens, fett och slam ger upphov till indirekta emissioner. Avstånd och val av fordonbränsle påverkar koldioxidutsläppen. I verktyget kan användaren välja om fordonet drivs av förnybart bränsle eller diesel (Tumlin et al. 2014).

Hantering och lagring av slam

Genererade emissioner

Hantering och lagring av slam kan leda till emissioner av metangas och olika kväveföreningar. Kväveföreningarna som bildas är främst lustgas- och ammoniakemissioner (IPCC 2006c). Emissionerna leder till lägre andel kväve i rötslammet som resulterar i ett lägre näringsinnehåll (Tumlin et al. 2014). Gaserna som bildas beror på mängden nedbrytbart organiskt material, temperatur och lagringsdagar. Spridning av slam på jordbruksmark är den vanligaste slutanvändningen av slam, efter följer jordtillverkning, förbränning och deponitäckning (Brown et al 2010).

Undvikna emissioner

Spridning av slam på åkermark resulterar i klimatvinster genom att minska behovet av mineralgödsel. Produktion av mineralgödsel är en energikrävande process som släpper ut både koldioxid och lustgas (Tumlin et al. 2014). Vid spridning av slam på åkermark omsätts inte allt kol av växtligheten, utan lagras i marken och en så kallad kolinlagring sker. Kolinlagring minskar nettoutsläppen av växthusgaser (Smith et al. 1997). Vid slutanvändning av slam som täckningsmaterial på deponi, kan deponigasen som avgår tillvaratas för att användas till el- och värmeproduktion på anläggningen (Tumlin et al. 2014).

Rens och sand

Genererade emissioner

Hantering av rens och sand kan generera emissioner beroende på vald process. Rens till förbränning eller deponering förtvättas och detta ger en ökad energiförbrukning. Det kan även rötas och behöver då inte tvättas först. Sand behöver tvättas innan det kan användas om det ska gå till materialåtervinning. Detta ökar energiförbrukningen men är ett bättre alternativ i verktyget än deponering (Tumlin et al. 2014).

Undvikna emissioner

Vid förbränning av rens där energin tas tillvara som värme och el kan det ersätta annan produktion av energi och leder därmed till undvikna emissioner. Återvinning av sand undviker emissioner i samband med brytning och produktion av grus (Tumlin et al. 2014).

Recipient

Genererade emissioner

Recipient av avloppsvatten kan ge upphov till metan- och lustgasemissioner. Volymerna beror på om recipienten är ett vattendrag, hav eller sjö. Emissionerna varierar även beroende på halterna kväve och COD i utgående vatten. Det är svårt att mäta och räkna på hur stora emissionerna är och variationen av litteratordata är därför stor (IPCC 2006a).

1.8 Sveriges klimatpolitik

De senaste 150 åren har globala temperaturmätningar fastställt att det senaste decenniet varit varmast hittills. Forskare är eniga om att det är mänsklig aktivitet som har bidragit till att den globala medeltemperaturen ökat. Förbränning av fossila bränslen är den största källan till den förstärkta växthuseffekten (Miljömål 2013). En ökning av jordens medeltemperatur leder till mer extrema väderförhållanden, världsisar som smälter och temperaturökning av haven (Naturvårdsverket 2016). Den globala temperaturökningen måste bromsas för att inte överstiga en ökning med två grader, i jämförelse med den förindustriella nivån. För att klimatförändringarna inte ska bli permanenta måste utsläppen av växthusgaser begränsas (Miljömål 2015a).

1.8.1 Miljökvalitetsmål

Sveriges arbete med att minska klimatpåverkan och uppnå de kraven på utsläpp, grundar sig i 16 miljökvalitetsmål som är fastställda av riksdagen. Målen är till för att beskriva hur nuläget för den svenska miljön är och precisera hur arbetet ska fortgå för att nå de mål som satts upp (Miljömål 2015a). Olika myndigheter har det övergripande ansvaret för målen. "Begränsad klimatpåverkan" är ett miljökvalitetsmål som har Naturvårdsverket som ansvarig myndighet. Målet är att stabilisera klimatförändringarna genom att minska halterna av växthusgaser i atmosfären (Miljömål 2015a).

1.8.2 Hur går det?

Klimatmötet i Paris resulterade i ett bindande klimatavtal som slår fast att den globala temperaturökningen ska vara under två grader jämfört med förindustriella nivån. Ett mål i avtalet är att länderna ska arbeta för att temperaturökningen ska hålla sig under 1,5 grader. Utvecklande länder ska leda arbetet med att minska sin klimatpåverkan och varje land ska delge sina åtgärder för att målet ska nås (UNFCCC 2015).

Den årliga svenska uppföljningen som gjordes 2016 visade att endast två av de 16 kvalitetsmål kommer att nås till 2020 (Miljömål 2016). "Begränsad klimatpåverkan" har inte uppnåtts och anses inte heller kunna nås med de styrmedel och åtgärder som finns idag. Det finns en vision om att nå nettonollutsläpp av växthusgaser till 2050. Arbetet för att minska utsläppen går framåt men fler insatser behövs för att visionen (Miljömål 2016).

1.8.3 Vad behövs göras?

Sverige behöver införa nya styrmedel inom klimat- och energiområdet men även skärpa de existerande. Det måste även tas hänsyn ur ett konsumtionsperspektiv då import och export bidrar till de globala växthusemissionerna. Satsningar måste förutom i enskilda länder också bedrivas internationellt för att begränsa utsläppen (Miljömål 2016).

2. Material och metod

Arbetet har bestått av beräkningar med hjälp av beräkningsverktyget för att förstå hur stor klimatpåverkan de två avloppsreningsverken har samt vilka processer som påverkar mest. Det har även gjorts en litteraturstudie av forskning kring förbättringsåtgärder på avloppsreningsverk som kan minska klimatpåverkan. Åtgärder presenteras i resultat för framtida förbättringsåtgärder för LBVA.

Två olika reningsverk, Västra stranden och Ängstorp, har studerats för att beräkna deras Carbon Footprint. Resultaten analyseras och jämförs med varandra.

2.1 Insamling av data

Den största delen data som samlats in kommer direkt från reningsverken och deras interna kontroller. Det har även gjorts studiebesök på respektive reningsverk med genomgång av hela verksamheten och deras egenkontroller. Då inte all nödvändig data fanns att tillgå har resterande data samlats in via mail- och telefonkontakt med diverse entreprenörer. Även eftersökningar på databaser har utförts.

2.2 Litteraturstudier

Litteratursökningen har gjorts över internet och i böcker för att få fram data till beräkningarna och även för bakgrundsinformation. Litteraturen som används baseras till största del på vetenskaplig forskning men kommer även från myndigheter, organisationer och hemsidor vilket framgår i källhänvisningen. Litteraturstudien på förbättringsåtgärder är baserad enbart på vetenskaplig forskning.

2.3 Databaser och sökord

De databaser som använts vid sökning efter vetenskapliga studier är Google Scholar, Summon, PubMed och Web of Science.

De sökord som används för att söka efter relevant forskning innefattar; wastewater treatment plants, - greenhouse gas emissions, - Carbon Footprint, -Scandinavian, - process impact, -energy savings, life cycle assessment wastewater.

2.4 Verktyget

Klimatpåverkan beräknas med hjälp av ett beräkningsverktyg som Svenskt Vatten har tagit fram via Svenskt Vatten Utveckling (Tumlin et al. 2014). Svenskt Vatten är en branschorganisation för VA-organisationer. De jobbar för att Sverige ska ha friskt och rent vatten samt tillgång till hållbara vattentjänster.

Med spetskompetens hjälper de sina medlemmar genom att företräda dem i olika sammanhang och bidra till deras utveckling. Svensk vatten utveckling är en forskningsavdelning inom Svenskt Vatten (Svenskt Vatten 2016).

Verktyget har utvecklats för att öka kunskaperna kring reningsverkens klimatpåverkan och för att se vilka processer i reningen som står för den största andelen växthusgasemissioner. Beräkningsverktyget grundar sig i LCA metodiken som beräknar allt som krävs för att starta upp, driva och avveckla processer inom ett företag eller en produkt. Vid framtagningen av en LCA kan begränsningar göras på detaljnivå, mot natursystem samt i tid och rum (Bauman 2004).

Verktyget är anpassat efter förhållanden på svenska avloppsreningsverk men är baserat på forskning från omvärlden. Syftet med verktyget är att reningsverken själva ska ha tillgång till verktyget för att kunna beräkna hur stor klimatpåverkan reningsverket har. Verktyget består av ett Exceldokument med tillhörande rapport och manualdel (VA-teknik Södra 2014). Beräkningsverktyget inkluderar verkets avloppsvattenrening, uppströms- och nedströmsprocesser. Användaren letar själv upp specifik data för reningsverket och fyller i den under de olika kategorierna Saknas det data så finns det möjlighet att använda litteraturdata som finns i verktyget. Nedan presenteras de antaganden och egna uträkningar som har gjorts.

2.4.1 Indata reningsverksemissioner

I reningsverksemissioner sattes det in inkommande och utåtgående näringsämnen i flödet under en årsbasis. Det skrevs in medeltal för näringsinnehållet i externt slam från enskilda avlopp och andra mindre reningsverk i två separata tabeller för båda reningsverken. Västra stranden har separat rejektivattenbehandling från slamavvattningen. Reningsverket använder sig av en aktiv returslamprocess (ARP). Metoden finns inte med i verktyget och därför valdes “nitrifikation - denitrifikation (i SBR)” då den processen är mest lik. Mängden ammoniumkväve som reduceras i ARP är cirka 1000 mg/l och multipliceras med volym rejektivatten som behandlas per dygn.

2.4.2 Indata kemikalier

I verktyget inkluderas reningsverkens klimatpåverkan från kemikalieanvändningen. Ämne, mängd, transport och Carbon Footprint fylls i. Genom personlig kontakt med de olika kemikalieleverantörerna kunde data om transportsträckorna från lagringslokalerna till reningsverken sättas in. Verktyget har många av kemikalierna och deras Carbon Footprint från produktionen inlagt. Några av de kemikalierna som användes vid reningsverken saknades i verktyget. Genom personlig kontakt med kemikalieleverantörerna kunde dessa sättas in manuellt. För två av kemikalierna framkom inget Carbon Footprint av leverantör. Därför används två jämförelsebara kemikalier. Magnaflock 110 L sattes in under “polymerer från SNF” och Afranil som en generell skumdämpare med Carbon Footprint från SNFs kemikalieproduktion.

2.4.3 Indata energi

Reningsverkens energianvändning inkluderar inköpt och egenproducerad energi. Den inköpta elen fylldes i som hundra procent förnyelsebar el för båda verken. Västra stranden producerar en del av sin el från egenproducerad biogas och solceller. Reningsverken producerar värme från sin biogas, Ängstorp bränner även olja för värme och Västra stranden köper in fjärrvärme från den lokala sopförbränningen. Eftersom att fjärrvärmens ursprung är känd användes deras lokala emissionsfaktor som är 85 g CO_{2e}/kWh istället för litteratuvärdet i verktyget (Svensk fjärrvärme 2014). Mängden facklad biogas på Ängstorp saknades för 2015 då deras gasflödesmätare var ur drift, användes siffror från 2014. Då gasflödesmätaren var ur drift kunde inte heller den totalt producerade volymen biogas mätas. Volymen biogas räknades ut genom att använda volymen biogas som gick till värmeproduktion. Vid beräkning av Ängstorps förbränning av olja användes en verkningsgrad på 75 % (Energirådgivningen 2015).

2.4.4 Indata transporter

Transporterna inkluderade bortforsling av slam, rens, sand och brännbart avfall. Transport och behandling av fett finns inte med i verktyget och det valdes därför att sättas in under "slam till förbränning". Västra strandens transporter inkluderar inte brännbart avfall men det ingår i siffrorna från Ängstorp. Vid spridning av slam till åkermark från Västra stranden har en medelsträcka räknats ut från lagringsplattan till de olika kommuner där slammet spridits. Alla transporter från reningsverket körs på fossila bränslen och antas ha en vikt på 40 ton i beräkningen.

2.4.5 Indata slam och avfall

Data angående slam, avfall och rens fylldes i här samt mängderna och vilken slutanvändning de hamnade på. Mängden rens på Ängstorp inkluderade brännbart avfall i den totala summan. Det fanns inget alternativ för att fylla i fettmängden som producerats på verken. Antalet lagringsdagar av slam innan vidare hantering fylldes i utefter hur många dagar slammet lagrades på reningsverken innan det blir hämtat av entreprenören. På Västra stranden är det cirka en dag och Ängstorp fyra.

2.4.6 Indata för alternativa scenarion

För att undersöka hur användningen av biogas som fordonsbränsle påverkar utsläppen från Västra stranden byts ett par parametrar ut. Volymen biogas som tidigare används till produktion av el och värme används istället till fordonsgas. Eftersom att det är en hypotetisk situation görs antaganden kring hur stor volym biogas som blir fordonsgas och att propan inte tillsätts. För att ersätta biogasens energiproduktion används de redan förekommande el- och värmeleverantörerna. Det finns tre uppgraderingsmetoder i verktyget som är olika energikrävande och därför testas alla tre. Kontroll om hur antalet lagringsdagar av slam påverkar det totala utsläppet utförs genom att lagringsdagarna på Västra stranden byts ut till 100 dagar istället för en dag.

2.5 Känslighetsanalys

För att få en bättre förståelse över de påverkande faktorerna i en beräkning görs en känslighetsanalys. Analysen används för att undersöka de processer i systemet som kan ha den största miljöpåverkan. Känslighetsanalysen genomförs för att ta reda på hur resultatet kan ändras genom att förändra några nyckelantaganden.

2.6 Osäkerhetsanalys

En osäkerhetsanalys görs för att undersöka hur tillförlitlig införd data är. När tillförlitlig data saknats och antaganden har gjorts kan en förändring av dessa visa om det blir stor skillnad på slutresultatet. Genom analysen går det att ta reda på vilka processer som har störst påverkan och att det behövs platsspecifik och tillförlitlig data från dem.

3. Resultat

Båda reningsverken har nettoemissioner av växthusgaser. De största utsläppen kommer från emissionerna från avloppsvattenreningen och biogasanvändningen, se tabell 2. För att göra en jämförelse av reningsverken presenteras klimatpåverkan uträknat till kg CO_{2e} (per personekvivalenter) och år, se figur 2.

Tabell 2. Klimatpåverkan i ton CO_{2e} per år.

	Västra stranden	Ängstorp
Energianvändning	79	76
Slamhantering	- 282	- 12
Avloppsvattenrening	2871	162
Kemikalier	276	14
Recipient	66	6
Transporter	21	6
Rens- och sandhantering	12	25
Biogasanvändning	687	61
Total	3730	338

Resultaten presenteras i procentandel av den totala klimatpåverkan från reningsverken, se figur 3. Energianvändningen på Ängstorps reningsverk bidrar med 22 % av deras totala utsläpp, vilket är en betydligt större siffra jämfört med 2 % på Västra stranden. Ängstorps energianvändning får större utsläpp eftersom de delvis värmer upp verksamheten med olja.

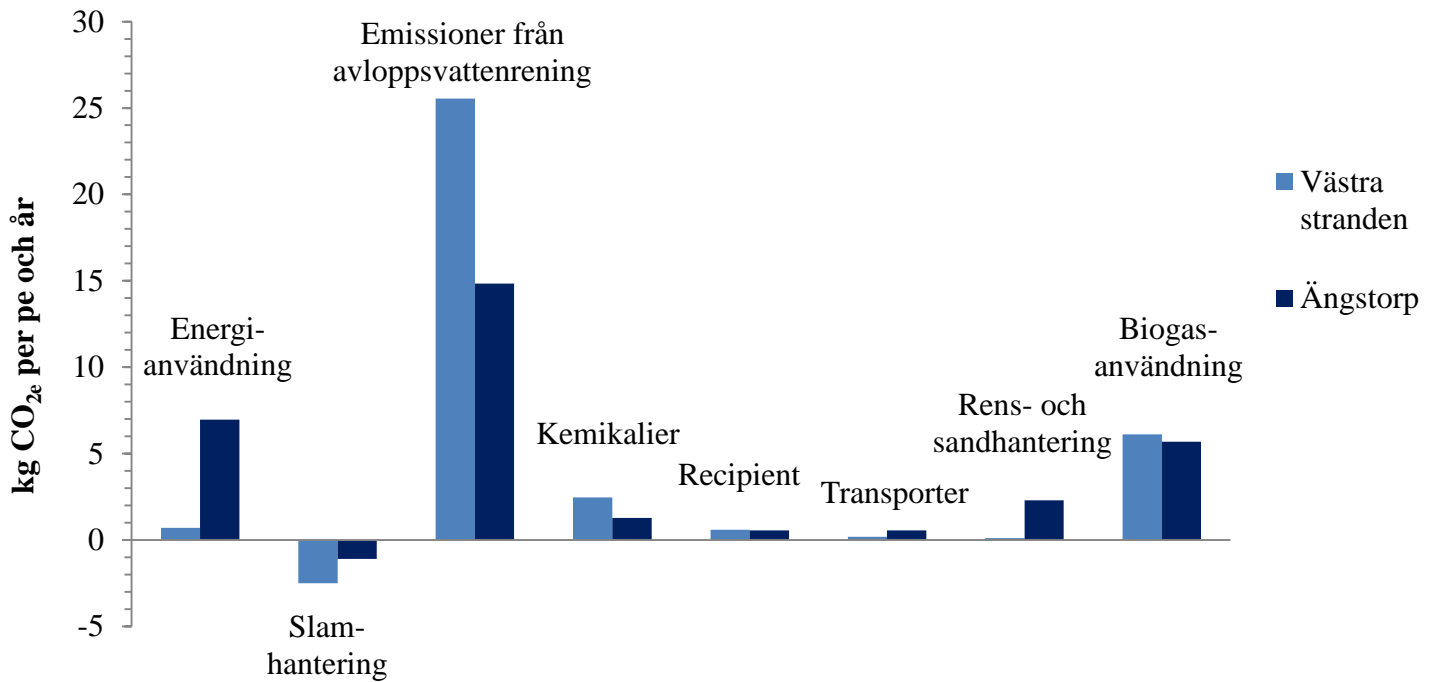
Slamhanteringen resulterar i en minskning av klimatpåverkan från båda verken. Västra strandens slam användes till största del för gödsling och gav en minskning med 7 %. Ängstorp vars slam användes för jordtillverkning gav en minskning på 3 %. Substitueringen av mineralgödsel ger endast en liten förändring i klimatpåverkan utifrån antaganden som gjorts i verktyget. Verktyget inkluderar den oftast långa uppehållstiden när slammet lagras innan spridning eller vidare behandling. Det ställs krav på att icke hygieniserat slam ska lagras i minst sex månader före spridning (Johansson 2016). Under lagringen kan det uppstå direkta och indirekta emissioner. De sker även förluster av kol och kväve när det lagras och därmed minskar näringsvärdet. Resultaten visar en minskning i klimatpåverkan då uppehållstiderna på mellanlagring innan vidare behandling inte har inkluderats i beräkningarna eftersom att slammet hygieniseras på båda reningsverken och ingen längre mellanlagring krävs. Ibland krävs det dock några månaders mellanlagring eftersom att gödsling sker kampanjvis under höst och vår (Johansson 2016).

Avloppsvattenreningen ger högst utsläppsvärden för båda verken. Västra strandens andel är 72 % av det totala koldioxidutsläppet och Ängstorps 46 %. De höga resultaten beror delvis på att det inte finns några mätningar av metan - och lustgasemissionerna på verken. Värdena beräknas med hjälp av antaganden som gjorts i verktyget. Emissionerna uppstår i den biologiska vattenreningen och behandling av rejektivatten. Västra strandens höga andel beror på att deras rejektivattenbehandling avger en stor mängd lustgas.

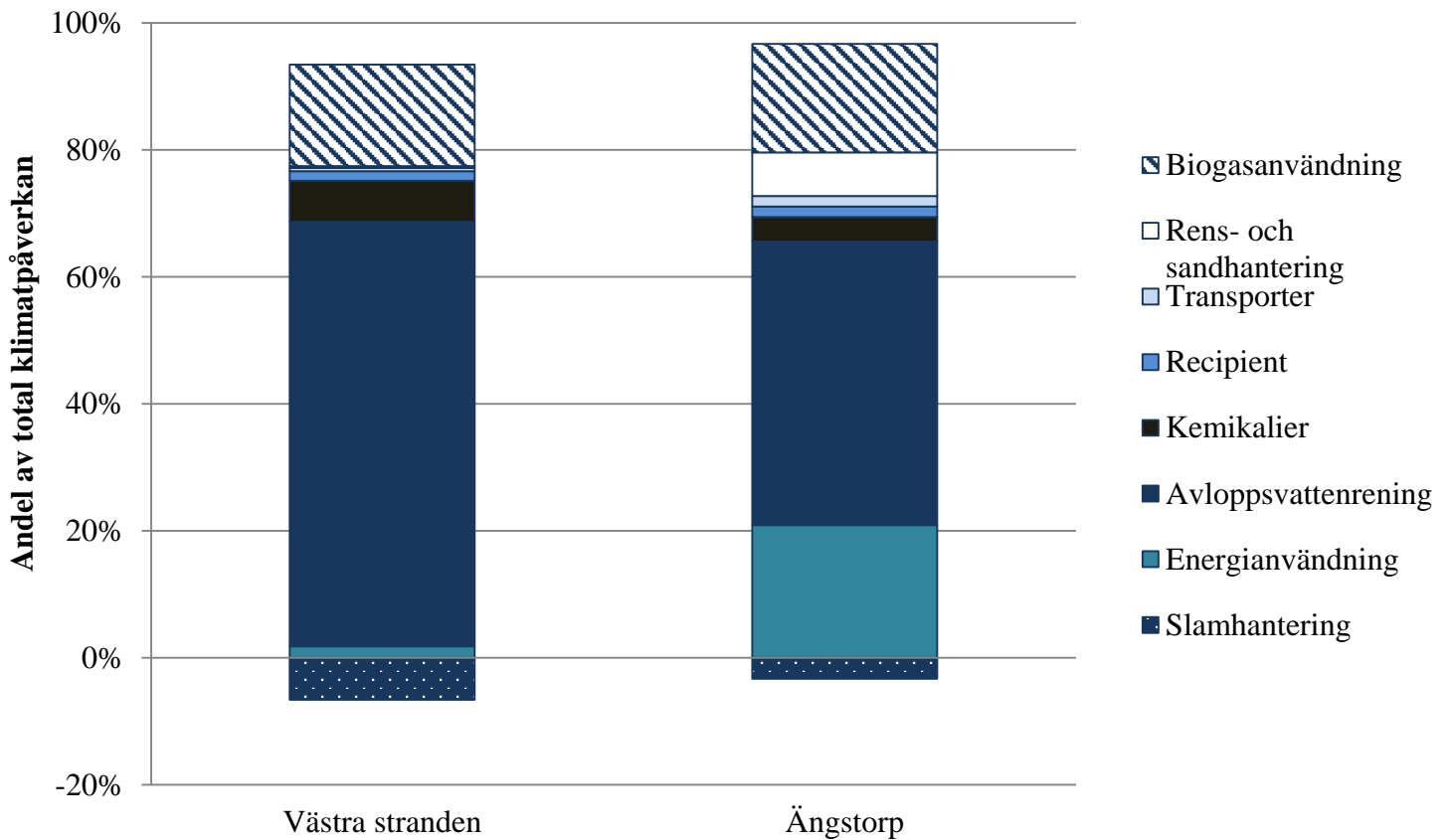
Kemikalieanvändningen står för cirka 7 % hos Västra strandens och 4 % hos Ängstorp av deras totala klimatpåverkan. Kemikalieanvändningen bidrar endast till indirekta utsläpp. Transporter och utsläpp från recipient motsvara vardera till mindre än 2 % av klimatemissionerna på båda verken.

Emissionerna från rens- och sandhantering skiljer sig märkbart mellan reningsverken. Västra strandens hantering resulterar endast i 0,3 % men Ängstorps blir 7 %. Den stora skillnaden mellan reningsverken beror på att Ängstorp inkluderar sitt brännbara avfall i mängden rens som går till förbränning.

Andel växthusgasemissioner från biogasanvändningen är nästan lika stor på båda verken. Västra strandens biogasanvändning bidrar till 17 % och Ängstorps till cirka 18 %. Det blir ingen reduktion i den totala klimatpåverkan eftersom att biogasen används till el och värme på verken. Emissionerna kommer främst från biogasläckage men även från förbränningsmotorer och fackling. Ängstorps gasflödesmätare var ur drift under 2015 och data från 2014 användes för facklingen. Resultatet från Ängstorp är därför osäkert.



Figur 2. En jämförelse av de olika kategorierna för de två reningsverken, med enheten kg CO_{2e} per pe och år.



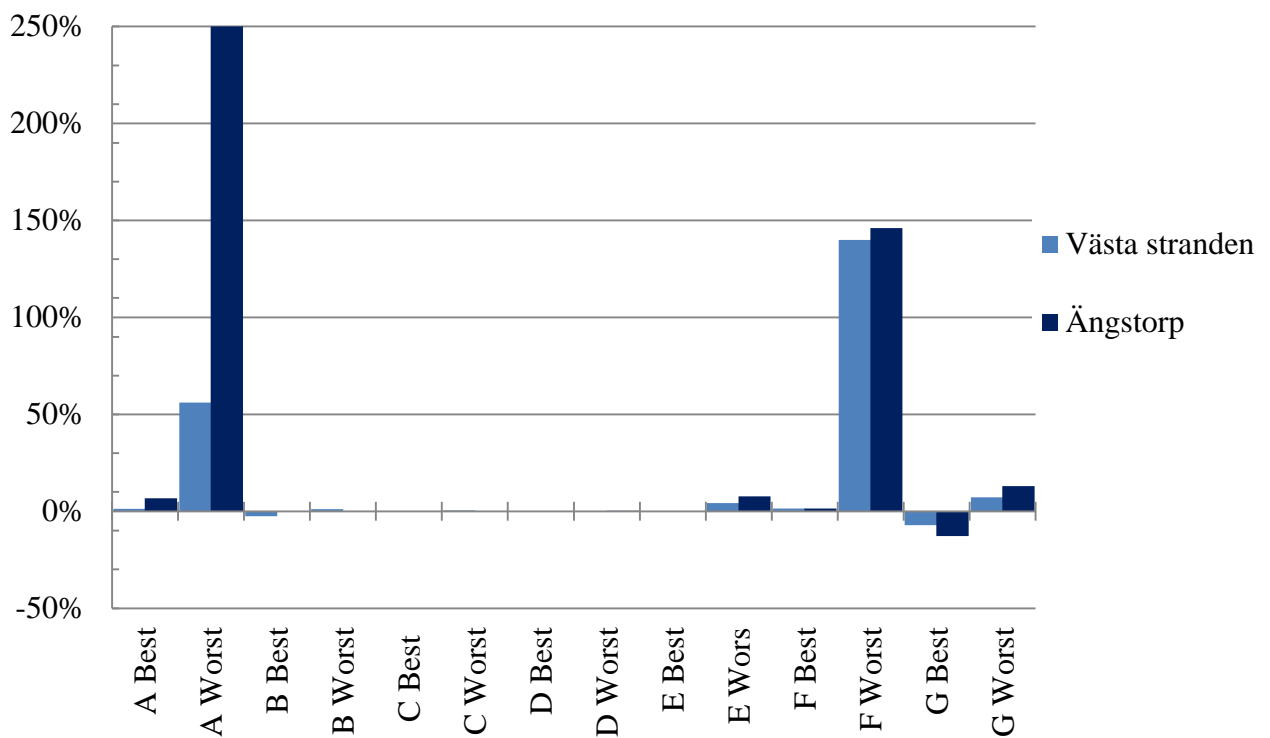
Figur 3. Processernas procentuella andel av total klimatpåverkan.

3.1 Känslighetsanalys

För att undersöka hur de olika faktorerna påverkar den totala klimatpåverkan genomfördes en känslighetsanalys. I analysen ändrades parametrar för att undersöka tillförlitligheten av indata. Resultaten visar vilka områden där platsspecifik data behövs tas fram. Tabell 3 visar vilka parametrar som har ändrats och fått ett "worst case" och "best case" scenario.

Tabell 3. Parametrar till känslighets- och osäkerhetsanalysen (Tumlin et al. 2014).

Scenario	Parameter	Nuvarande värde	Enhet	Best case	Kommentar/Referens	Worst case	Kommentar/Referens
A	Inköpt el	0	Ton CO _{2e} /GWh	10	Svensk elmix Elforsk (2008)	750	EU marginalet Elforsk (2008)
B	Kvävegödsel-substitution	32,5 (slam)	%	75	Foley et al. (2010)	15	Peters & Rowley (2009)
C	Fosforgödsel-substitution	70 (slam)	%	75	Foley et al. (2010)	25	Foley et al. (2010)
D	Metanemissioner från slamlagring	0,0007	Nm ³ CH ₄ /ton VS	0,00 025	Gabriel et al. (2003)	0,0025	Gabriel et al. (2003)
E	Metanemissioner från recipient	0	kg CH ₄ /kg COD _{utg.}		Nuvarande värde är minimum	0,025	IPCC (2006a)
F	Lustgasemissioner från recipient	0,003 (hav)	N _{utg.}	0,00 05	IPPC (2006a)	0,25	IPPC (2006a)
G	Kolinlagring	10	%	20	Foley et al. (2010)	0	Foley et al. (2010)
H	Metanemissioner avloppsvattenrening	0,0025	Kg CH ₄ /kg COD _{ink}	0	Gunnarson et al. (2005)	0,007	Göte (2013)
I	Lustgasemissioner avloppsvattenrening	1	% av denitrifierat kväve	0,03	Foley et al.(2010)	3	Foley et al. (2010)
J	Metanemissioner biogasproduktion	2,8	%	0	Antaget värde	2,8	STOWA (2010)
K	Lustgasemissioner från biogasförbränning	0,004	g N ₂ O/kg CH ₄	0	Fruergaard och Aastrup (2011)	1,56	Foley et al. (2010)



Figur 4. Resultatet från känslighetsanalysen enligt tabell 3. Resultatet presenteras i procentuell avvikelse från den totala klimatpåverkan hos reningsverken. Uppmärksamma att stapeln A Worst för Ängstorps reningsverk egentligen uppgår till 497 % men att den kapats till 250 % för att underlätta en jämförelse av de olika kategorierna. För fullständigt resultat, se bilaga 1.

Elproduktionen (A) och lustgasemissioner från recipient (F) är de kategorier som får störst klimatpåverkan i analysen, se figur 4. Val av elkälla påverkar den totala klimatpåverkan i hög grad. Det gäller främst Ängstorps som får en ökning med 497 procent. Det beror på att de köper in all el som de förbrukar och att de har en relativt hög elanvändning. Den kraftiga ökningen beror på att worst case beskriver ett framtida scenario när import av europeisk marginalel producerad av kolkraft sker. Västra stranden förbrukar mindre el än vad Ängstorp gör storleksmässigt. Egenproducerade el från biogas samt solceller gör att de inte påverkas lika kraftigt av en förändring gällande energikälla för framställning av inköpt el.

Resultatet av analysen kring kvävegödsels substitution (B) blev ytterst liten. Litteraturdata varierar i substitutionsgrad men effekten av de olika värdena blir knappt märkbar. Best case för Västra stranden resulterade i en minskning med 2,5 % från basfallet. Ängstorps analys ger inget resultat då de inte sprider sitt slam på åkermark.

Substitutionen av fosfor (C) skiljer sig i litteraturen men effekten i analysen blir försumbar. Precis som med kvävesubstitutionen uteblir en förändring hos Ängstorp då de inte sprider sitt slam på åkermark.

Effekterna från analysen av metanemissionerna från slamlagring (D) uteblir då lagringstiden hos reningsverken varierar mellan en till fyra dagar hos Västra stranden och Ängstorp.

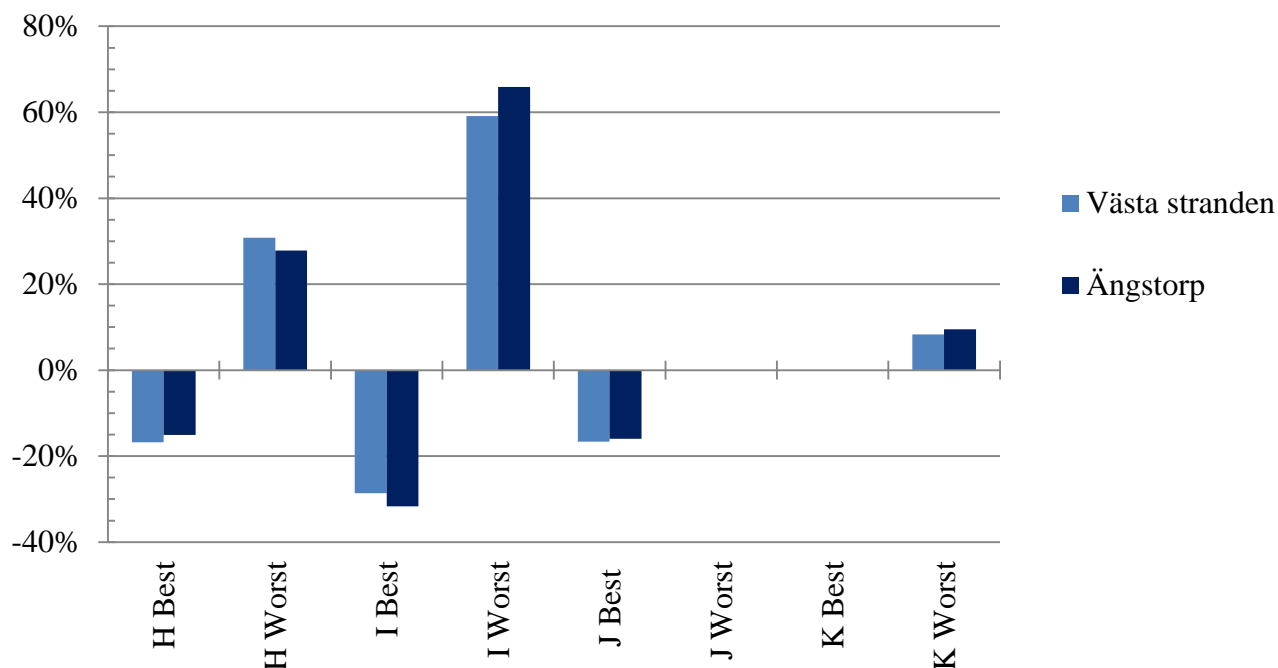
Worst case för metanemissioner från recipient (E) bidrar till en ökning av den totala klimatpåverkan med 4 % för Västra stranden, respektive 7 % för Ängstorp. Resultatet för best case ger ingen förändring i klimatpåverkan eftersom att använt värde i basfallet är densamma som minsta värdet i litteraturen.

Lustgasemissioner från recipient (F) har en påtaglig skillnad i litteraturen. Värdet som används i verktyget är nästan lika stort som värdet vid best case vilket resulterar i minimal skillnad i analysen. Vid worst case ökar klimatpåverkan med 140 % från Västra stranden respektive 146 % från Ängstorp. Antagandena är baserade på mängden utgående kväve och speglar därmed reningsverkens effektivitet av kväverening.

Andelen kolinlagring (G) som sker varierar mellan 0 och 20 % av det totala kolinnehållet i slammet som sprids på åkern. Det resulterar i en minskning av klimatpåverkan med cirka 7 % från Västra stranden och 13 % från Ängstorp vid best case. Worst case ger ett ökat utsläpp av koldioxid med 7 % från Västra stranden och 13 % från Ängstorp.

3.2 Osäkerhetsanalys

Osäkerhetsanalysen testar hur tillförlitlig indata av litteraturvärden är. Eftersom att det saknas mätningar av metan- och lustgasemissioner från de olika processerna ger osäkerhetsanalysen en bättre bild över hur stor påverkan de har, se figur 5.



Figur 5. Resultatet från osäkerhetsanalysen enligt tabell 3. Resultatet presenteras i procentuell avvikelse från den totala klimatpåverkan hos reningsverken. För fullständigt resultat, se bilaga 2.

Variation på antaganden av metanemissioner (H) från avloppsvattenrening har en stor påverkan på den totala klimatpåverkan. Worst case för Västra stranden gav en ökning på 31 % och 28 % för Ängstorp. Best case för Västra stranden gav en minskning på 17 % respektive 15 % för Ängstorp.

Antaganden av lustgasemissioner (I) från avloppsvattenreningen är stora. Resultaten ger stor klimatpåverkan i worst case, en ökning för Västra stranden på 59 % och Ängstorp 65 %. Best case ger en minskning på 28 % för Västra stranden respektive 31 % för Ängstorp.

Metanemissioner från biogasproduktionen (J) sker genom läckage och påverkar därför den totala klimatpåverkan. Vid worst case sker ingen förändring jämfört med basfallet eftersom att det är samma som högsta värdet i litteraturen. Best case har inget läckage och resulterar i en minskning 17 % för Västra stranden respektive 16 % för Ängstorp jämfört med basfallet.

Lustgasemissioner från biogasförbränningen (K) ger i bästa fall inga utsläpp av lustgas och bidrar därför inte till en ökande klimatpåverkan. När de högsta värdena av lustgasemissioner används i analyserna ökar Västra strandens klimatpåverkan med 8 % och Ängstorp 9 %.

3.3 Förbättringsåtgärder

Reningsverk har potential för att minska klimatpåverkan genom att införa olika åtgärder som effektiviserar energi- och resursförbrukningen. Energiinnehållet inom reningsverk kan ersätta all inköpt energi och även sälja vidare överskottsenergi. Energin finns i avloppsvattnet i form av termal, kemisk (COD) och kinetisk energi (rörelseenergi) (Remy et al. 2016). Det går teoretiskt att räkna ut energimängden i avloppsvattnet utifrån hur mycket COD som finns. Energimängden räknas ut genom att 1 kg COD kan omvandlas till 3,5 kWh (Balmér 2015).

Nedan förklaras förbättringsåtgärder utifrån litteratursammanställning på forskning inom området.

Deammonifikation - minskad energiförbrukning

Metoder för att minska energiåtgången i det biologiska reningssteget är under utveckling och en förseparation av COD minskar luftnings- och pumpbehovet. Anaerobisk nedbrytning av COD kan ge en minskad energiförbrukning och ökad biogasproduktion. En metod som teoretiskt ska fungera bra är en anaerobisk förbehandling i huvudströmmen av vattenreningen, deammonifikation. Idag används tekniken främst på rejektvatten från slamavvattning (Plaza 2015). Processen oxiderar inte organiskt material och ger en ökad biogasproduktion. Biokemiskt så sker det i två steg:

- 1) Nitrifikationprocessen sker delvis (hälften av det inkommande ammoniumet oxideras till nitrit i en aerob miljö av ammoniakoxiderande bakterier).
- 2) Anammoxprocessen (resterande ammonium och det bildade nitritet avgår till atmosfären som ofarlig kvävgas med hjälp av anammoxbakterier).

Det behöver vara relativt varmt och rikt på kväve för att processen ska fungera (Plaza 2015).

Det har inte varit framgångsrikt att använda den här tekniken på huvudströmsreningen vid svenska reningsverk idag på grund av felaktiga förhållanden (Plaza 2015). Denitrifikationsprocessen behöver COD och därför finns risken att den här metoden kan skapa ett behov av att införa en extern kolkälla. Detta kan påverka klimatet negativt om kolkällan är av fossilt ursprung (Gustavsson & Tumlin 2013). Metoden minskar behovet av luftning i huvudreningen vilket resulterar i en lägre energiförbrukning och högre biogasproduktion. För att tekniken ska kunna fungera optimalt i huvudreningen krävs det mer forskning (Plaza 2015).

Termisk hydrolyys - förbättrad biogasproduktion

Termisk hydrolyys (TH) är en teknik som kan effektivisera nedbrytningsprocessen i rötningen och resulterar i en ökad biogasproduktion. Det är en förbehandlingsprocess som sker innan rötning, där slammet värms upp till cirka 160° C under högt tryck. Nästa steg avkomprimerar slammet och resultatet blir ett mer hydrolyserat slam. Ett hydrolyserat slam innebär att det organiska materialet i sönderdelat och är upplöst i vattenfasen (Remy & Jossa 2015). I ett hydrolyserat slam är det organiska materialet mer tillgängligt för nedbrytning och produktion av biogas. Processen ska kunna drivas helt av intern värme på verket, som tillvaratas genom värmeväxlare eller kombinerad el- och värmepanna som drivs av biogas. För att effektivisera hydrolysen kan värmebehovet minskas genom att slammet avvattnas (Remy & Jossa 2015).

En LCA- studie har analyserat resultaten från pilotförsök av tekniken på ett avloppsreningsverk i Braunschweig i Tyskland. En utvecklad metod som testades var DLD (digestion-lysis-digestion) som är en förrötning som följs av avvattning, hydrolyys och sedan en sista rötning. Det genererar i en större biogasproduktion och minskar värmebehovet på TH. Resultaten visade att användningen av TH minskade energibehovet med 21 % och DLD metoden minskade behovet med 62 %. Studien kunde även visa att båda metodernas värmeåtgång kunde tillgodoses internt och att ingen extern energi behövde tillföras (Remy et al. 2016).

Fosforåtervinning - minskar energibehovet

Näringsämnen i avloppsvattnet är också en viktig källa för resurssparande och minskning av klimatpåverkan. Tillvaratagande av dessa ämnen minskar behovet för produktionen av mineralgödsel, som är en energi- och resurskrävande process (Remy et al. 2016). Användningen av slam för gödsling är vanligt förekommande i Europa och fungerar så länge kvalitén på slammet är bra. Det måste finnas en hög halt lättillgängliga näringsämnen och får inte innehålla för mycket tungmetaller och andra föroreningar. Långtidseffekterna av slamgödsling är få, därför forskas det kring metoder för att tillvarata näringsämnen på andra sätt och särskilt viktigt är det att återvinna fosfor (Buckwell & Nadeu 2016).

Fosfor är ett grundämne som är livsnödvändigt för allt levande. Det bryts ur berg för att tillsättas till bland annat mineralgödsel. Utvinningen och produktionen av mineralgödsel är en energikrävande process som drivs av fossila bränslen. Återcirkulering av fosfor krävs för att inte överexploatera källorna till fosfor och ger mindre klimatpåverkan (Buckwell & Nadeu 2016).

Fosforutvinning - vilka metoder ger minst klimatpåverkan

Metoder för att utvinna fosfor från avloppsvattnet har utvärderats i ett EU projekt som heter P-REX (P-REX 2016). Det har gjorts LCA-studier av fyra metoder: utfällning av struvit, urlakning av slam med syror med efterföljande utfällning av fosfor, behandling av monoförbränd aska genom urlakning med hjälp av syror eller termokemisk borttagning av tungmetaller. LCA studien har utvärderat energikraven för de olika metoderna i relation med ett referat av ett reningsverks processteg (rötning, avvattning, monoförbränning). Fosforsubstitutionen av mineralgödsel har beräknats utefter fosforinnehållet i slutprodukten (Remy & Jossa 2015).

Monoförbränning med urlakning av syror

Förbränning av avvattnat slam från avloppsreningsverk under höga temperaturer som producerar ånga och flygaska som har en fosfatandel på 2-12 %. Tillsatser av kemikalier skapar ett lågt pH och lakar ut fosfor (Remy & Jossa 2015).

Monoförbränning med termokemisk behandling av tungmetaller

Uppvärmning (> 1500°C) av avvattnat slam för att tungmetaller ska avgå som gas medan fosfor finns kvar i askan. Metoden har endast fungerat i pilottest (Remy & Jossa 2015).

Urlakning av slam med syror och efterföljande utfällning av fosfor

Rötat slam får ett sänkt pH efter tillsats av kemikalier och löser upp fosfor. För att bli av med tungmetaller tillsätts fler kemikalier för att höja pH och sedan kan de avskiljas. Slammet avvattnas och fosfor kan avskiljas efter vidare behandling (Remy & Jossa 2015).

Struvitutfällning

Struvit, magnesiumammoniumfosfat mineral ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$) är en kristallin förening som fångar upp fosfor och kväve som fälls ut som små kristaller. Struvit tar endast upp små mängder av hormoner och läkemedelsrester. Det kan därför fungera bättre som gödningsmedel då det finns stora osäkerheter om vad dessa restprodukter kan ha för påverkan på vår miljö. Tekniken fungerar bara på reningsverk som har biologisk fosforering (Levin 2014).

Resultaten visade att metodernas energikrav varierade stort och även fosformängden i slutprodukten. Fördelarna var att metoden minskade avvattningsbehovet och därmed behövs mindre energi för slutsteget som var monoförbränning. Mängden fosfor som kunde återvinnas genom struvitutfällning gav en låg andel, 16 % av den totala ursprungsmängden (Remy & Jossa 2015). Syrebehandlingen kunde samla in upp till 50 % av den totala fosfor men är en kemikaliekrävande process. Askan som behandlas med syra kräver mycket kemikalier men kan samla in upp till 70 % av den totala fosformängden och den termokemiska behandlingen kan samla in så mycket som 98 %. LCA:n visade att de olika metoderna för fosforåtervinning kan fungera med en minskning i energiförbrukningen om substitueringen av mineralgödsel tas med i beräkningen (Remy & Jossa 2015).

De betonar vikten av att utreda möjligheterna för de olika metoderna på reningsverken och identifiera de optimala strategierna för bästa möjliga fosfor- och energiutvinning (Remy & Jossa 2015).

Biogasanvändningen

Substitutionen av värme från den producerade biogasen anses i verktyget vara låg. Biogas som substitution av el eller fordonsbränsle ger en mindre klimatpåverkan (Tumlin et al. 2014). Enligt Börjesson et al. (2013) kan det reducera klimatpåverkan med 82 % jämfört med att använda bensin eller diesel. Om biogas ska användas som fordonsbränsle krävs det en uppgradering genom att gasen genomgår en reningsprocess som kallas tvättning. Processen renar gasen från oönskade ämnen och koldioxid för att få ett högre energiinnehåll (Avfall Sverige 2011). Skulle Västra stranden använda sin biogas till fordonsbränsle kan deras totala koldioxidutsläpp minska, beroende på vilken uppgraderingsmetod som används. Kemisk adsorption ger bäst resultat med en minskning av den totala klimatpåverkan till 1608 ton CO_{2e}/år. Pressure Swing Adsorption (PSA) ger lägst minskning, totala klimatpåverkan blir 2450 ton CO_{2e}/år (Tumlin et al. 2014).

Mätningar av biogasläckage från produktion har inte gjorts på något av reningsverken och därför används litteratordata vid beräkningar (Tumlin et al. 2014). För att undersöka och minska förekomsten av läckage kan det införas ett flertal åtgärder. Enklast är att genomföra en undersökning för att se om det finns eventuella läckage och i vilken omfattning.

Eventuella läckage beror främst på slitna och gamla komponenter, exempelvis dåliga tätningar och packningar i ventiler (Avfall Sverige 2011). Biogasläckage kan även ske från slamhanteringen innan och efter rötning. Kontrollberäkningen på lagringsdagar av slam från Västra stranden resulterar i en ökning med cirka 4 % av den totala klimatpåverkan. Läckage kan även ske från säkerhetsventilen i rötkammaren, som ska öppnas automatiskt vid för högt tryck. Öppnas den för ofta kan det bero på att den är felinställd eller att gasproduktionen är ojämn vilket resulterar i onödigt läckage (Avfall Sverige 2011).

4. Diskussion

Målet med examensarbetet var att beräkna klimatpåverkan från reningsverken Västra stranden och Ängstorp med hjälp av ett beräkningsverktyg som Svenskt Vatten tagit fram. Resultaten visar att avloppsreningsverken har en betydande klimatpåverkan. Resultaten från beräkningarna visar att det är avloppsvattenreningen och energianvändningen som bidrar till de största växthusgasutsläppen. Reningsprocessen och hanteringen av avloppsvatten gör nytta för miljön genom att minska övergödningen men har också en negativ effekt på klimatet då de avger växthusgaser.

4.1 Osäkerheter

Det har gjorts ett antal antagande i studien som riskerar att göra resultaten osäkra. Följande avsnitt diskuterar kring felkällor och osäkerheter.

4.1.1 Emissioner från avloppsreningen

Emissionerna från reningsprocessen av avloppsvattnet resulterar i den största klimatpåverkan för båda reningsverken. Då det inte fanns platsspecifika mätningar på emissioner från reningen för något av verken, användes antagna värden i verktyget. Osäkerhetsanalyserna visade hur stora skillnader det finns i litteraturen kring emissioner. De antagna värdena i verktyget har baserats på platsspecifika mätningar från avloppsreningsverk globalt och det ger därför väldigt stora variationer (Tumlin et al.2014).

Rejektvattenbehandlingen vid Västra stranden avger mer lustgas än huvudströmmen. De höga lustgasemissionerna beror på att rejektivatten är varmt och koncentrerat vilket resulterar i höga reaktionshastigheter och kvävekoncentrationer (Tumlin et al. 2014). Västra strandens ARP är en kontinuerlig process med ett jämnt flöde. Den metod (SBR) som används i beräkningen anses ge ett högre lustgasutsläpp eftersom att rejektivattnets flöde kommer satsvis. Valet av metod för rejektivattenbehandling har påverkat Västra strandens totala klimatpåverkan från avloppsvattenrening som kunde blivit mindre om alternativ ARP för rejektivattenbehandling hade funnits. Orsaken till att Västra stranden har högre utsläpp av växthusgaser från avloppsvattenreningen än Ängstorp, beror på att de har separat rejektivattenbehandling.

Lustgasemissionerna från den biologiska kväveavskiljningen gav en ökning i osäkerhetsanalysen av den totala klimatpåverkan med runt 60 % för båda reningsverken respektive en minskning med 30 %. Metanemissionerna resulterade inte i en lika stor förändring i osäkerhetsanalysen men visade på de stora variationerna som finns. Platsspecifika mätningar skulle ge LBVA en bättre uppfattning om hur stora emissioner de har och vart deras förbättrande åtgärder bör riktas.

Det är svårt att mäta emissioner på öppna reningsverk och för framtida beräkningar kan det vara aktuellt att använda sig av slutna processer. Mätningar kan då tas vid utloppen för ventilationen, under längre perioder för att få fler mätvärden för mer trovärdiga antaganden.

Det krävs även mätningar som görs från olika reningsverk med avloppsvatten av olika sammansättningar, reningsprocesser, reningsstrategier och säsongsvariation (Tumlin et al. 2014).

4.1.2. Emissioner från slamlagring

Det råder osäkerheter kring metanemissionerna från slamlagringen. Lagringen av slam på reningsverken innan transport till lagringsplatta varierar mellan en till fyra dagar. Eftersom att specifik data angående den externa lagringen inte gick att få tag i blev resultaten missvisande. LBVA bytte under 2015 entreprenör av slamhantering. I beräkningarna användes istället lagringsdagar på reningsverken (LBVA 2015a, b). För att kontrollera skillnaden i resultatet vid inkludering av slamlagring på ungefär tre månader ökade den totala klimatpåverkan med cirka 4 %. Det antagna värdet på tre månader baseras efter perioder för gödsling. För att undvika emissioner vid slamlagring bör slammet lagras i slutna behållare och undvika långa lagringsperioder.

4.1.3 Biogasanvändningen

Biogasanvändningen bidrog med cirka 20 % av klimatpåverkan från avloppsreningsverken. Metanemissioner från biogasproduktion har det antagna värdet 2,8 % av den totala metanproduktionen och räknar ut hur mycket som kan avgå genom läckage. Siffran är ett högt antaget värde och används även i osäkerhetsanalysen vid worst case (Tumlin et al. 2014). Läckaget kan vara mycket mindre men eftersom det inte har gjorts några mätningar på respektive reningsverk har det antagna värdet använts. Resultaten är därför osäkra och bör analyseras på respektive verk. Lustgasemissionerna från biogasförbränningen bidrar endast ytterst lite till den totala klimatpåverkan från biogasanvändningen.

Resultatet från worst case i osäkerhetsanalysen gav en ökning på ungefär 10 % för båda reningsverken och beror på användningen av biogasen samt volym facklad gas. Eftersom Ängtorps gasflödesmätare var ur drift hela 2015 användes volymen facklad gas från 2014 och är därför osäkert. Resultaten bör tolkas som worst case scenario och för att få en bättre uppfattning av emissionerna från biogasanvändningen behöver LBVA göra platsspecifika mätningar.

Ängtorp använder sin biogas till värme och Västra stranden till både värme och el. Beräkningsverktyget värderar användningsområdena olika. Substitutionen av biogas till värme är inte lika stor som till el. Användningen av biogas till el och värme ger en minskning av klimatpåverkan i kategorin energianvändning men ger en ökning i biogasanvändning. Hade biogasen använts som substitution för all el eller till fordonsbränsle hade detta gett mindre påverkan i kategorin biogasanvändning (Tumlin et al. 2014).

För att minska klimatpåverkan i biogasanvändningen bör det kontrolleras att det inte finns några läckor i gassystemet och även förhindra att biogasen går till fackling. Behov av fackling kan minskas genom att ha en optimal förbränningsmotor med en hög verkningsgrad och även minska sin biogasproduktion innan planerade driftsstopp (Gustavsson & Tumlin 2013).

4.1.4 Gödselsubstitution

Slamhanteringen bidrar till en liten minskning i resultaten av den totala klimatpåverkan från reningsverken. Det beror på att antaganden i verktyget endast ger en liten substitution av mineralgödsel (Tumlin et al. 2014). Återföring av kväve och fosfor till sina respektive kretsloppet är en viktig del i den totala klimatpåverkan och är därför viktigt att diskutera. Återföring av näringsämnen till åkermark minskar behovet att använda mineralgödsel. Hållbar återföring av fosfor berör flera av våra klimatmål, inklusive "begränsad klimatpåverkan" eftersom att produktion av mineralgödsel är en energi- och resurskrävande process (Miljömål 2015a).

Användandet av slam som gödsel är idag ett omdiskuterat ämne och en del länder har restriktioner eller totalförbud för spridning på åker för livsmedelsproduktion (Buckwell & Nadeu 2016). I Sverige finns det möjligheten att certifiera slamgödslet och uppnå en standard som gör det godkänt att användas för gödsling (Revaq 2016). Problemet med slamgödsling är att det inte finns tillräcklig många långtidsstudier som påvisar hur miljön och människan påverkas av tungmetaller, läkemedel- och kemikalierester som finns i slamgödslet (Remy & Jossa 2015). Det förväntas striktare restriktioner kring slamhanteringen i framtiden men eftersom näringsvärdet i slam är högt så måste utvecklingen av metoder för utvinningen fortsätta (Buckwell & Nadeu 2016).

Det finns idag metoder som har visat sig fungerat bra för återvinningen av fosfor till exempel struvitbehandling och flera nyare metoder som är i försöksstadiet (Remy & Jossa 2015). Även om forskningen visar hur viktigt det är att återvinna fosfor så finns ändå behovet av att återvinna alla näringsämnen i slammet. Ny teknik ska förhoppningsvis i framtiden kunna öka energiåtervinningen och näringsmängden samtidigt som de farliga ämnena i slammet minskas, alternativt försvinner helt.

Uppströmsarbete är ett sätt att förebygga mängden miljö- och hälsofarliga ämnen som hamnar hos recipient och i slutprodukten. Det mest effektiva sättet hade varit att fånga in de värdefulla näringsämnena vid källan. En urinseparerande toalett är en välfungerad metod och hade skapat ett renare gödselmedel. Kostnaderna hade förmodligen blivit för stora för att detta ska fungera i stor skala. En minskning av mängden kemikalier och läkemedelrester som släpps ut är något som borde regleras för allmänheten men det är svårt för reningsverken att ha inverkan på det. Hårdare krav på reningsverken att minska mängden farliga ämnen som släpps ut och hamnar i slam kommer innebära framtida kostsamma investeringar som i slutändan kommer bekostas av konsumenten.

4.1.5 Elproduktion

Elproduktionen ger i dagslägen inte några påtagliga utsläpp från reningsverken då de köper in 100 % förnybar el. Den marginella klimatpåverkan från Västra stranden beror på att de har egna solceller och i verktyget räknas klimatpåverkan in från produktionen av dessa.

I känslighetsanalysens worst case ändrades elkällan till europeisk marginalet från kolkraft. Det resulterade i en avsevärd ökning för reningsverkens klimatpåverkan. Den europeiska marginalet produceras som en marginal vid ett ökat behov av el, är dyrast att producera och bidrar till stora utsläpp av koldioxid (Elforsk 2008).

Det nordiska elsystemet integreras mer med Europa och det finns ett direktiv med mål om en gemensam europeisk elmarknad (Gode 2009). Till år 2030 är målet i Europa att 30 % av den framställda energin skall komma från förnyelsebara energikällor (Europaparlamentet 2016). Eftersom att det förväntas vara en gemensam elmarknad kommer Sverige köpa in mer europeisk el och det kommer ge ett sämre resultat i klimatpåverkan från reningsverken.

Att reningsverken idag köper in förnybar energi som inte har någon klimatpåverkan från sin elanvändning är bra. Genom att endast fokusera på vilken elkälla som används och att den anses vara helt förnybar, angrips bara problemet med koldioxidutsläpp lokalt.

Det är bättre att försöka minska sin elanvändning på reningsverken så att den nordiska elmixen kan exporteras och kan då ersätta andra mindre miljövänliga alternativ. För att minska sin elanvändning är det därför viktigt att energieffektivisera olika processer. Energiförbrukningen kan minskas genom att uppdatera teknik och processer på reningsverken. Det kan installeras nya energieffektiva luftare och pumpar då det är de som är mest energikrävande. Ny teknik kan optimera luftningen av avloppsvattnet och förhindra att det luftas i onödan (Gustavsson & Tumlin 2013). Framtida ökning av flödesbelastningen och högre krav på reningseffekt kommer skapa en högre energibelastning. Det är därför viktigt att identifiera processerna som kräver mest energi och försöka hitta nya lösningar för dessa (Remy et al. 2016).

4.1.6. Vad kan de göra idag?

Utifrån resultat och analyser kan reningsverken förhoppningsvis få en bra insyn hur deras klimatpåverkan ser ut. Processerna som gav upphov till mest klimatpåverkan kan de lägga mer fokus på i framtida utredningar. Eftersom det finns en del osäkerheter i antagna värden och därmed i resultaten kan känslighets- och osäkerhetsanalyserna vara till hjälp för att analysera dessa. Eftersom att det råder osäkerheter i litteraturen är det svårt att jämföra olika reningsverks resultat med andra. En jämförelse av olika reningsverks klimatpåverkan kan bli möjlig om fler använder verktyget samt att de gör platsspecifika mätningar av emissioner.

Litteratursammanställningen av förbättringsåtgärder kan ses som en uppdatering i forskningsområdet för klimatpåverkan från avloppsreningsverk. Reningsverken behöver göra fler beräkningar på sin klimatpåverkan innan det görs några större investeringar. Högre reningskrav kan innebära att klimatpåverkan ökar till följd av en ökad energiförbrukning. Att arbeta med att minska reningsverkens klimatpåverkan leder till en ständig utveckling och samt mer medvetenhet. Genom att installera ny mer effektiv teknik kan energiförbrukningen minska och kvävereningen öka. Förhoppningen är att den här rapporten kan förenkla för framtida utredningar.

Ängstorps reningsverk ska byggas ut, för att på sikt avveckla reningsverken i Veinge och Hedhuset i Skummeslöv (LBVA 2015c). Vid ombyggnationen är det därför lämpligt att de har resultaten från beräkningarna i åtanke när de ska planera den nya verksamheten.

4.2 Hållbar utveckling

Istället för att enbart se avloppsvatten som en belastning, kan det även ses som en outnyttjad resurs. Reningsverken i Sverige är alla unika men de har en gemensam nämnare, de får in avloppsvatten rikt på näringsämnen och organiskt material. De gör ur ett antropogent synsätt en miljönytta men samtidigt har det nu uppmärksammats att de bidrar till den globala uppvärmningen. För att behålla det positiva synsättet om reningsverkens miljönytta måste de effektivisera sina processer och tänka mer hållbart. För att nå ett hållbart samhälle måste alla aspekter behandlas. Näringsinnehållet i det inkommande avloppsvattnet är en resurs och med rätt teknik kan de ta tillvara på näringsämnena och energin som finns i vattnet. God planering med rätt teknik ska teoretiskt göra reningsverken självförsörjande på energi. Det finns även möjlighet att reningsverken kan producera energi till vidare försäljning.

En hållbar återföring av näringsämnen minskar miljöbelastningen genom att den energikrävande produktionen av mineralgödsel kan undvikas. Med en eventuell bättre teknik kan det bli aktuellt att även införa en hållbar återvinning av metaller som finns i avloppsvattnet. Att ta hand om avloppsvattnets innehåll kommer resultera i en rad olika miljövinster; bland annat minska övergödningen i våra vattendrag; släppa ut mindre gifter i vår miljö/ekosystem samt en minskning utav växthusgaser. En annan aspekt för att nå en hållbar utveckling är att förbättra kartläggningen av utsläppsstatistiken, och inkludera reningsverkens emissioner eftersom de sammanlagt i Sverige kan ha en stor betydelse för vårt totala utsläpp utav växthusgaser.

4.3 Etiska aspekter och miljömål

Etiken kan spela in i de olika miljöfrågor som samhället ställs inför idag. Miljömålen är uppsatta för att Sverige ska sträva efter att nå generationsmålet år 2020. Idag ligger fokus på att reningsverken ska rena vårt avloppsvatten för att minska övergödning och påverkan på våra vattendrag. Miljömål som berörs av avloppsvattenrening är: ”giftfri miljö”, ”grundvatten av god kvalitet”, ”levande sjöar och vattendrag”, ”myllrande våtmarker”, ”hav i balans”, ”levande kust och skärgård”, ”ingen övergödning” och ”god bebyggd miljö” (Miljömål 2013).

Avloppsvattenrening bör även inkluderas i miljömålet ”begränsad klimatpåverkan”. Det är en målkonflikt mellan miljömålen ”igen övergödning” och ”begränsad klimatpåverkan”. Rent utloppsvatten kräver mycket energi och resulterar i emissioner av växthusgaser. Reningsverken handlar idag efter sinnelagsetik, de försöker göra moraliskt rätt- rena vattnet, även om det leder till oönskade effekter- en ökad klimatpåverkan. Reningsverken bidrar idag tack vare sin verksamhet till en god hälsa och vattenmiljö men samtidigt till en ökad klimatpåverkan.

5. Slutsatser

- Det förekommer ett nettoutsläpp av växthusgaser från båda reningsverken. Volymerna varierar utefter reningsverkens utformning och vilka reningsprocesser de använder sig av. Avloppsvattenreningen och biogasanvändningen bidrar till de största utsläppen på båda reningsverken.
- Energianvändningen kan i framtiden påverka LBVA:s totala klimatpåverkan. Elanvändningen är hög och val av annan elkälla kan resultera i en större klimatpåverkan än vad den gör i vår utredning.
- Känslighets- och osäkerhetsanalyser visar att det råder stor osäkerhet i användning av litteraturdata. Platsspecifika mätningar ger mer tillförlitliga resultat. Fler reningsverk som har möjlighet att göra mätningar skulle ge ett bättre underlag att basera antaganden på.
- Det finns ett behov att fortsätta utföra klimatutredningar för att ge LBVA en bättre uppfattning av hur omfattande deras klimatpåverkan är. Förhoppningsvis ska den här rapporten förenkla användandet av beräkningsverktyget i framtida utredningar för LBVA.
- Kunskapen om att avloppsreningsverk bidrar till en ökad klimatpåverkan bör uppmärksammas mer och klimatpåverkan från avloppsreningsverk behöver spridas. Arbetet med att använda och utveckla verktyget bör fortskrida.

6. Förslag till fortsatt forskning

För att underlätta fortsatta utredningar av klimatpåverkan från avloppsreningsverk behövs det fler studier som mäter metan- och lustgasemissioner. Ett förslag är att genomföra mätningar av från avloppsvattenreningen och biogasproduktionen för att få fler värden att basera antaganden på.

I rapporten återkommer det att reningsverken inte är jämförelsebara och ett fortsatt arbete är att genomföra en klimatberäkning på fler liknande verk, för att kunna ge en pålitlig jämförelse av reningsverkens klimatpåverkan.

För att ge studierna mer djup skulle fler miljöparametrar behöva inkluderas. Verktöget har stor möjlighet att utvecklas samt att bli mer användarvänligt. Ett fortsatt arbete med verktöget är hur Svensk Vatten kan få reningsverken att ständigt inkludera beräkningsverktöget i deras årliga arbete med miljörapporterna.

7. Referenser

7.1 Rapporter:

Avfall Sverige (2011)

Frivilligt åtagande- inventering av utsläpp från biogas- och uppgraderingsanläggningar.

Avfall Sverige utveckling. Rapport U2007:2

ISSN 1103-4092

http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Utveckling/U2007-02_rev_2011.pdf
[2016-05-04]

Balmér, P. (2015)

Parametrar för organiskt material i avloppsvatten och slam och något om deras användning.

Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2015-11

http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2015-11.pdf [2016-03-14]

Buckwell, A. & Nadeu, E. (2016)

Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture. RISE

http://www.risefoundation.eu/images/stories/NRR/NRR_RISE_2016_Full.pdf [2016-04-20]

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S. & Nyström, I. (2013)

Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel. The Swedish knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. Rapport f3 2013:13

<http://www.regeringen.se/contentassets/7bb237f0adf546daa36aaf044922f473/underlagsrapport-18---dagens-och-framtidens-hallbara-biodrivmedel.pdf> [2016-05-04]

Elforsk (2008)

Miljövärdering av el – med fokus på utsläpp av koldioxid. EME Analys AB och Profu i Göteborg AB, med stöd från Elforsk AB.

http://www.elforsk.se/Global/Trycksaker%20och%20broschyre/miljovardering_elanvand.pdf
[2016-04-06]

Europaparlamentet (2016)

Förnybar energi. Faktablad om EU- 2016.

http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/sv/FTU_5.7.4.pdf [2016-05-06]

Gabriel, S., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Sommer, S.G. & Karsten, S. (2003)

Metanemission fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation. Miljøprojekt, 817,

Miljøstyrelsen Danmark. <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2003/87-7972-702-6/pdf/87-7972-703-4.pdf> [2016-02-06]

Gode, J., Byman, K., Persson, A. & Trygg, L. (2009)

Miljövärdering av el ur systemperspektiv. Svenska Miljöinstitutet. (B1882)

<http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Energieffektivisering/%C3%96vriga%20dokument/Milj%C3%B6v%C3%A4rdering%20av%20el%20IVL%20B1882.pdf> [2016-09-01]

Gunnarsson, I., von Hoffman, V., Holmgren, M., Kristensson, I., Liljemark, S. & Pettersson, A. (2005)

Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas. RVF Utveckling 2005:07

<http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Biologisk/2005-07.pdf> [2016-03-13]

Göthe, L. (2013)

Metanutsläpp i den svenska fordonsgaskedjan – En nulägesanalys. Svenskt Gastekniskt Center AB. Rapport 2013:282

<http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC282.pdf> [2016-04-14]

IPCC (2013)

Jacob, D., Ravishankara, A.R. & Shine, K. (red.)

Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report climate change 2013: The physical science basis.

https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/drafts/fgd/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_TechnicalSummary.pdf [2016-03-11]

IPCC (2006a)

Doorn, M.R.J., Towprayoon, S., Manso Vieira, S.M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R., & Wang, C. *Wastewater treatment and discharge*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol. 5 Waste. Chapter 6.

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf [2016-02-26]

IPCC (2006b)

Rypdal, K., Paciorek, N., Eggleston, S., Goodwin, J., Irving, W., Penman, J. & Woodfield, M. *Introduction to the 2006 guidelines*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol. 1. General Guidance and Reporting. Chapter 1.

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf [2016-02-26]

IPCC (2006c)

Klein, C., Novoa, R.S.A., Ogle, S., Smith K. A., Rochette, P., Wirth, T.C., McConkey, B.G. & Mosier, A. & Rypdal, K. *N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11.

http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf [2016-04-24]

LBVA (2015a) *Västra strandens avloppsreningsverk Halmstads kommun Miljörapport 2015*. Laholmsbuktens VA. Rapport 2016/0026
<http://www.lbva.se/download/18.2c411bd415336349cad81757/1459848193851/V%C3%A4stra+stranden+MR+2015.pdf> [2016-04-24]

LBVA (2015b)
Ängstorps avloppsreningsverk Laholms kommun Miljörapport 2015. Laholmsbuktens VA. Rapport 2016/0032
<http://www.lbva.se/download/18.2c411bd415336349cad81758/1459848201340/MR+%C3%84ngstorp+2015.pdf> [2016-04-24]

Levin, E., Tjus, K., Fortkamp, U., Ek, M. & Baresel, C. (2014)
Metoder för fosforåtervinning ur avloppsslam. Svenska Miljöinstitutet
<http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76ab/1454339645269/B2184.pdf> [2016-03-25]

Naturvårdsverket (2013a)
2050 ett koldioxidneutralt Sverige. Naturvårdsverket. ISBN: 978-91-620-8608-4
<http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/klimat/fardplan-2050/2050-ett-koldioxidneutralt-sverige.pdf> [2016-03-18]

Naturvårdsverket (2013b)
Hållbar återföring av fosfor. Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-6580-5
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6580-5.pdf?pid=9620> [2016-05-04]

Naturvårdsverket (2012)
Avloppsvatten. Naturvårdsverket. ISBN 978-91-620-8703-6
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8703-6.pdf?pid=13143> [2016-02-04]

Naturvårdsverket (2005)
Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering. Naturvårdsverket vol. 2 ISBN 91-620-8196-9
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8196-9.pdf?pid=3933> [2016-04-11]

Plaza, E., Persson, F., Wilén, B. & Sultana, R. (2015)
Användning av Anammox för en förbättrad kväveavskiljning vid avloppsverk
http://vav.griffel.net/filer/SVU_rapport_2015-18.pdf [2016-04-01]

Remy, C & Jossa, P. (2015)

Sustainable sewage sludge management fostering phosphorus recovery and energy efficiency.
P-REX http://p-rex.eu/uploads/media/P-REX_D9_2_Environmental_Impact_Assessment_LCA_Remy_2015.pdf [2016-04-04]

Revaq (2016)

Renare vatten- bättre kretslopp. Regler för certifieringssystemet. Svenskt Vatten. Rapport 3:3
<http://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstromsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/revaq-regler-2016-utgava-3.3.pdf> [2016-05-09]

STOWA (2010)

Emissions of greenhouse gases from wastewater treatment plants. Rapport 2010-08. STOWA
ISBN 978.90.5773.461.8
<http://www.stowa.nl/Upload/publicaties/STOWA%202010%2008%20LR.pdf> [2016-03-02]

Tumlin, S., Gustavsson, D., & Bernstad Saraiva Schott, A. (2014)

Klimatpåverkan från avloppsreningsverk. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2014-02
http://www.svensktvatten.se/PageFiles/4729/SVU-rapport_2014-02.pdf [2016-01-25]

UNFCCC (2015)

Adoption of the Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change.
FCCC/CP/2015/L.9
<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> [2016-05-05]

7.2 Vetenskapliga artiklar

Bani Shahabadi, M., Yerushalmi, L. & Haghghat, F. (2010)

Estimation of greenhouse gas generation in wastewater treatment plants – Model development and application. Chemosphere vol. 78(9), ss. 1085–1092
doi:10.1016/j.chemosphere.2009.12.044

Brown, S., Beecher, N. & Carpenter, A. (2010)

Calculator tool for determining greenhouse gas emissions for biosolids processing and end use. Environmental Science & Technology. vol. 44(24), ss. 9509–9515.
doi: 10.1021/es101210k

Flores-Alsina, X., Corominas, L., Snip, L. & Vanrolleghem, P.A. (2011)

Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies. Water Research, vol. 45(16), ss. 4700–4710.
doi:10.1016/j.watres.2011.04.040

- Foley, J., de Haas D., Hartley, K. & Lant, P. (2010)
Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems. Water Research, vol. 44(5), ss.1654-1666
doi: 10.1016/j.watres.2009.11.031.
- Fruergaard, T. & Astrup, T. (2011).
Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. Waste Management, vol. 31, 3, ss. 572-582.
doi:10.1016/j.wasman.2010.09.009
- Gustavsson, D.J.I. & Tumlin, S. (2013)
Carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants. Water Science & Technology, vol. 68.4. ss. 887-893.
doi: 10.2166/wst.2013.318
- Peters, G. & Rowley, H.R. (2009)
Environmental comparison of biosolids management systems using life cycle assessment. Environmental Science & Technology, vol. 43 (8) ss. 2674-2679.
doi: 10.1021/es802677t
- Remy, C., Boulestreau, M., Warneke, J., Jossa, P., Kabbe, C. & Lesjean, B. (2016)
Evaluating new processes and concepts for energy and resource recovery from municipal wastewater with life cycle assessment. Water Science & Technology, vol. 73 (5)
doi:10.2166/wst.2015.569
- Rodriguez-Garcia, G., Molinos-Senante, M., Hospido, A., Hernández-Sancho, F., Moreira, M.T. & Feijoo, G. (2011)
Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. Water Research, vol. 45, ss. 599-6010
doi: 10.1016/j.watres.2011.08.053
- Smith, P., Powlson, D. S, Glendining. M. J., & Smith, J. U. (1997)
Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. Global Change Biology, vol. 3, ss. 67-79
doi: 10.1111/gcb.12551

7.3 Hemsidor

Energirådgivningen (2015) *Olja i villan*.

Energi- & klimatrådgivningen.

<http://www.energiradgivningen.se/faktablad/uppvarmning> [2016-03-15]

LBVA (2016). *Laholmsbuktens VA*.

<http://www.lbva.se/> [2016-02-01]

LBVA (2015c). *Ombyggnad Ängstorp*.

<http://www.lbva.se/pagang/ombyggnadangstorp.4.2a6655cf1385cbac811800072656.html>
[2016-03-31]

Miljömål (2016). *Steg framåt mot de svenska miljömålen*.

<http://www.miljomal.se/au> [2016-04-10]

Miljömål (2015a). *Begränsad klimatpåverkan*.

<http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/> [2016-02-22]

Miljömål (2015b). *Ingen övergödning*.

<http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/7-Ingen-overgodning/fu2015/> [2016-02-22]

Miljömål (2013). *Sveriges miljömål*.

<http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/> [2016-02-22]

Naturvårdsverket (2016). *Fakta om klimat*.

<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/> [2016-03-12]

P-REX (2016). *Phosphorus*.

<http://www.p-rex.eu/> [2016-03-22]

Svensk energi (2016). *Elproduktion med goda klimatvärden*.

<http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elproduktion/> [2016-05-03]

Svensk fjärrvärme (2014). *Miljövärdering av fjärrvärme*.

<http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Miljovardering-av-fjarrvarme/> [2016-05-01]

Svenskt Vatten (2016). *Om oss*.

<http://www.svensktvatten.se/om-oss/> [2016-03-11]

VA-teknik Södra (2014). *Klimatpåverkan - beräkningsverktyg*.

<http://va-tekniksodra.se/klimatpaverkan-berakningsverktyg/> [2016-02-01]

7.4 Böcker

Bauman, H. & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide To LCA*. Lund: Studentlitteratur AB
ISBN: 978-91-44-02364-9

Persson, P (2005). Vattenhantering och vattenreningsteknik, exempel på vattenåtgärder. I Persson, P (red.) *Miljöskyddsteknik: Strategi & teknik för ett hållbart miljöskydd*. 7 uppl. ss. 55-205; Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan
ISSN: 1402-7615

Selinus, O. (2011). Teknik och ekonomi avgör fosfortillgångarnas livslängd. I Johansson, B (red.) *Återvinna fosfor- hur bråttom är det?* ss. 39-53
ISBN 978-91-540-6064-1
http://www.formas.se/PageFiles/1458/atervinna_fosfor_hur_brattom_ar_det.pdf [2016-04-24]

7.5 Personlig kommunikation

BASF (2016). Personlig kommunikation, mars 2016.

Johansson (2016)
Lars-Gunnar Johansson
Miljö- och processingenjör, LBVA
lars-gunnar.johansson@halmstad.se

8. Bilagor

Bilaga 1

Känslighetsanalys, presenteras i procentuell avvikelse från basfall.

		Basfall	Inköpt el		Kvävegödsel-substitution		Fosforgödsel-substitution		Metanemissioner från slamlagring		Metanemissioner från recipient		Lustgasemissioner från recipient		Kolinlagring	
			Best A	Worst A	Best B	Worst B	Best C	Worst C	Best D	Worst D	Best E	Worst E	Best F	Worst F	Best G	Worst G
Västra stranden	Ton CO ₂ /år % avvikelse från basfallet	3730	3777 1,3 %	5819 56 %	3637 - 2,5 %	3769 1,1 %	3729 0,0 %	3745 0,4 %	3730 0 %	3732 0 %	3730 0 %	3888 4,2 %	3674 - 1,5 %	8946 140 %	3461 - 7,2 %	4000 7,2 %
Ängstorp	Ton CO ₂ /år % avvikelse från basfallet	338	361 6,8 %	2019 497 %	338 0 %	338 0 %	338 0 %	338 0 %	338 0 %	339 0,3 %	338 0 %	364 7,7 %	333 - 1,5 %	831 146 %	295 - 12,7 %	382 13 %

Bilaga 2

Osäkerhetsanalys, presenteras i procentuell avvikelse från basfall.

			Metanemissioner avloppsvattenrening		Lustgasemissioner avloppsreningen		Metanemissioner biogasproduktion		Lustgasemissioner biogASFörbränning	
		Basfall	Best H	Worst H	Best I	Worst I	Best J	Worst J	Best K	Worst K
Västra stranden	Ton CO ₂ /år % avvikelse från basfallet	3730	3105 – 16,8 %	4877 30,8 %	2661 – 28,65 %	5935 59,1 %	3111 – 16,6 %	3730 0 %	3730 0 %	4038 8,3 %
Ängstorp	Ton CO ₂ /år % avvikelse från basfallet	338	287 – 15,1%	432 27,8 %	231 – 31,7 %	560 65,9 %	284 – 16 %	338 0 %	338 0 %	370 9,5 %

Bilaga 3

Statement of contribution

Vi har arbetat gemensamt med beräkningarna och litteraturstudien. Båda har lagt ner lika mycket arbete och tid. Allt innehåll har gemensamt diskuterats och värderats. I rapporten har vi haft några områden som vi haft extra ansvar för:

Linnéa:

- Beräkning Västra stranden
- Reningsprocesser
- Upp- och nedströmsprocesser
- Känslighetsanalys
- Elproduktion

Emma:

- Beräkning Ängstorp
- Osäkerhetsanalys
- Gödselsubstitution
- Fosforutvinning - vilka metoder ger minst klimatpåverkan

Emma Adriansson- Miljö- och
hälsoskydd

Linnéa Turesson- Miljöstrateg



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se