



EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK, GRUNDNIVÅ
STOCKHOLM, 2020

Miljöeffektsbedömning av två processlösningar för dricksvattenproduktion

Carolina Bergström

EXAMENSARBETE
Högskoleingenjörsexamen
Kemiteknik

Titel: Miljöeffektsbedömning av två processlösningar för dricksvattenproduktion

Engelsk titel: Environmental impact assessment of two process solutions for drinking water production

Sökord: Dricksvattenproduktion, vattenreningsverk, miljöeffektsbedömning

Arbetsplats: Norrvatten

Handledare på arbetsplatsen: Daniel Hellström

Handledare på KTH: Ingemar Jerling

Student: Carolina Bergström

Datum: 2020-06-09

Examinator: Ingemar Jerling

Sammanfattning

Norrvattens vattenverk Görvålnverket är beläget i Järfälla kommun och renar vatten från Mälaren. Enligt regionala utvecklingsplaner kommer en ökning av antal anslutna personer till Norrvattens distributionsnät att ske fram till år 2050, således behöver en ökad mängd dricksvatten produceras. Enligt framtidsprognoser kommer vattenkvaliteten i Mälaren försämrats på grund av klimatförändringar. Därmed ställs krav på att reningsprocessen även anpassas till dessa förhållanden.

Norrvatten utreder alternativ för ytterligare kapacitet och bättre rening. Inom ramen för detta arbete har bland annat två processlösningar tagits fram som förutsätter att en ny anläggning upprättas på en ny plats och Norrvattens befintliga vattenreningsanläggning tas ur drift. Processlösningarna benämns som Nybyggnation 2, N2, och Nybyggnation, N3, samt är dimensionerade utifrån Norrvattens uppsatta mål och krav för år 2050.

I examensarbetet har en miljöeffektsbedömning av de två processlösningarna utförts utifrån ett livscykelperspektiv med ISO-strukturen som grund. Studien har genomförts i syfte att ta fram underlag för vidare arbete med beslut för processval och utformning av Norrvattens framtida vattenverk.

Global uppvärmning var den miljöeffekt som visade störst miljöpåverkanspotential vid drift av en framtida anläggning. Försurning visade näst störst miljöpåverkanspotential följt av övergödning. Miljöpåverkanspotentialen för marknära ozon och ozonuttunning var mycket liten i förhållande till de tre förstnämnda. I förhållande till totala utsläpp som bidrar till respektive miljöeffekt var därmed global uppvärmning av störst betydelse.

Resultatet från normaliseringen visade att andelen utsläppspotential för försurning var störst följt av övergödning och sist global uppvärmning av de acceptabla belastningsekvivalenterna i Sverige. I förhållande till de acceptabla belastningsekvivalenterna var därmed försurning den mest betydande miljöeffekten följt av övergödning och sist global uppvärmning.

Den parameter som bidrog till störst miljöpåverkan var produktion av kemikalier följt av transporter. Energiförbrukningen visade minst miljöpåverkanspotential.

Vid fällning med aluminiumsulfat eller järnklorid var kemisk fällning särskilt miljöbelastande i båda processlösningarna. Vid fällning med järnklorid i N2 var miljöbelastningen från delsteget snabbfilter näst störst följt av distributionen, UF-filter och slambehandlingen. I N3 uppvisade istället UF-filter näst störst miljöbelastning följt av distributionen och slambehandlingen

Abstract

Norrvatten's water treatment plant Görvälverket is located in Järfälla municipality and purifies water from Mälaren. According to regional development plans, an increase in the number of connected people to the Norrvatten distribution network will take place until 2050. This means that an increased amount of drinking water needs to be produced. According to future forecasts, the water quality in Mälaren will deteriorate due to climate change. Therefore, the purification process needs to be adapted to these conditions.

Norrvatten investigates alternatives for additional capacity and better purification. Within the framework of this work, two process solutions have been developed that require the establishment of a new plant at a new site and Norrvatten's existing water treatment plant being taken out of operation. The process solutions are referred to as New construction 2, N2, and New construction 3, N3, and are dimensioned based on Norrvatten's set goals and requirements for 2050.

In the thesis, an environmental impact assessment of the two process solutions was executed from a life cycle perspective with the ISO structure as the basis. The study was executed with the aim of developing a basis for further work with decisions for process selection and design of Norrvatten's future water treatment plant.

Global warming was the environmental impact that showed the greatest environmental impact potential. Acidification showed the second largest environmental impact potential, followed by eutrophication. The environmental impact potential for ground-level ozone and ozone depletion was very small compared to the others. In relation to total emissions contributing to the respective environmental impact, global warming was of greatest importance.

The results from the normalization showed that the proportion of emission potential for acidification was greatest, followed by eutrophication and last global warming of the acceptable emission equivalents in Sweden. In relation to the acceptable emission equivalents, acidification was of greatest importance, followed by eutrophication and last global warming.

The parameter that contributed to the greatest environmental impact was the production of chemicals followed by transports. Energy consumption showed the least potential for environmental impact.

When precipitating with aluminum sulphate or iron chloride, the chemical precipitate showed by far the greatest environmental impact potential in both process solutions. When precipitating with iron chloride in N2, the environmental impact from the sub-stage quick filter was second largest, followed by distribution, UF-filter and sludge treatment. In N3, the

environmental impact from the sub-stage UF-filter was second largest, followed by distribution and sludge treatment.

Innehåll

1	Inledning.....	1
2	Bakgrund.....	3
2.1	Miljöarbete	3
2.2	Litteraturstudie	3
2.3	Görvålverkets vattenreningsprocess.....	5
2.3.1	Görvålverkets slamhanteringsprocess	5
2.4	Beskrivning av processlösningarna	6
2.4.1	Teknisk beskrivning av Nybyggnation 2, N2.....	7
2.4.2	Teknisk beskrivning av Nybyggnation 3, N3.....	8
2.4.3	Beskrivning av slambehandling	10
2.5	Livscykelanalys	11
2.5.1	Metodbeskrivning av livscykelanalys	11
3	Metod.....	14
3.1	Funktionell enhet.....	14
3.2	Systemgränser	14
3.2.1	Avgränsningar i tiden	15
3.2.2	Geografiska avgränsningar.....	15
3.2.3	Avgränsningar mot andra produkters livscyklar	15
3.3	Datainsamling.....	16
3.4	Antaganden.....	16
3.5	Miljöpåverkanskategorier.....	17
3.6	Känslighetsanalys	18
3.7	Normalisering.....	19
3.8	Beräkningar	19
4	Inventering.....	20
4.1	Transporter	20
4.2	Energi	20
4.3	Kemikalier	22
4.3.1	Järnklorid PIX-111	23
4.3.2	Aluminiumsulfat ALG	23

4.3.3	Ammoniumsulfat.....	24
4.3.4	Vattenglas.....	24
4.3.5	Svavelsyra.....	24
4.3.6	Soda.....	24
4.3.7	Hypoklorit.....	24
4.3.8	Polymer.....	24
5	Resultat.....	25
5.1	Resultat processlösning N2.....	26
5.1.1	Global uppvärmning.....	26
5.1.2	Försurning.....	27
5.1.3	Övergödning.....	28
5.1.4	Marknära ozon.....	29
5.1.5	Ozonuttuning.....	30
5.2	Resultat processlösning N3.....	31
5.2.1	Global uppvärmning.....	32
5.2.2	Försurning.....	33
5.2.3	Övergödning.....	34
5.2.4	Marknära ozon.....	35
5.2.5	Ozonuttuning.....	36
5.3	Känslighetsanalys.....	37
5.4	Normalisering.....	38
6	Diskussion.....	39
6.1	LCA som metod.....	39
6.2	Resultat av miljöpåverkan.....	40
6.3	Datakvalitet och antaganden.....	42
7	Förslag på fortsatt arbete.....	43
8	Slutsats.....	44
9	Referenser.....	45
	Bilaga A. Resultat N2.....	49
	Bilaga B. Resultat N3.....	52
	Bilaga C. In- och utdata.....	55

Bilaga D. Allmän data	58
Bilaga E. Utsläppsfaktorer och utsläppsekvivalenter	59
Bilaga F. Formler	63
Bilaga G. Beräkningar polymer	64

1 Inledning

Norrvatten är ett kommunalförbund som producerar och distribuerar dricksvatten till 14 medlemskommuner i norra Storstockholm. Norrvattens vattenverk Görvånverket är beläget på Skefvingeholmen vid Mälaren i Järfälla kommun. Idag producerar verket i genomsnitt 1600 liter dricksvatten per sekund.

Råvatten tas in i vattenverket från Mälaren och renas i olika processteg. Idag bedöms Mälarens vattenkvalitet som god, men SMHI bedömer att Mälarens framtida vattenkvalitet kommer att försämrans på grund av klimatförändringar [1]. Klimatförändringar bidrar bland annat till mer skyfall, högre vattennivåer och varmare vatten i Mälaren, vilket gynnar tillväxten av mikroorganismer och ökar föroreningar i Mälaren. Således ställs krav på att reningsprocessen anpassas till dessa förhållanden.

Enligt regionala utvecklingsplaner kommer en ökning av antal anslutna personer till Norrvattens distributionsnät att ske fram till år 2050, från cirka 650 000 till 950 000 personer [2]. I och med en framtida befolkningsökning i regionen behöver en ökad mängd dricksvatten produceras.

Möjligheten att producera mer dricksvatten samt skärpa kraven på reningsprocessen inom nuvarande anläggning är begränsad. Därför utreder Norrvatten alternativ för ytterligare kapacitet och bättre rening. Inom ramen för detta arbete har bland annat två processlösningar tagits fram som är dimensionerade utifrån Norrvattens uppsatta mål och krav för år 2050 [3].

Enligt Norrvattens miljöpolicy samt för att kunna uppnå det uppsatta miljömålet om begränsad klimatpåverkan bör den framtida dricksvattenproduktionen miljöbedömmas. I examensarbetet har en miljöeffektsbedömning av de två processlösningarna gjorts utifrån ett livscykelperspektiv med ISO-strukturen som grund.

Syftet med examensarbetet var att utgöra underlag för vidare arbete med beslut för processval och utformning av Norrvattens vattenverk.

Målen var att redovisa vilka de mest betydande miljöeffekterna är vid drift av en framtida anläggning och i vilken utsträckning olika parameter bidrar till miljöpåverkan samt att presentera delsteg i respektive processlösning som har särskild stor miljöpåverkan.

Frågeställningar som har behandlats är följande:

- Vilka är de mest betydande miljöeffekterna vid drift av en framtida anläggning?
- Är det något eller några processteg som är särskilt miljöbelastande?

- Vilken parameter bidrar till störst miljöpåverkan?

Målgruppen för studien är primärt berörda på Norrvatten och delaktiga i beslutsprocessen för den framtida dricksvattenförsörjningen.

Examensarbetet har avgränsats till att undersöka och bedöma miljöeffekter från teknikerna i de två processlösningarna vid drift under ett år. Miljöeffekter från konstruktionsfas och personaltransporter har inte undersökts och bedömts. Vidare har miljöeffekter från energiförbrukningen avgränsats till den elektricitet som förbrukas i processlösningarna.

2 Bakgrund

Ramböll har tagit fram totalt sex stycken alternativa processlösningar som kan bli en del av Norrvattens framtida beredningsprocess. Processlösningarna är dimensionerade utifrån Norrvattens uppsatta mål och krav för år 2050. De två processlösningarna som har undersökts och miljöbedömts i denna rapport förutsätter att en ny anläggning upprättas på en ny plats och Norrvattens befintliga vattenreningsanläggning tas ur drift [3]. Processlösningarna benämns som Nybyggnation 2, N2, och som Nybyggnation 3, N3.

Norrvattens miljöarbete beskrivs i kapitel 2.1. Litteraturstudie på tidigare liknande studier beskrivs i kapitel 2.2. Norrvattens nuvarande vattenreningsprocess och tillhörande slambehandlingsprocess beskrivs i kapitel 2.3 och 2.3.1. I kapitel 2.4 med tillhörande underkapitel beskrivs de ingående delstegen i respektive processlösning och tillhörande slambehandlingsprocess.

2.1 Miljöarbete

Norrvattens miljöarbete bedrivs utifrån miljöledningssystemet Miljödiplom Guld som utfärdas av Järfälla kommun och innebär att Norrvatten är certifierat enligt Svensk Miljöbas [4]. För att få Miljödiplom Guld krävs bland annat att verksamheten visar miljöansvar och kontinuerligt minskar sin miljöpåverkan. Norrvattens riktlinjer för att visa miljöansvar och kontinuerligt minska sin miljöpåverkan beskrivs i Norrvattens miljöpolicy. Bland annat ska Norrvatten producera och distribuera dricksvatten av god kvalitet med minsta möjliga miljöbelastning, ständigt förbättra sitt miljöarbete, minimera utsläpp av föroreningar till miljön samt minska användningen av energi och kemikalier [5].

Genom att identifiera vilka delprocesser i Norrvattens framtida dricksvattenproduktion som är särskilt miljöbelastande och sammanställa vilka de största miljöeffekterna är ges förutsättningar för att uppnå den minsta möjliga klimatpåverkan av dricksvattentillverkningen.

2.2 Litteraturstudie

Det har tidigare utförts en del studier där miljöpåverkan från vattenrening undersökts. De flesta har behandlat rening av avloppsvatten. Få studier som undersökt miljöpåverkan från dricksvattenproduktion har påträffats i litteraturen. Samtliga studier har använt platsspecifika data och data från internationella LCA databaser, så som EcoInvent, för beräkningar av miljöpåverkan.

En av de tidigaste studierna som påträffats där miljöpåverkan från vattenrening studerats var en miljökonsekvensbeskrivning av Tillman m.fl. från år 1996. Studiens syfte var att jämföra olika alternativ för omhändertagande av avloppsvatten. Dricksvattenproduktionen vid Göteborgs vattenverk var även en del av det studerade systemet där endast driftfasen beaktades. Resultatet visade att energiförbrukningen bidrog till störst del av den totala

miljöpåverkan från vattenreningen. Resultaten från jämförelsen av de olika alternativen för omhändertagande av avloppsvatten visade att emissioner från tillverkning av produktionsutrustningen var liten i jämförelse med emissioner från driften av systemet. [6]

År 1999 publicerades en LCA-studie av Wallén, E. Syftet med studien var att undersöka miljöpåverkan från dricksvattenproduktionen vid Göteborgs vattenverk. Det mest miljöbelastande delprocesserna identifierades och sammanställda data delades upp i emissioner till luft och vatten. Resultatet visade att energiförbrukningen för distributionen av producerad dricksvatten gav störst totala utsläpp. Störst emissioner till luft bidrog kemikalieproduktionen med. Utsläpp av koldioxid var betydligt större än övriga utsläpp. Wallén studerade även utsläpp från distributionsnätet. Drift och underhåll av nätet visade sig bidra till en mindre klimatpåverkan än den från dricksvattenproduktionen och en högre miljöpåverkan än underhåll av verket. [7]

Racoviceanu m.fl. publicerade år 2007 en LCA-studie där en konventionell vattenreningsanläggning i Kanada studerades. Syftet med studien var att sammanställa emissioner av växthusgaser från produktion av kemikalier, transporter av kemikalier och energiförbrukningen. Resultaten visade att distributionen stod för nästan all energiförbrukning och 90 % av de totala emissionerna. [8]

År 2008 genomförde Barrios, R m.fl. en LCA studie på vattenverket Weesperkarspel i Nederländerna. Syftet med studien var att undersöka miljöpåverkan från förändringar av konventionell vattenrening. Resultatet från studien visade att produktion av kemikalier följt av energiförbrukningen gav störst bidrag till den totala miljöpåverkan. Utsläpp av koldioxid var betydligt större än övriga utsläpp. En slutsats i studien var att påverkan kan minskas genom att se över val av tillsatta kemikalier. För att minska utsläppen skulle järnsulfat kunna användas istället för aluminiumsulfat och ferroklorid. [9]

En annan LCA-studie utförd av Sörelius Kiessling, H publicerades år 2013. En del av syftet med studien var att utvärdera tre avloppssystem för rening av avloppsvatten. Resultaten visade att koldioxid gav det överlägset största bidraget till de totala emissionerna från avloppsreningen. [10]

Ett tidigare examensarbete har genomförts år 2015 på Norrvatten av Jutterström, S där Norrvattens koldioxidavtryck beräknades. Resultaten visade att produktionen av kemikalier hade störst påverkan på de totala växthusgasutsläppen, följt av energiförbrukningen och transporter. De faktorer som bidrog minst till det totala koldioxidavtrycket var material och avfall. Resultat från känslighetsanalysen visade att europeisk medel hade en betydligt större miljöpåverkan än nordisk elmix och svensk elmix. I studien diskuterades även val av fällningskemikalie då resultat från LCA-studien jämfört med slutsatser från litteraturstudien

visade att järnsulfat gav ett lägre och järnklorid ett något högre koldioxidavtryck än aluminiumsulfat. [11]

Generella slutsatser som kan sammanfattas från tidigare studier är att utsläpp från produktion av kemikalier och från energiförbrukningen stått för de största utsläppen. De utsläpp som visats vara störst är utsläpp av koldioxid. Distributionen var i ett fall det delsteg som förbrukade störst del energi av den totala energiförbrukningen. Då energiförbrukningen genererar stora utsläpp är det rimligt att anta att energins ursprungskällor är av stor betydelse. Val av fällningskemikalie kan ha stor betydelse på den totala miljöpåverkan. I de fall då miljöpåverkan från vattenrening har jämförts med totala utsläpp i Sverige och Europa eller med acceptabla utsläppsekvivalenter har utsläpp från vattenreningen varit väldigt små i jämförelsen. Miljöpåverkan från vattenrening har bedömts vara osignifikant.

2.3 Görvälverkets vattenreningsprocess

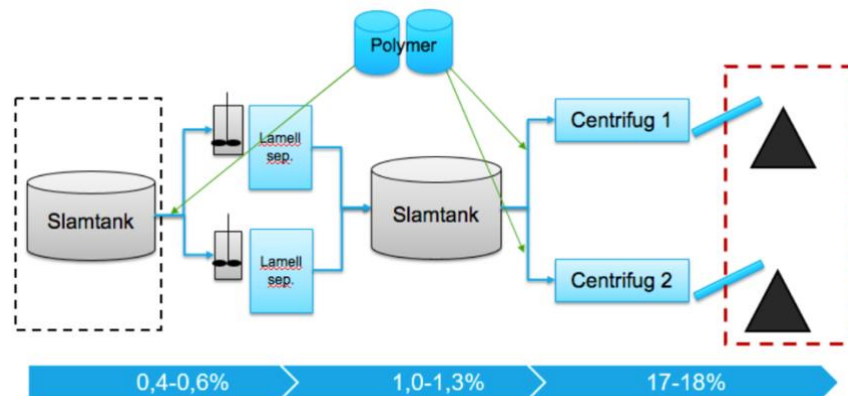
Görvälverkets vattenreningsprocess består av tolv steg. I det första steget pumpas råvatten in från Mälaren från två alternativa djup, 22 meter eller 4 meter beroende på årstid och vattenkvalitet. Råvattnet silas därefter från fisk och alger i en korgbandsil. Det silade vattnet pumpas till en blandningsränna där aluminiumsulfat i form av ALG tillsätts som fällningskemikalie. Vidare leds vattnet till flockningskammare där det tillsatta ALG bildar flockar. Natriumsilikat tillsätts även som hjälpkoagulant för att göra flockarna större. Vattnet från flockningen leds därefter till sedimenteringsbassänger. Idag installeras flotation i en av sedimenteringsbassängerna. Slammet från sedimenteringen tas bort med hjälp av slamskrapor och leds vidare till slambehandlingen. [12]

Det sedimenterade vattnet går vidare till sandfilter där resterande flockar avlägsnas. Filtratet samlas upp i en pumpstation som pumpar vattnet till kolfilter av aktivt granulerat kol, GAK. Det filtrerade vattnet leds till UV-reaktorer som desinficerar vattnet med ultraviolett ljus. Vattnet pH-justeras därefter genom tillsats av kalkvatten, vilket minskar risken för korrosion i vattenledningsnätet. Vattnet tillsätts även monokloramin för att hämma bakterietillväxt i vattenledningsnätet. Det färdiga dricksvattnet leds vidare till en lågreservoar varifrån vattnet sedan pumpas ut till vattenledningsnätet. [12]

2.3.1 Görvälverkets slamhanteringsprocess

I figur 1 nedan presenteras avvattningsprocessen för slammet på Görvälverket. I avvattningsanläggningen blandas slammet i två mixertankar för att sedan förtjockas i lamellseparatorer. Vidare blandas det förtjockade slammet i en sista slamtank. Slammet förs sedan till två separata centrifuger där slammet avvattnas. Efter centrifugeringen erhålls ett slam med en torrsubstanshalt på cirka 17–18 %. Vid inloppet till mixertankarna respektive centrifugerna tillsätts polymerer för att stabilisera slammet. [13]

Slamproduktionen från vattenverket är cirka 7700 ton per år. I dagsläget transporteras det avvattnade slammet bort av företaget Ragn-Sells och används som konstruktionsmaterial i anläggningsmassor. [14]



Figur 1. Översikt över Görvälnverkets slamavvattningsprocess. [13]

2.4 Beskrivning av processlösningarna

De tekniska systemen för de två processerna börjar med råvattnets intag ur Mälaren och slutar efter distributionspumpar.

Vattenreningen är dimensionerat för järnklorid och aluminiumsulfat som fällningskemikalie samt med ett medelflöde på 208 000 m³/d [3]. Vilken fällningskemikalie som kommer att tillsättas i det framtida vattenverket är inte bestämt. Därför undersöks miljöpåverkan från fällning med aluminiumsulfat i granulerad form, ALG, eller järnklorid FeCl₃ i form av PIX-111 i denna studie.

De stora skillnader som föreligger mellan processlösningarna är den kemiska fällningen och dimensionering av ozonbehandling. I N2 byggs plats för ozongeneratorer till förberedelse inför att ozonbehandling ska kunna tas i drift i framtiden. I N3 installeras ozonbehandling från början. I N2 och N3 benämns kolfilter utan föregående ozonbehandling som GAK. Kolfilter som föregås av ozon benämns som BAK. [3]

Skillnaden mellan GAK och BAK är att i GAK regenereras det aktiva kolet regelbundet så att ämnen kan fortsätta att absorberas. I BAK fungerar filtret istället som ett biofilter där kolet blir ett bärrmaterial för den aktiva biofilmen [3]. Övergången från GAK till BAK är gradvis allteftersom det aktiva kolet mätas och biofilmen etableras.

För att uppnå ett maxflöde på 280 000 m³/d dricksvatten i N2 krävs ett råvattenintag på 317 000 m³/d. För att uppnå ett medelflöde på 208 000 m³/d krävs ett råvattenintag på 236 000

m³/d. Vattenförlusten är följaktligen cirka 12 % och beror på att N2 inkluderar två snabbfilteranläggningar samt en UF-anläggning med spolbehov. [3]

I N3 krävs ett råvattenintag på 298 000 m³/d för att uppnå ett maxflöde på 280 000 m³/d dricksvatten. För att uppnå ett medelflöde på 208 000 m³/d dricksvatten krävs ett råvattenintag på 222 000 m³/d. Vattenförlusten är cirka 8 % och beror på att processlösning N3 innefattar en snabbfilteranläggning och en UF-anläggning med spolningsbehov. [3]

2.4.1 Teknisk beskrivning av Nybyggnation 2, N2

Flödesschema över processlösning N2 illustreras i figur 2. Vattnet tas in från Mälaren från två olika djup, 4 eller ca 30 meters djup. Vattnet leds vidare till en intagskanal för korgbandssilar för att silas från större partiklar och fisk. Sildukarna spolans automatiskt med silat vatten och spolavloppet leds tillbaka till Mälaren. Det silade råvattnet leds till en intagskanal som har tillflöde till råvattenpumpar. Pumparna för råvattnet vidare till den kemiska fällningen som består av en PAK-kammare och flockningskammare. [3]

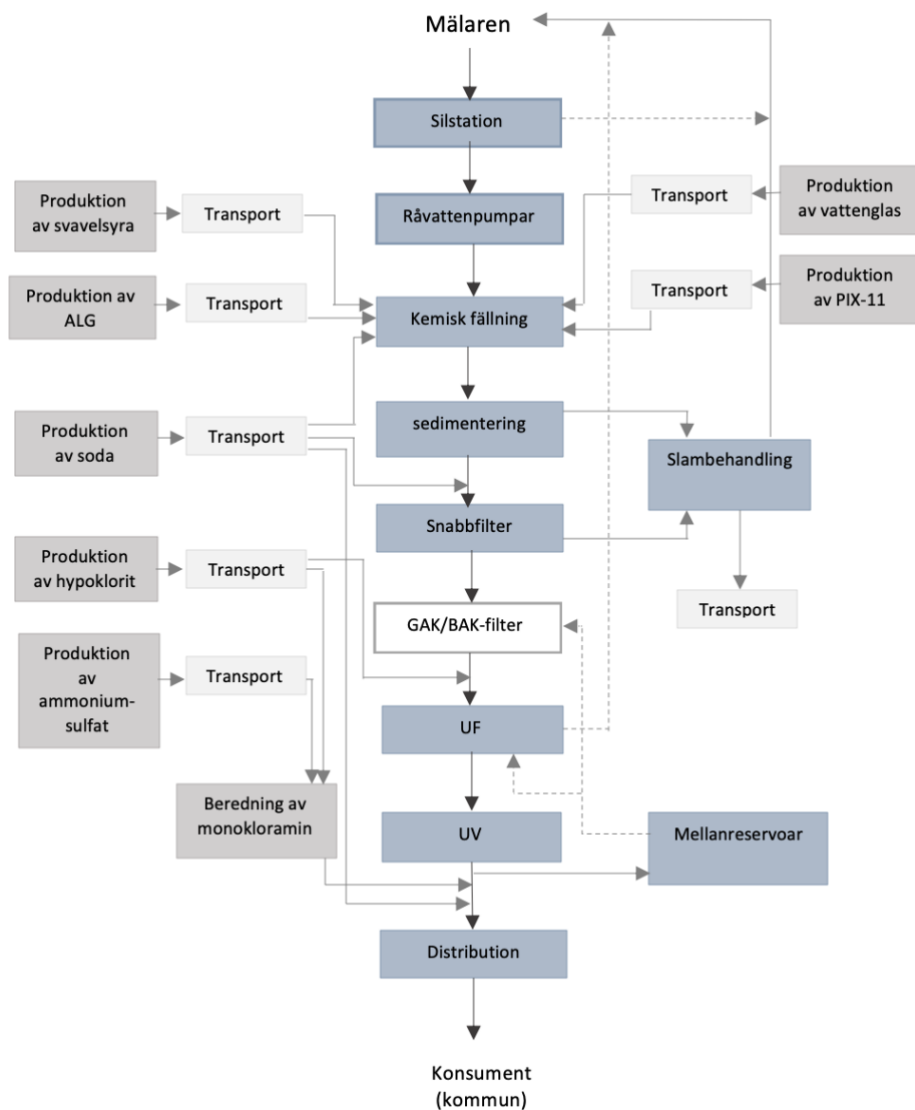
I PAK-kammare doseras pulverkol, PAK, vid kännedom om ett akut utsläpp Mälaren. Beroende på val av fällningskemikalie doseras soda eller svavelsyra i PAK-kammaren för pH-optimering. Vattnet går från PAK-kammaren vidare till flockningskammare där ALG eller PIX-111 tillsätts. Därefter tillsätts natriumsilikat som hjälpkoagulant. [3]

Från den Kemiska fällningen leds vattnet till lamellsedimenteringsbassänger. Hantering av slammet som uppstår i sedimenteringen beskrivs i kapitel 2.4.3. Dekantatet från sedimenteringen leds till en fördelningskanal för snabbfilter. [3]

Då PIX-111 används som fällningskemikalie doseras soda i inloppskanalen för snabbfilter. Detta för att justera pH och fälla ut restjärn. Spolavlopp från backspolningen avleds till slambehandlingen. Vattnet förs sedan till filter med granulerat aktivt kol, GAK. [3]

Filtratet från GAK-filtren pumpas till UF-anläggningen som består av pumpar och ultrafiltermembran. Hypoklorit tillsätts för tvätt av membranen, vilket är ett alternativ för kemikalier som kan användas för tvätt. [3]

Permeat från UF-anläggningen leds till UV-aggregat som desinficerar vattnet. Det färdiga dricksvattnet leds till en lågreservoar varifrån vattnet sedan pumpas ut till distributionsnätet. Monokloramin tillsätts innan lågreservoaren för att hämma bakterietillväxt i vattenledningsnätet. Även soda doseras för att justera pH. [3]



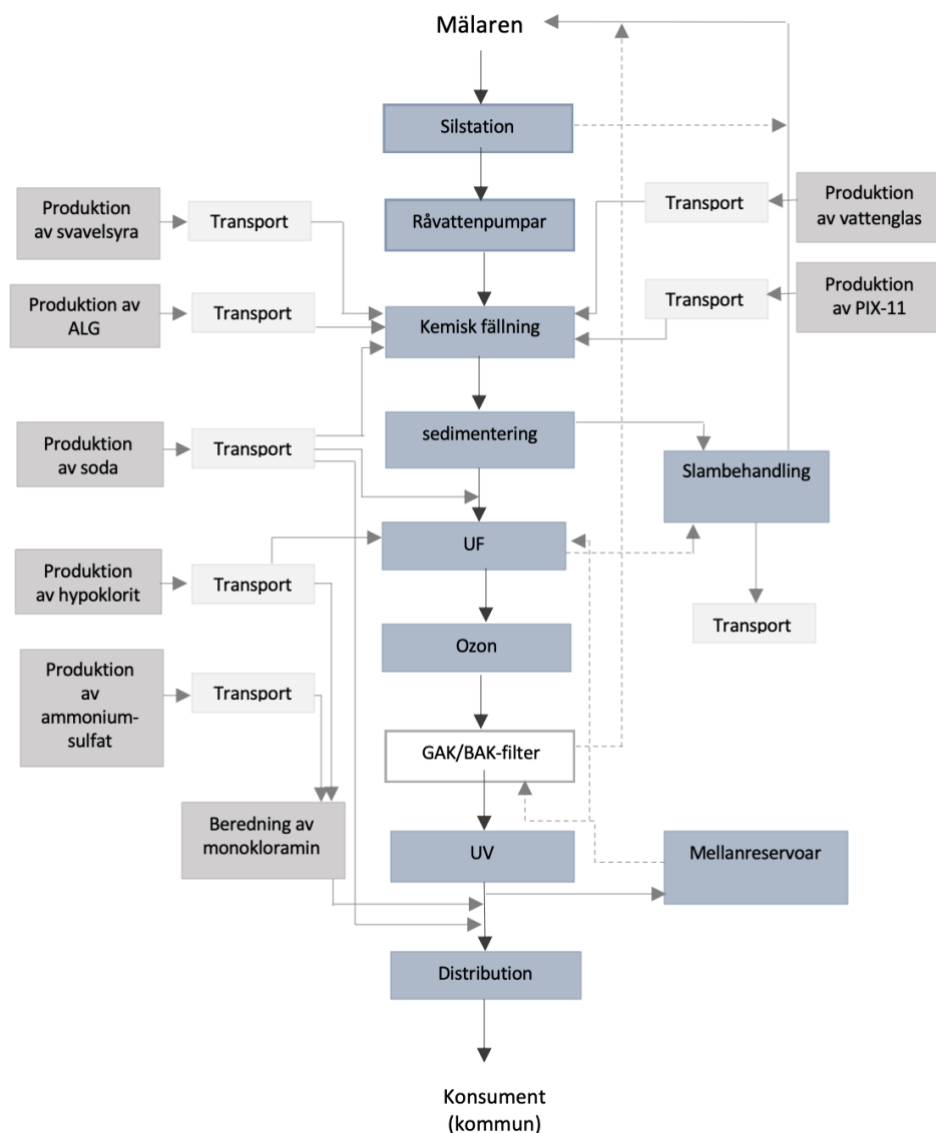
Figur 2. Flödesschema över vattenreningsprocessen i N2. Flödesschemat visar de olika delstegen i vattenreningsprocessen inom systemgränserna, dock ingår inte kolfilter som visas med vit ruta. Streckade pilar visar flödet för spolvatten.

2.4.2 Teknisk beskrivning av Nybyggnation 3, N3

Flödesschema över processlösning N3 illustreras i figur 3. Råvatten tas in från Mälaren och passerar korgbandsilar på samma sätt som i processlösning N2. Funktion och utformning av råvattenpumpar, den kemiska fällningen och lamellsedimentering med dosering av kemikalier är även samma.

Dekantat från lamellsedimenteringen leds till en UF-anläggning. Som i processlösning N2 är UF-membranen polymera. Tvätt av membranerna sker med samma kemikalier. [3]

Vattnet från UF-anläggningen leds till ozonanläggningen. Vattnet från ozoneringen leds till filter med BAK- material. Vidare leds vattnet till UV-anläggningen och därefter till lågreservoaren för att sedan distribueras ut i vattenledningsnätet. Beredning och dosering av monokloramin samt dosering av soda vid distributionen utformas på samma sätt som i N2 [3].

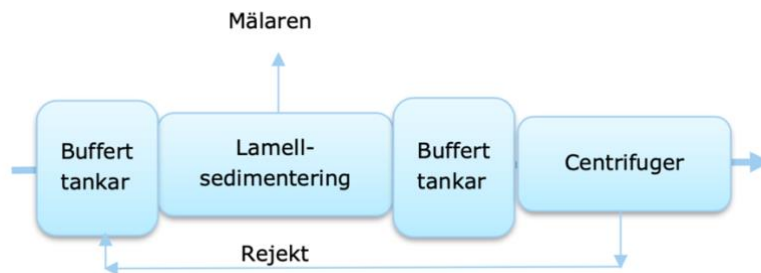


Figur 3. Flödesschema över vattenrensningen i N3. Flödesschemat visar de olika delstegen i vattenrensningen inom systemgränserna, dock ingår inte kolfilter som visas med vit ruta. Streckade pilar visar flödet för spolvatten.

2.4.3 Beskrivning av slambehandling

I figur 4 nedan redovisas ett flödesschema över slamavvattningsprocessen i N2 och N3. I avvattningsanläggningen blandas slam från lamellsedimenteringen och backspolvatten i tre bufferttankar. Slammet går sedan in i tre lamellseparatorer för förtjockning av slammet till en torrsubstanshalt på ca 2 - 2,5 %. Vidare blandas det förtjockade slammet i en sista slamtank som matar ett jämnt flöde till centrifuger som avvattnar slammet till en torrsubstanshalt på cirka 18 %. Polymer doseras både i lamellsedimenteringen och i centrifugeringen för att stabilisera slammet. [3]

Slambehandlingen bygger på samma principer som används idag på Görvälnverket, se kapitel 2.3.1. En skillnad är att spolavloppet från backspolning tillförs slambehandlingen.



Figur 4. Flödesschema över slambehandlingen i processlösning N2 och N3. [3]

2.5 Livscykelanalys

Hållbar utveckling kräver bland annat metoder för att mäta olika påverkan från processer och produktion. Livscykelanalys som förkortas LCA är en av flera välbeprövade metoder där påverkan från en produkt eller tjänst studeras genom dess livscykel [15].

Den äldsta och vanligaste formen av livscykelanalys är den som studerar miljöpåverkan. Social livscykelanalys är en relativt ny form av livscykelanalys som utvecklats med syfte att mäta påverkan på de sociala aspekterna ur en produkts eller tjänsts livscykel [16].

Miljöpåverkan studeras genom att inventera de råvaror och den energi som används under en produkts livscykel för att sedan beräkna miljöpåverkanspotential. En så kallad vaggan-till-graven LCA innefattar miljöeffekter från utsläpp vid utvinning av råvaror till slutanvändning. [15]

Metoden ger möjlighet att identifiera och redovisa var utsläpp och förbrukning av resurser sker i produktens livscykel för att förbättra produkters miljöprestanda. LCA ger även potential för att öka kompetens hos beslutsfattare och möjlighet för företag eller myndigheter att göra miljöanspråk eller erhålla olika miljöcertifikat [17].

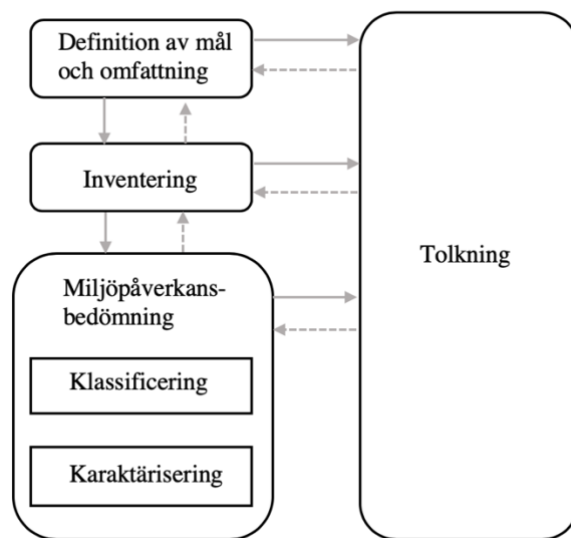
Sedan 1997 finns metodiken för utförande av LCA standardiserat inom ISO med numret 14040 för övergripande regler och nummer i intervallet 14041–14049 för mer detaljerade krav. ISO står för International Organization for Standardization och är en global organisation som arbetar för att tillhandahålla standardisering för produkter och företag [17]. Dess huvudmål är att underlätta handel, men fokuserar på processförbättring, säkerhet och kvalitet [15].

Grunderna för LCA metodiken där miljöpåverkan studeras presenteras i kapitel 2.5.1.

2.5.1 Metodbeskrivning av livscykelanalys

En LCA-studie är indelad i fyra faser. Faserna är definierade enligt ISO som definition av mål och omfattning, inventering, miljöpåverkansbedömning och tolkning av resultat [15].

Faserna kan sällan följas i en kronologisk ordning utan i många fall får man gå tillbaka och ändra premisser utefter arbetes gång. Förhållandet mellan faserna är därmed inte linjärt utan iterativt. En anledning kan vara att insamlad data ofta inte möter de krav som ställts från början i studien. I figur 5 redovisas en översiktlig beskrivning av arbetsprocessen i en LCA.



Figur 5. Principskiss över de olika faserna i en livscykelanalys. De streckade pilarna markerar de itereringar som kan bli nödvändiga. [18]

I första fasen, mål och omfattning, definieras syftet med studien och hur resultatet ska användas. Studiens omfattning bestäms med systemgränser som avser hur studien avgränsas geografiskt, tidsmässigt och när man slutar följa olika flöden [18].

En funktionell enhet definieras även i första fasen. Syftet med en funktionell enhet är att skapa en referensenhet till vilken man relaterar in- och utdata för resursförbrukning, energianvändning och emissioner [18]. Den funktionella enheten är således en räknebas och bör därför vara tydligt definierad och mätbar.

Inventeringsfasen innefattar datainsamling för alla in- och utflöden för systemet. Flöden som ur miljöperspektiv är betydelslösa bortses ifrån, till exempel utsläpp av vattenånga. Därefter beräknas resurs- och energiåtgången samt utsläpp per vald funktionell enhet. [15]

Inventeringen kompliceras ofta av att många tekniska processer framställer mer än en produkt. Den miljömässiga belastningen för sådana processer kan allokeras, vilket innebär att den miljömässiga belastningen delas upp mellan processens olika produkter. Allokering är ofta nödvändigt vid inventering av produktion av material vid konstruktionsfas [18].

I miljöpåverkansbedömningen identifieras den miljöpåverkan som det undersökta systemet ger upphov till. Miljöpåverkansbedömningen genomförs genom klassificering och karaktärisering. Klassificering innebär att parametrarna från inventeringen sorteras efter den typ av miljöpåverkan de bidrar till. Karaktärisering innebär att de relativa bidragen från utsläppen och resursanvändningen beräknas till varje typ av vald miljöpåverkanskategori. Resultatet från beräkningar uttrycks i utsläppsekvivalenter som visar miljöpåverkanspotentialen för de

studerade miljöpåverkanskategorierna. I ISO-standarden fastslås att en studie endast får kallas LCA om både klassificering och karakterisering ingår. Om ingen påverkansbedömning görs utan enbart en inventering kallas studien en livscykelinventering som förkortas LCI. [15]

Tolkning är det sista delsteget där resultaten från inventeringen och miljöpåverkansbedömningen tolkas och diskuteras. I detta steg utförs eventuellt även en normalisering och känslighetsanalys. I normaliseringen relateras utsläppen från livscykeln till det totala utsläppet som sker i ett geografiskt område genom att resultat från kategoriseringen divideras med referensvärden [15]. Känslighetsanalysen har som syfte att undersöka olika parametrars påverkan på resultatet. Detta är vanligt att göra genom att analysera använda parametrar i olika scenarion och se till vilken bredd de påverkar resultatet [18].

3 Metod

Examensarbetet har baserats på de grundläggande dragen hos LCA metodiken med ISO 14040. Studiens utförande redovisas i kapitel 3.1 till 3.6.

3.1 Funktionell enhet

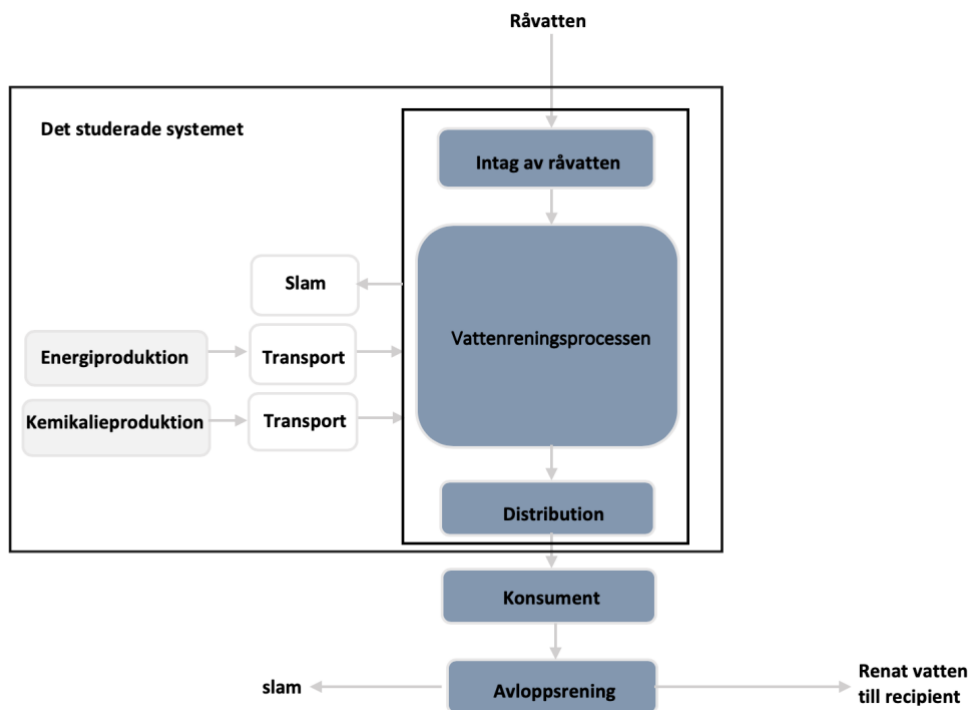
Den funktionella enheten som använts som räknebas i studien är 1 m³ producerat dricksvatten.

3.2 Systemgränser

Den fas som inkluderats i det studerade systemet är driftsfasen. Systemet inkluderar inte konstruktionsfasen, fasen där produktionen tas ur bruk, konsumtion av dricksvattnet och rening av avloppsvatten. Det studerade systemet består av transporter, produktion av kemikalier och tillverkning av dricksvatten. Systemet illustreras i figur 6.

I tillverkning av dricksvatten innefattas råvattenintag och transport av vattnet genom vattenverkets reningsprocess. Energiförbrukning och kemikalieförbrukning i reningsprocessen inkluderas. GAK/BAK-filtren inkluderas inte i systemet. Vidare har en av två mellanreservoarer i processlösningarna inkluderats.

Produktion av kemikalier innefattar produktionen av samtliga kemikalier som förbrukas i processlösningarna, förutom produktion av PAK eftersom PAK-dosering inte är en del av den dagliga driften. Transporter omfattar transporter av kemikalier från distributör till Görvälnverket och transport för bortförel av slam.



Figur 6. Illustration av det studerade systemet. Den inre avgränsningen innefattar delsteg i vattenreningen i processlösning N2 och N3 samt distribution till konsument (kommun). Den yttre avgränsningen innefattar det studerade systemet. Ljusgrå rutor representerar produktion av energi och kemikalier. Vita rutor representerar transporter. Blå rutor representerar vattenreningsprocessen.

3.2.1 Avgränsningar i tiden

Studien är avsedd att gälla nu fram till år 2050. Teknisk utveckling kan medföra stora förändringar, därmed är studiens tidsmässiga giltighet svår att förutse. Skillnader i råvattenkvalitet och krav på dricksvattenkvalitet är också faktorer som kan påverka studiens tidsmässiga giltighet.

3.2.2 Geografiska avgränsningar

Miljöpåverkan från olika utsläpp har varierande räckvidd i sin omgivning. Beroende på utsläppens natur sker miljöpåverkan både på lokal nivå och global nivå [18]. Alla nivåer har inkluderats i studien.

3.2.3 Avgränsningar mot andra produkters livscyklar

I denna studie har inte hänsyn tagits till anställdas transporter till och från arbetsplatsen samt övriga personaltransporter. Eventuella driftsstörningar, oväntade läckage eller avvikelser i

processlösningarna har inte beaktats. Samtliga avgränsningar är vanliga antaganden som görs vid livscykelanalyser [15].

3.3 Datainsamling

Data gällande antal transporter och processlösningarnas energiförbrukning har hämtats från Ramböll. Även data gällande förbrukning av kemikalier har hämtats från Ramböll förutom förbrukad mängd polymer som har beräknats. Kontakt har tagits med distributörer för att kartlägga transportsträckor för leveranser av kemikalier. Även kontakt med Ragn-Sells har tagits för att fastställa transportsträckan mellan Görvålverket och Ragn-Sells slamavlämning.

Värden för beräkningarna av slamproduktion har hämtats från Görvålverkets årsredovisning 2019 och från en tidigare studie gjord på Norrvattens slamhantering där värden används från år 2018.

För beräkningar av utsläpp från produktion och distribution av el har data hämtats från Vattenfall AB och energimyndigheten. Datan inbegriper utsläpp från resursförbrukning, utsläpp, avfall, återvinning samt markanvändning för varje kWh el som produceras och distribueras [20,21,22].

Data för energiförbrukning vid transporter har hämtats från Naturvårdsverket och medelvärden för bränsleförbrukning har använts.

Data för beräkningar av utsläpp från produktion av kemikalier har i de flesta fall tagits fram av RISE. Utsläppsfaktorer för resterande kemikalieproduktion har hämtats från European Commission och med LCA-verktyget OpenLCA. Samtliga data är baserad på produktion i Europa. Transport efter produktion är inte inkluderat i någon data.

Metod för karakterisering som RISE använt och som metod för beräkningar gjorda i denna studie är efter CML 2001.

Normaliseringsfaktorer som använts vid beräkningar för normalisering har tagits fram i en livscykelanalys utförd av Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och teknik.

3.4 Antaganden

Förbrukad mängd polymer har beräknats utifrån värden på Görvålverkets tillsats av polymer år 2018. Från dessa beräkningar har antalet transporter av polymer beräknats med antagandet att transportererna sker med lätt lastbil. Polymer har antagits vara samma polymer som idag används för slambehandlingen på Görvålverket.

Transport av ammoniumsulfat antogs även ske med lätt lastbil. Övriga transporter har antagits ske med tung lastbil med släp. Samtliga transporter antogs ske med fulla lastbilar och transportsträckorna har beräknats efter tur- och returresor.

Processlösning N2 och N3 förutsätter att det nya vattenverket byggs på ny plats intill det befintliga vattenverket [3]. Avståndet för transport av kemikalier antogs därför vara avståndet mellan distributörens lager och Görvålnverket.

Ragn-Sells har tre platser för slamavlämning vilka är belägna i Brista, Högbytorp och Stora Uringe. Enligt Ragn-Sells transporteras de mesta slam till Högbytorp [23]. För bortforsling av slam antogs därför transportsträckan från Görvålnverket till Ragn-Sells slamavlämning i Högbytorp.

Val av distributör av vardera kemikalie har gjorts efter kontakt med distributörer angående sortiment. Kemira, Brenntag Nordic AB och Ragn-Sells har för det mesta dieselmiljöklass 1 som drivmedel för deras transporter [24,25,26]. Sibelco uppger att deras transporter sker med färdmedel som har drivmedel HVO eller Diesel [27]. Drivmedlet för samtliga transporterna i denna studie antog därför vara diesel Miljöklass 1 med 5 % RME innehåll.

Förbrukad el antogs bestå av svensk elmix enligt vattenfall. Svensk elmix består av el från 53 % kärnkraft, 45 % vattenkraft samt 2 % vindkraft och solenergi [28]. Delen solenergi är mycket liten, därav har 2 % antagits bestå helt av vindkraft.

Grön el består till största del vattenkraft. Grön el består även av en mycket liten del vindkraft och har ett inslag av solenergi [28]. Efter kontakt med vattenfall har grön el antagits bestå helt av vattenkraft.

3.5 Miljöpåverkanskategorier

De miljöpåverkanskategorierna som har studerats är global uppvärmning (global warming Potential, GWP), övergödning (eutrophication potential, EP), försurning (acidification potential, AP), marknära ozon (photochemical oxidant creation, POCP) och ozonnedbrytning (ozon depletion, ODP). Varje miljöpåverkanskategori har en egen given faktor som redovisas i tabell 1.

Enligt Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, bidrar CO₂, N₂O och CH₄ till global uppvärmning [18]. Växthusgaserna har viktats i relation till koldioxid och är de angivna i koldioxidekvivalent per kilogram utsläpp.

Enligt CML 2001 bidrar kväveoxider NO_x, COD, P, N, NH₃ och fosfat PO₄³⁻ till övergödning [18]. Utsläppen har viktats i relation till fosfatjonen och är angivna i fosfatekvivalenter per kilogram utsläpp.

NO_x och SO₂ bidrar främst till försurning. Enligt CML 2001 bidrar även NH₃ till försurning [18]. Gaserna har viktats i relation till svaveldioxid och är angivna i svaveldioxidekvivalent per kilogram utsläpp.

Ozonuttuning påverkas främst av utsläpp av CO. Ozonuttuning påverkas även av NO_x - utsläpp enligt CML 2001 [18]. Utsläpp av CO och NO_x har viktats i relation till fluortriklormetan, även kallad R-11, och är angivna i R-11 ekvivalenter per kilogram utsläpp.

Enligt CML 2001 bidrar främst NO_x och VOC till Marknära ozon. Utsläpp av dessa ämnen har viktats i relation till eten och är angivna i eten ekvivalenter.

Tabell 1. Sammanställning av karaktäriseringsfaktorer [18]

Utsläpp	GWP	EP	AP	ODP	POCP
	kg CO ₂ - ekv/kg	kg PO ₄₃₋₋ ekv/kg	kg SO ₂ - ekv/kg	kg R11- ekv/kg	kg C ₂ H ₆ - ekv/kg
CO ₂	1				
N ₂ O	265				
CH ₄	28				
NO _x		0,36	0,7	0,017	0,028
COD		0,022			
P		3,06			
N		0,42			
NH ₃		0,33	1,88		
PO ₄₃₋₋		1			
SO ₂			1,2		
VOC					0,337
CO				0,036	

3.6 Känslighetsanalys

El som förbrukas på Görvålverket idag består av ca 70 % inköpt grön el och ca 30 % el genererad från Norrvattens egna vindkraftverk i Ockelbo [19].

Utsläppen från energiförbrukningen kommer att variera beroende på energins ursprung. För att bedöma till vilken grad energins ursprung påverkat resultaten har en känslighetsanalys utförts. Känslighetsanalysen har behandlat utsläppspotentialer från förbrukad grön el och svensk elmix enligt vattenfall för de fem studerade miljöpåverkanskategorierna.

3.7 Normalisering

Vattenförbrukningen per person i Sverige är ca 180 liter/dygn och 65 700 liter/år [11]. En normalisering har utförts där utsläppspotentialer för global uppvärmning, försurning och övergödning från produktion av 65 700 liter dricksvatten har dividerats med normaliseringsfaktorer för utsläpp i Sverige. Detta för att erhålla ett referensvärde som sätter potentialerna i förhållande till acceptabla utsläpp per år och capita.

Normaliseringsfaktorererna, även kallade de acceptabla belastningsekvivalenterna, anger hur mycket en person årligen kan påverka miljön utan att en hållbar framtid äventyras i förhållande till Sveriges uppsatta miljö kvalitetsmål. Normaliseringsfaktorererna anges som belastningsekvivalenter i de olika miljöpåverkanskategorierna. [15]

3.8 Beräkningar

Alla beräkningar är utförda i Excel förutom beräknade utsläpp från produktion av polymer som beräknats i LCA-verktyget OpenLCA. Formler för beräkningar redovisas i bilaga F. Beräkningar gjorda gällande förbrukad mängd polymer redovisas i bilaga G.

4 Inventering

Inventeringen har delats upp i transporter, energi och kemikalier.

I transporter inkluderas transporter av de olika kemikalierna som används i dricksvattenreningen i N2 och N3, från distributör till Görvålverket. Även bortförel av slam är inkluderat transporter. I energi redovisas energiförbrukning för respektive processlösning. I kemikalier innefattas kemikalieförbrukningen och produktion av kemikalier. Inventeringsdata finns samlade i bilaga C. Allmän data använda för beräkningar finns sammanställda i bilaga D.

4.1 Transporter

I tabell 2 redovisas antagna distributörer av respektive kemikalie tillsammans med kemikaliernas funktion i vattenreningprocessen.

Tabell 2. Funktion och distributör av respektive kemikalie i processlösning N2 och N3.

Namn	Funktion	Distributör
Järnklorid	Fällningskemikalie	Kemira
Aluminiumsulfat	Fällningskemikalie	Kemira
Svavelsyra	pH-justering	Kemira
Soda 99 %	Alkalisering/pH-justering	Kemira
Vattenglas	Hjälpkogulant	Sibelco Nordic AB
Hypoklorit 15 %	Monokloramin beredning och UF-tvätt	Kemira
Ammoniumsulfat 99,5 %	Monokloramin beredning	Brenntag Nordic AB
Polymer	Slamavvattning	Kemira

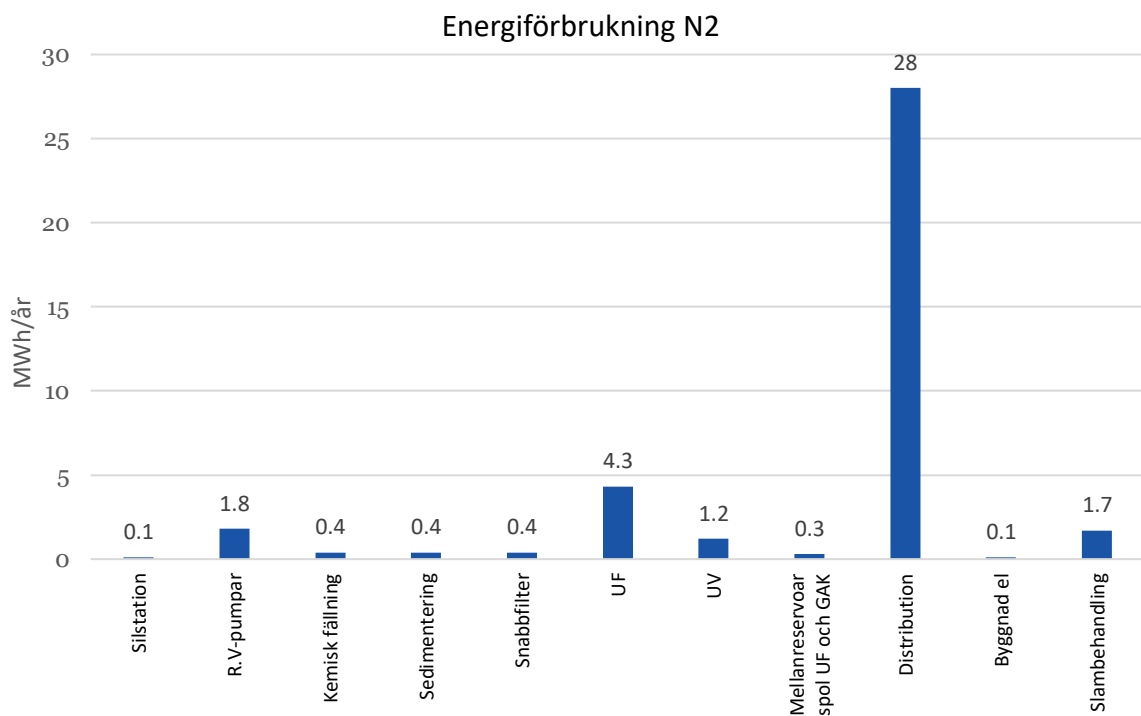
Ammoniumsulfat och polymer antogs transporteras med lätt lastbil med en totalvikt under 3,5 ton. Dessa har en bränsleförbrukning på 0,35 l/km [18]. Resterande transporter antogs ske med tung lastbil med släp. Dessa har en lastkapacitet på 42 ton och en bränsleförbrukning på 0,47 l/km [18]. Transport av slam antogs ske med tung lastbil med släp till Ragn-Sells.

Totalt antal km för transportsträckorna har beräknat utifrån tur- och returresor. Sträckorna har genererats från Google Maps som räknat ut den kortaste körsträckan oberoende trafiksituation.

4.2 Energi

Den totala energiförbrukningen per år för processlösning N2 uppgår till 37,1 MWh [29]. Sammanställning av energiförbrukning för de olika delprocesserna i N2 presenteras i figur 7 uttryckt i MWh/år.

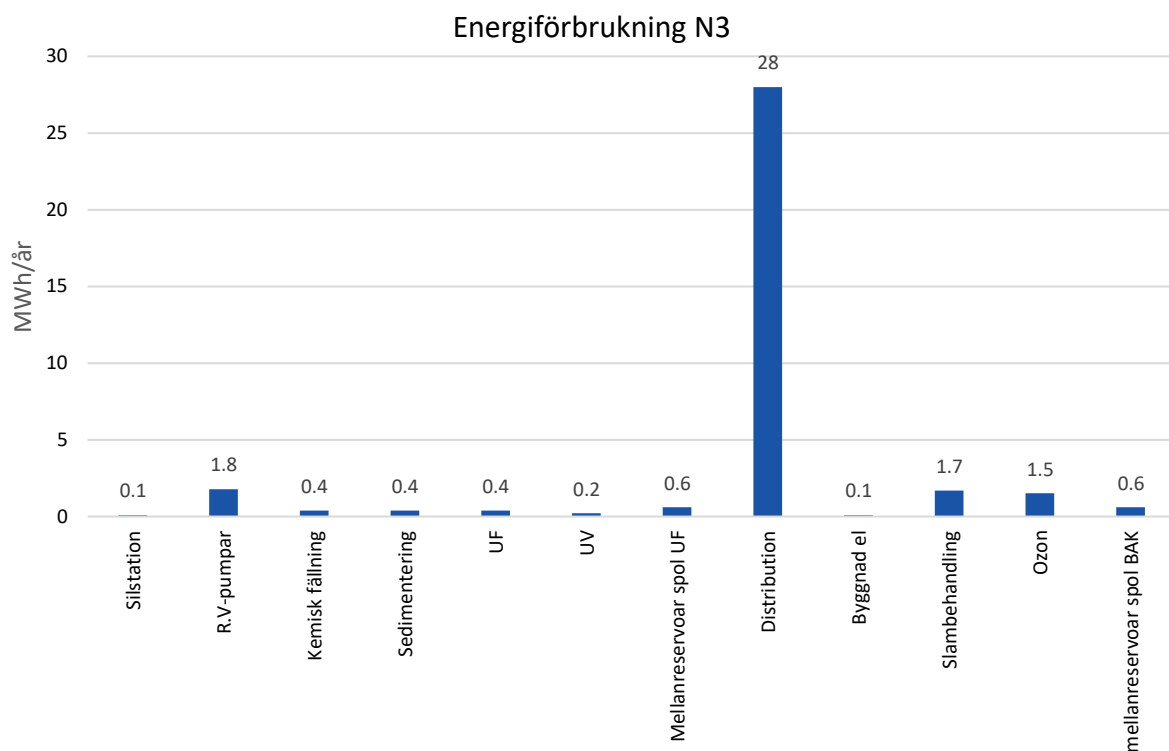
Den största delen av elektriciteten står distributionen för som förbrukar 75 % av den totala energiförbrukningen. Följt lång därefter är UF-filtren som förbrukar ca 12 %. Råvattenpumpar, slambehandlingen och UV-aggregaten förbrukar ungefär lika många MWh/år. Resterande delprocesser förbrukar relativt lite.



Figur 7. Sammanställning av energiförbrukningen för de olika delprocesserna i processlösning N2. Delprocesserna är uppstaplade på x-axeln och antal MWh/år är angivet på y-axeln.

Den totala energiförbrukningen per år för processlösning N3 uppgår till 35,2 MWh [29]. Sammanställning av energiförbrukning för de olika delprocesserna i N3 presenteras i figur 8 uttryckt i MWh/år.

Den största delen av elektriciteten står distributionen för som förbrukar ca 80% av den totala energiförbrukningen. Råvattenpumpar, slambehandlingen och ozon förbrukar ungefär lika många MWh/år. Resterande delprocesser förbrukar relativt lite.



Figur 8. Sammanställning av energiförbrukningen för de olika delprocesserna i processlösning 32. Delprocesserna är uppstaplade på x-axeln och antal MWh/år är angivet på y-axeln.

4.3 Kemikalier

I tabell 3 redovisas kemikalieförbrukning i processlösning N2 och N3 uttryckt i ton per år, både med ALG och PIX-111 som fällningskemikalie.

Tabell 3. Förbrukade kemikalier i processlösning N2 och N3 med FeCl₃ och ALG som fällningskemikalie. Mängden redovisas i ton per år.

Förbrukade kemikalier (ton)	N2		N3		Referens
	PIX-111	ALG	PIX-111	ALG	
Järnklorid	2100		1900		[3]
Aluminiumsulfat		2600		2400	[3]
Svavelsyra	2700		2500		[3]
Soda	8400	3100	8400	2900	[3]
Soda slutpolering pH	2000	1500	2000	1400	[3]
Vattenglas	215	215	203	203	[3]
Hypoklorit	140	140	140	140	[3]
Hypoklorit till UF-tvätt	100	100	100	100	[30]
Ammoniumsulfat	20	20	20	20	[3]
Polymer	15	11	15	11	Beräknat

Den större vattenförlusten i N2 bidrar med en högre kemikalieförbrukning än i N3, se kapitel 2.4. Om PIX-111 används som fällningskemikalie förbrukas totalt en större mängd kemikalier än om ALG används som fällningskemikalie.

Då PIX-111 används som fällningskemikalie är den kemikalie som används i störst mängd soda följt av svavelsyra. PIX-111 tillsätts i något mindre mängd än svavelsyran. I relation till de andra kemikalierna tillsätts dessa i mycket stor mängd. Soda är även den kemikalie som tillsätts i störst mängd vid fällning med ALG, men då följt av ALG. Övriga kemikalier förbrukas i relativt liten mängd.

4.3.1 Järnklorid PIX-111

Datan för produktion av järnklorid PIX-111 är baserad på data från två producenter i Schweiz samt data från litteratur. De två producenterna i Schweiz står för cirka 80% av produktionen i landet. Datan representerar produktionen av järn (III) klorid och hänvisar till en kommersiell vattenlösning med en koncentration på 40 vikt-% järn (III) klorid. Detta ger en järnkonzentration på 14 vikt-% i lösningen. [31]

4.3.2 Aluminiumsulfat ALG

Aluminiumsulfat produceras som ett pudret i sin vattenfria form. Granulationen av pudret har inte beaktats i den framtagna datan. Använd data är baserad på produktionen hos ett europeiskt företag. Bedömningen av datan har tidigare gjorts genom Giulini processen. [31]

4.3.3 Ammoniumsulfat

Data för produktion av ammoniumsulfat är baserad på medelvärden på emissioner från produktion i 15 länder i Europa. Värdena representerar produktionen av ammoniumsulfat med en kvävehalt på 21 %. [32]

4.3.4 Vattenglas

Data för produktionen av vattenglas representerar produktion av vattenglas genom smältning i ugn. Det finns olika metoder för att framställa vattenglas. Smältning i ugn är den vanligaste metoden för produktion i Europa och täcker ca 70–80 % av produktionen av vattenglas i Europa. [33]

Vid smältprocessen produceras fast vattenglas genom smältning av soda och sand. För att få flytande vattenglas tillsätts vatten. Molförhållandet $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$ för värden använda i denna studie är 3,5. [33]

4.3.5 Svavelsyra

Data för produktionen av svavelsyra är baserad på medelvärden från europeisk produktion och representerar emissioner från produktionen av svavelsyra [32].

4.3.6 Soda

Det finns olika metoder för att producera soda. Solvay-processen är den vanligaste metoden både i Europa och globalt [33].

Datan som används i denna studie för produktion av soda representerar produktionen av soda genom Solvay-processen med en sodahalt på 100 %. Datan är baserad på tillverkningsanläggningar i Tyskland och Finland [33].

4.3.7 Hypoklorit

Data för produktionen av hypoklorit representerar produktionen av hypoklorit från klorutsläpp fångat i en 50% natriumhydroxidlösning. Datan är baserad på litteratur och stökiometriska beräkningar gjorda av RISE på data från Europa. [31]

4.3.8 Polymer

Data på koldioxidekvivalenter som genereras vid produktion av polymer är baserad på Kemiras egen produktion av Superfloc C-492HMW och C-492PWG. Data på övriga utsläppsekvivalenter är baserad på generella värden för europeisk produktion av polyakrylamid.

5 Resultat

Nedan presenteras resultaten av de beräkningar som utförts i inventeringsanalysen och känslighetsanalysen som är väsentliga för studiens frågeställningar. För fullständig sammanställning av resultat se bilaga A och bilaga B. I bilaga E är data på utsläppsfaktorer och utsläppsekvivalenter sammanställda som använts för beräkningar av resultaten.

I tabell 4 är resultatet för de totala utsläppsparametrarna per funktionell enhet sammanställt. Färgmarkeringarna indikerar storlek på utsläpp från de olika parametrarna i relation till varandra.

Förhållandet mellan de olika potentialerna visades vara samma för N2 med ALG eller FeCl₃ som fällningskemikalie och för N3 med ALG eller FeCl₃ som fällningskemikalie. Produktionen av kemikalier uppvisade störst potential för samtliga studerade miljöpåverkanskategorier följt av transporter och energi.

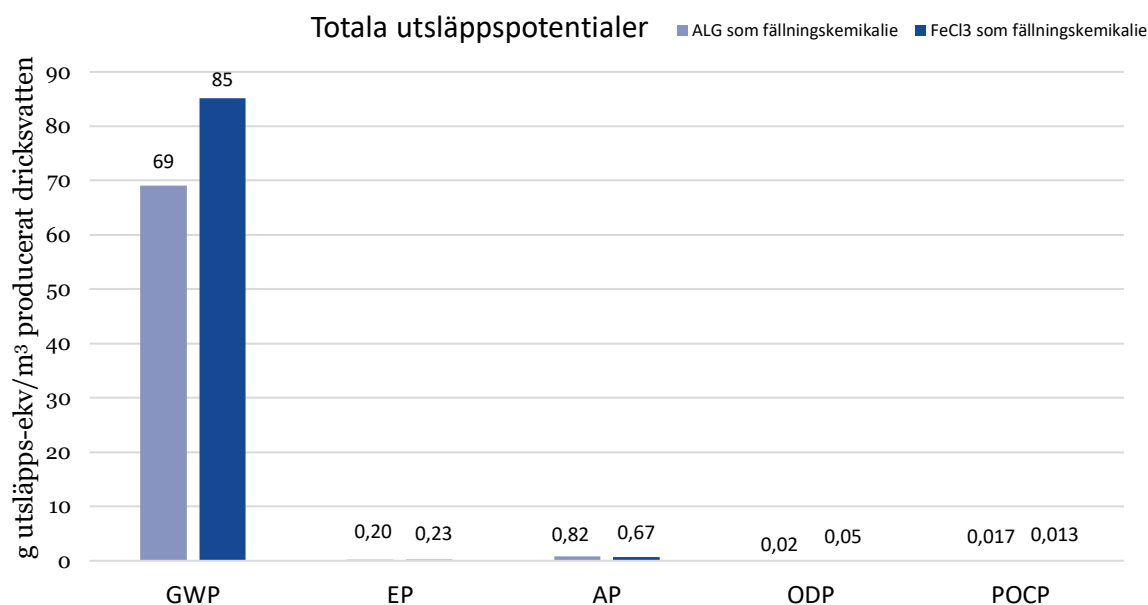
Tabell 4. Sammanställning över miljöpåverkanspotentialer från de olika parametrarna. De potentialer som är störst är markerade i mörkgrå. De potentialer som är näst störst är markerade i grå. De potentialer som är minst är markerade i ljusgrå. GWP avläses i CO₂-ekv. EP avläses i PO₄₋₃-ekv. AP avläses i SO₂-ekv. ODP avläses i R11-ekv. POCP avläses i C₂H₆-ekv.

Parameter	GWP	EP	AP	ODP	POCP
N2 ALG					
Transporter	3,50E-03	2,04E-05	2,56E-05	7,36E-07	1,54E-06
Energi	3,45E-06	2,81E-08	1,05E-08	5,94E-10	1,61E-10
Kemikalier	6,55E-02	1,96E-04	7,98E-04	2,00E-05	1,63E-05
N2 PIX-111					
Transporter	9,04E-03	2,77E-05	6,37E-05	1,82E-06	3,82E-06
Energi	3,45E-06	2,81E-08	1,05E-08	5,94E-10	1,61E-10
Kemikalier	7,61E-02	2,12E-04	6,44E-04	4,50E-05	9,52E-06
N3 ALG					
Transporter	3,27E-03	1,04E-05	2,39E-05	6,86E-07	1,44E-06
Energi	3,28E-06	2,66E-08	9,98E-09	5,63E-10	1,61E-10
Kemikalier	6,18E-02	1,84E-04	7,50E-04	1,87E-05	1,54E-05
N3 PIX-111					
Transporter	3,50E-03	2,69E-05	6,18E-05	1,77E-06	3,72E-06
Energi	3,28E-06	2,66E-08	9,98E-09	5,63E-10	1,61E-10
Kemikalier	7,32E-02	2,00E-04	6,07E-04	4,51E-05	8,87E-06

5.1 Resultat processlösning N2

Den totala utsläppspotentialen för respektive miljöpåverkanskategori redovisas i figur 9, både när ALG används som fällningskemikalie och då FeCl₃ används som fällningskemikalie. Resultatet redovisas i gram utsläppsekvivalenter per funktionell enhet.

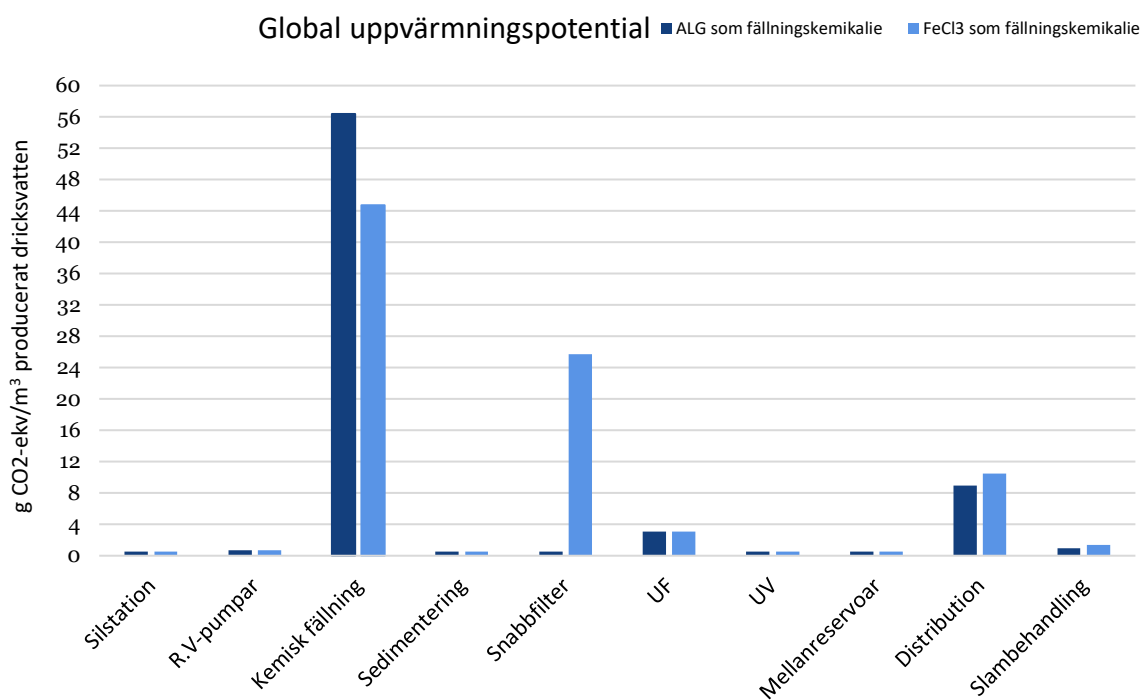
Global uppvärmningspotential är överrepresenterad. Försurningspotentialen är högre än resterande. Potentialen för marknära ozon och ozonuttuning är mycket liten relativt övriga miljöpåverkanspotentialer.



Figur 9. De totala utsläppspotentialerna redovisas i gram utsläppsekvivalenter per m³ producerat dricksvatten. GWP avläses i CO₂-ekv. EP avläses i PO₄₋₃-ekv. AP avläses i SO₂-ekv. ODP avläses i R11-ekv. POCP avläses i C₂H₆-ekv.

5.1.1 Global uppvärmning

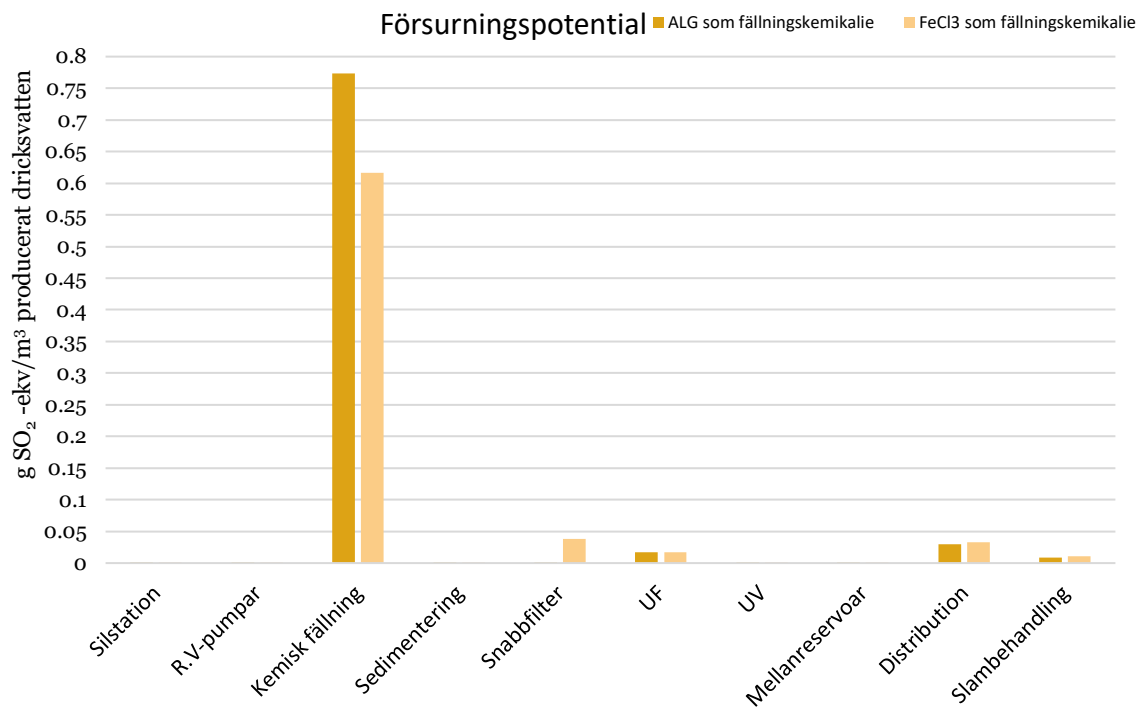
I figur 10 redovisas resultatet för global uppvärmningspotential. Det delsteg som uppvisade högst potential var kemisk fällning. Vid fällning med ALG var distributionen det näst störst bidragande delsteget följt av UF och slambehandling. När FeCl₃ används som fällningskemikalie beräknades snabbfilter till det näst största bidragande delsteget följt av distribution, UF och slambehandling.



Figur 10. Den globala uppvärmningspotentialen för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram koldioxidekvivalenter per funktionell enhet.

5.1.2 Försurning

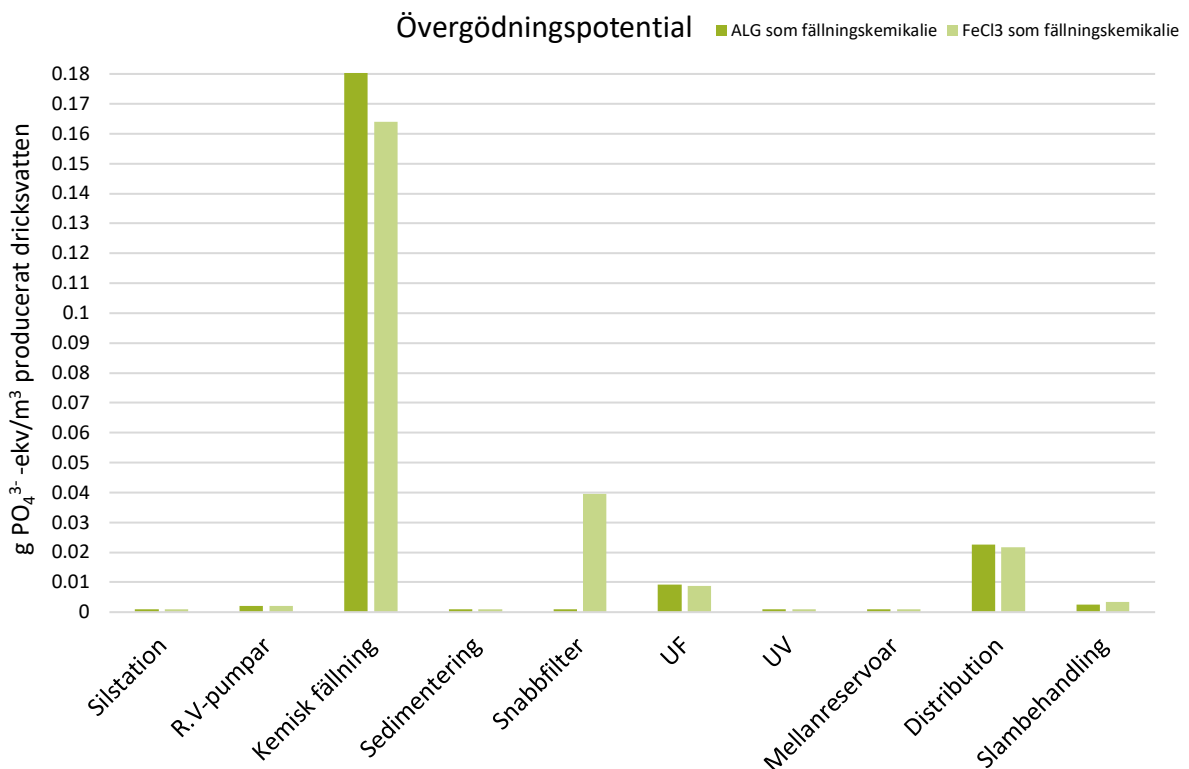
I figur 11 redovisas resultatet för försurningspotential. Kemisk fällning uppvisade den största försurningspotentialen. Vid fällning av ALG eller FeCl₃ bidrog UF, distribution och slambehandling mycket lite till försurande utsläpp relativt den kemiska fällningen och något högre relativt övriga delsteg. När FeCl₃ används uppvisade dock snabbfilter näst störst försurningspotential.



Figur 11. Potentiellt försurande utsläpp för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram svaveldioxidekvivalenter per funktionell enhet.

5.1.3 Övergödning

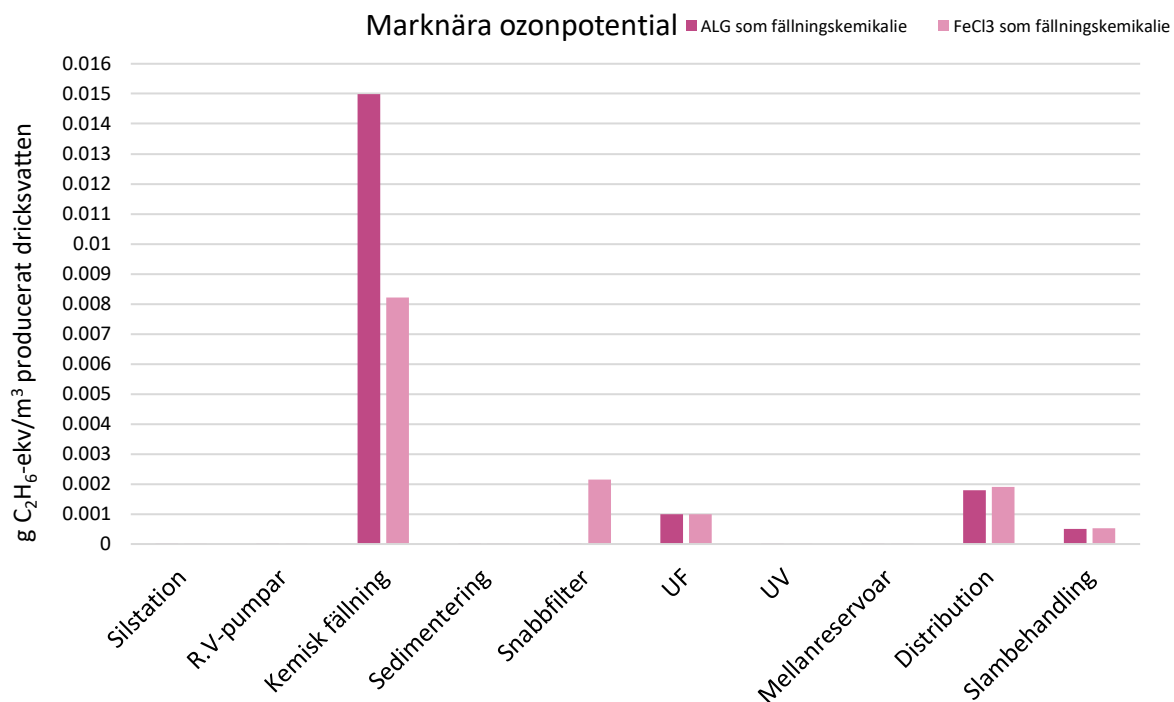
Resultatet för övergödningspotentialen redovisas i figur 12. Kemisk fällning uppvisade överlägset högst bidrag till övergödningspotentialen. När FeCl₃ används beräknades snabbfilter till det näst största bidragande delsteget följt av distribution och UF. Vid fällning med ALG var distributionen det näst störst bidragande delsteget följt av UF.



Figur 12. Potentiella utsläpp till övergödning för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram fosfatekvivalenter per funktionell enhet.

5.1.4 Marknära ozon

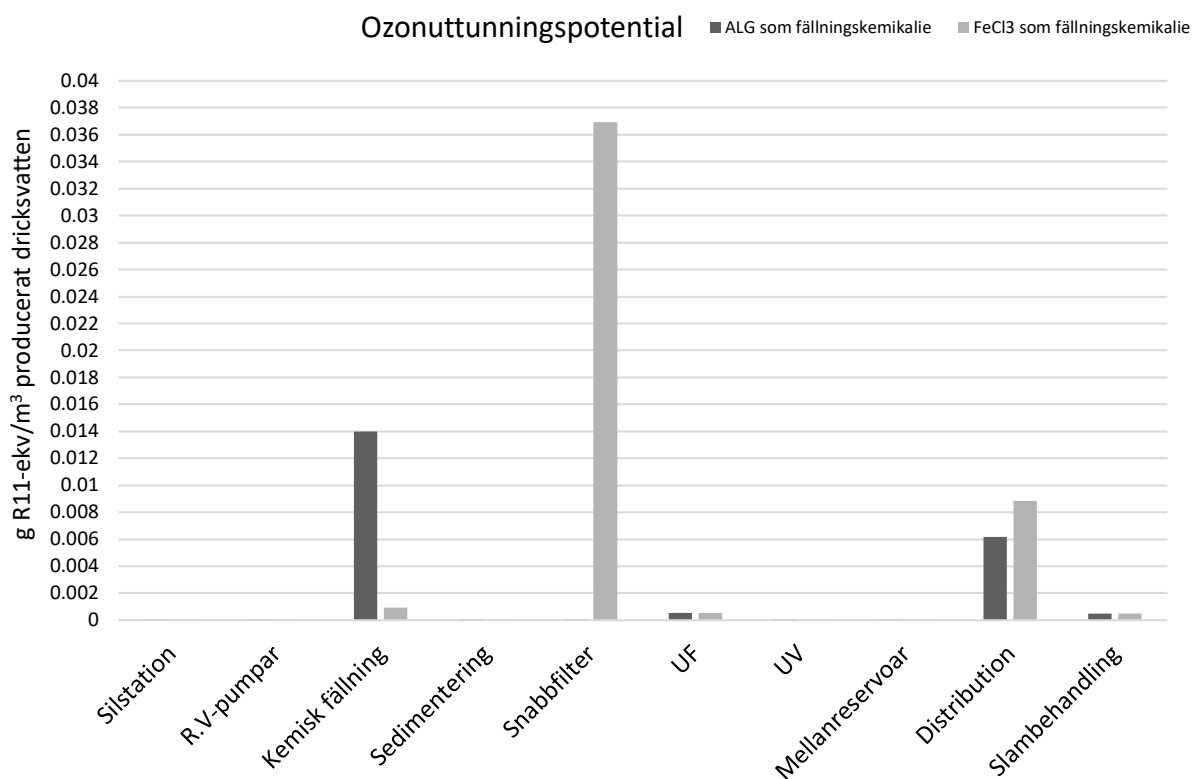
I figur 13 redovisas resultatet för marknära ozonpotential. Kemisk fällning uppvisade den största potentialen för marknära ozon. När FeCl₃ tillsätts beräknades snabbfilter till det näst största bidragande delsteget följt av distribution, UF och slambehandling. Vid fällning med ALG var distributionen det näst störst bidragande delsteget följt av UF och slambehandling.



Figur 13. Potentiella utsläpp till marknära ozonpotential för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram etenekvivalenter per funktionell enhet.

5.1.5 Ozonuttunning

I figur 14 redovisas resultatet för ozonuttunningspotential. Vid fällning med FeCl₃ som uppvisade snabbfilter störst potential. Vid fällning med ALG uppvisade kemisk fällning den största potentialen. Näst största bidragande delsteg till ozonuttunning var distribution oavsett vilken fällningskemikalie som tillsätts. Potentialen var mycket liten för övriga delsteg.

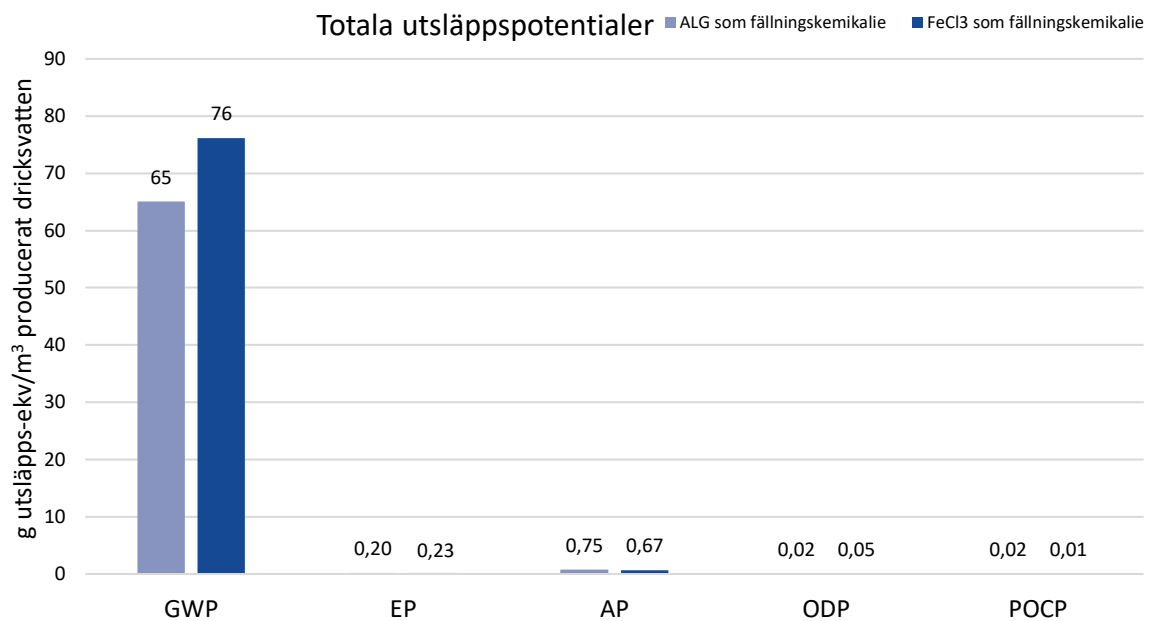


Figur 14. Potentiella utsläpp till ozonuttunning för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram R11-ekvivalenter per funktionell enhet.

5.2 Resultat processlösning N3

Den totala utsläppspotentialen för respektive miljöpåverkanskategori redovisas i figur 15, både då ALG används som fällningskemikalie och då FeCl₃ används som fällningskemikalie. Resultatet redovisas i gram utsläppsekvivalenter per funktionell enhet.

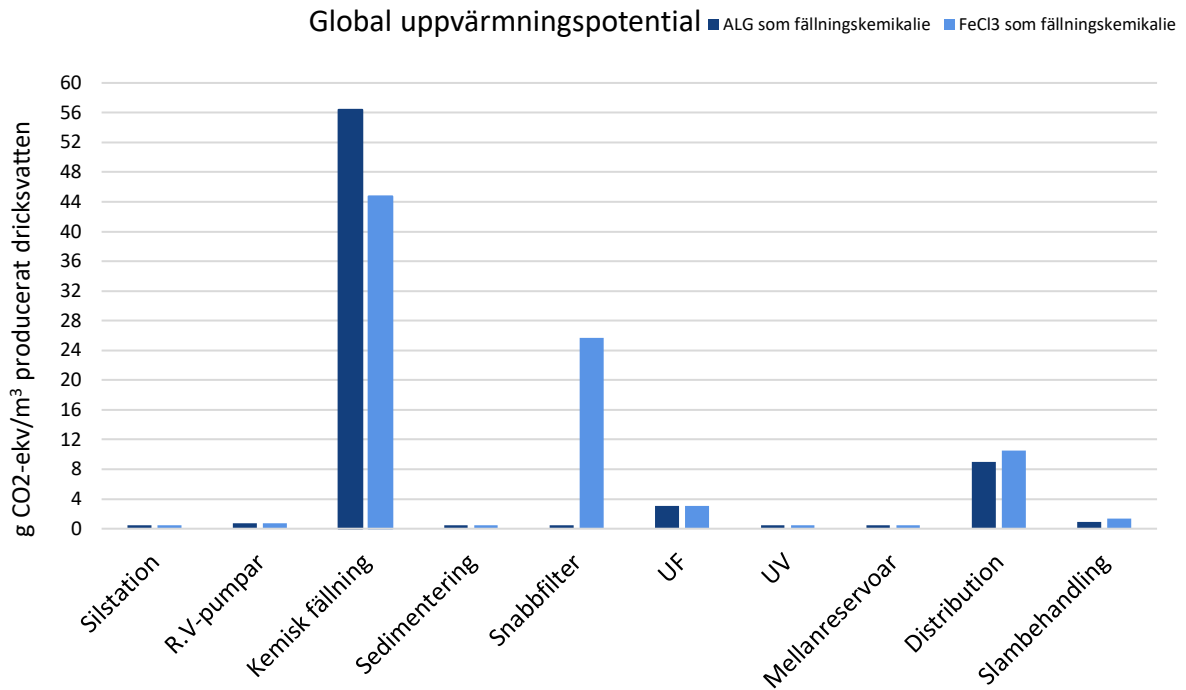
Utsläpp som bidrar till global uppvärmingspotential är överrepresenterade. Utsläpp relaterade till försurning är större än resterande miljöpåverkanspotentialer. Potentialen för marknära ozon och ozonuttunning är mycket liten relativt övriga miljöpåverkanspotentialer.



Figur 15. De totala utsläppspotentialerna redovisas i gram utsläppsekvivalenter per m³ producerat dricksvatten. GWP avläses i CO₂-ekv. EP avläses i PO₄₋₃-ekv. AP avläses i SO₂-ekv. ODP avläses i R11-ekv. POCP avläses i C₂H₆-ekv.

5.2.1 Global uppvärmning

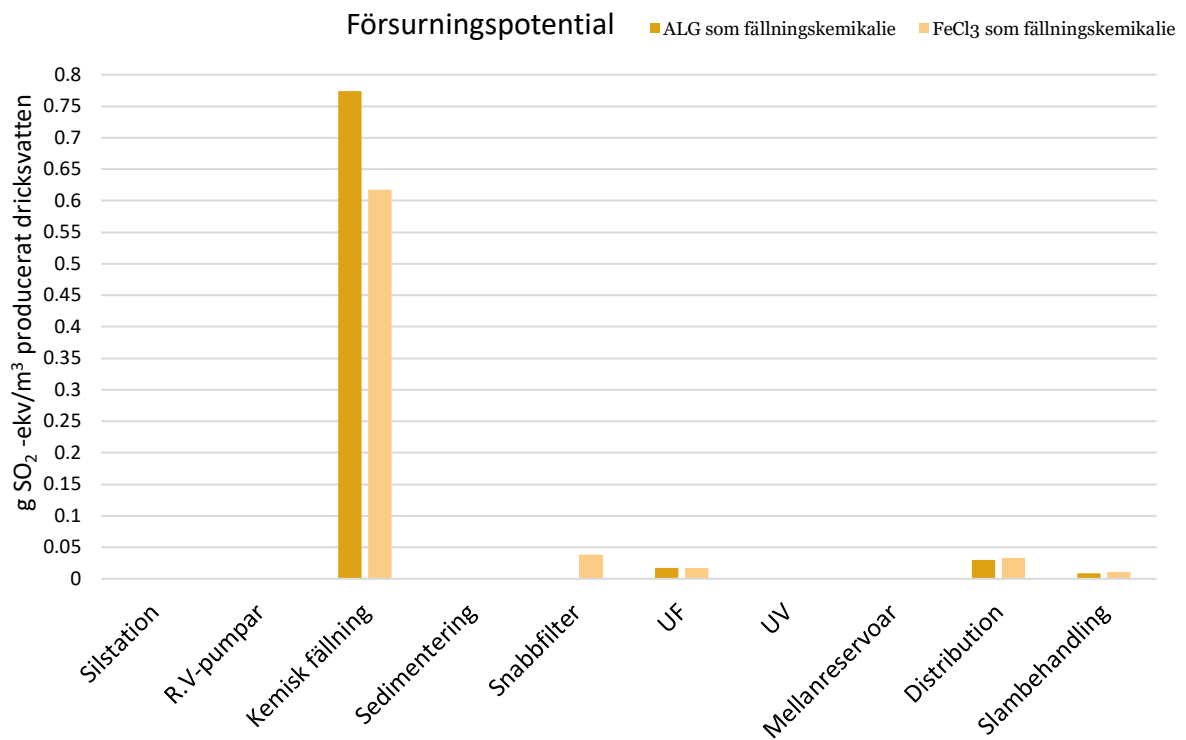
I figur 16 redovisas resultatet för global uppvärmningspotential. Det delsteg som uppvisade störst potential för global uppvärmning var kemisk fällning följt av distribution och UF. Vid fällning med ALG var distributionen det näst störst bidragande delsteget följt av UF och slambehandling. När FeCl₃ används som fällningskemikalie beräknades UF till det näst största bidragande delsteget följt av distribution och slambehandling.



Figur 16. Den globala uppvärmingspotentialen för delsteg i processlösning N3 uttryckt i gram koldioxidekvivalenter per funktionell enhet.

5.2.2 Försurning

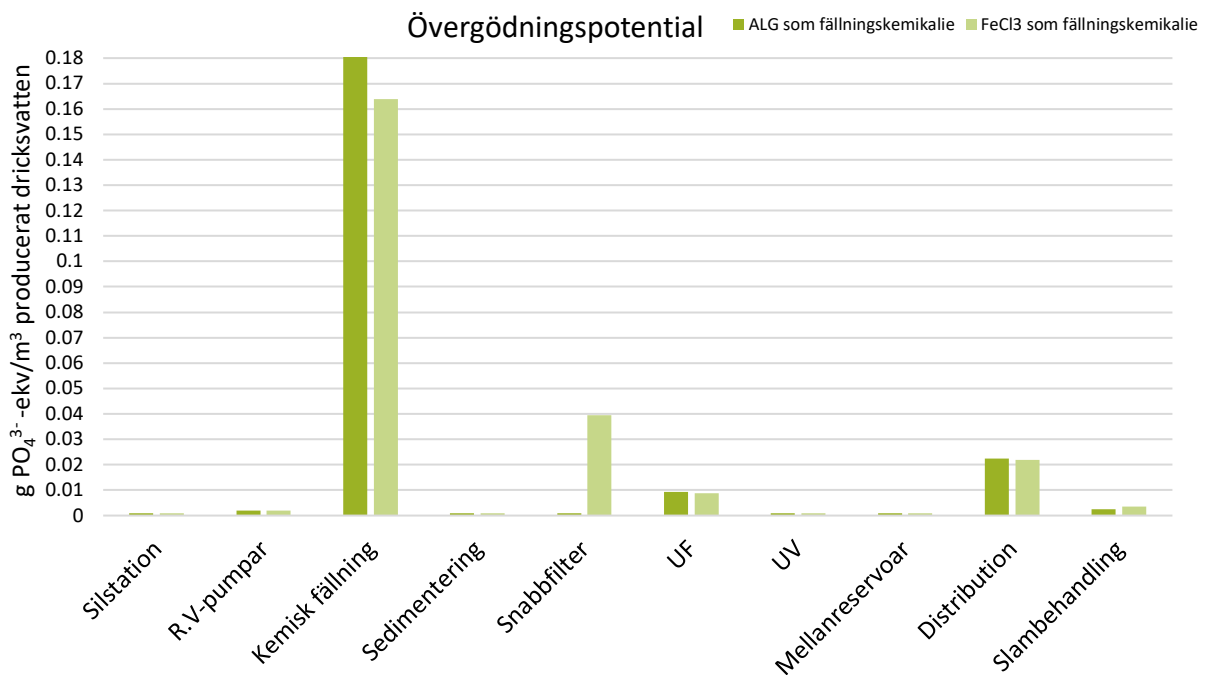
I figur 17 redovisas resultatet för försurningspotential. Kemiska fällningen uppvisade den största potentialen för försurande utsläpp. Då ALG används som fällningskemikalie var distributionen det näst största bidragande delsteget följt av UF och slambehandling. Då FeCl₃ används som fällningskemikalie var potentialen för UF näst störst följt av distribution och slambehandling.



Figur 17. Potentiellt försurande utsläpp för delsteg i processlösning N3 uttryckt i gram svaveldioxidekvivalenter per funktionell enhet.

5.2.3 Övergödning

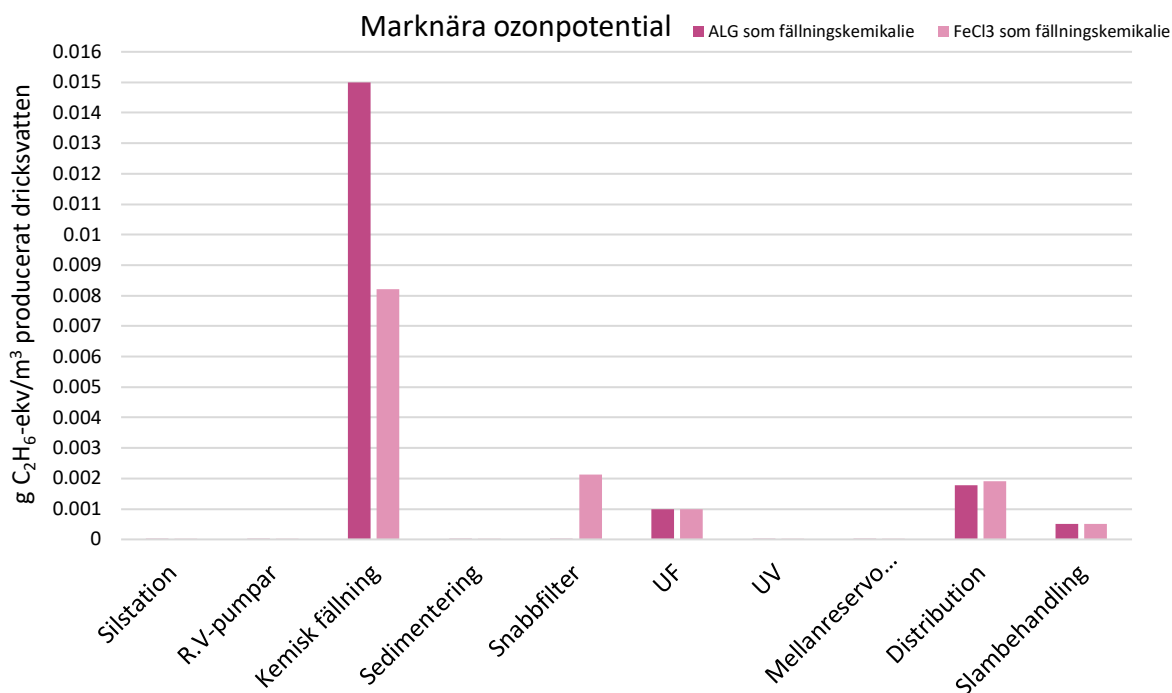
I figur 18 redovisas resultatet för övergödningspotentialen. Kemisk fällning uppvisade störst övergödningspotential. När FeCl₃ används som fällningskemikalie beräknades UF till det näst största bidragande delsteget följt av distribution. Vid fällning med ALG var distributionen det näst största bidragande delsteget följt av UF och slambehandlingen.



Figur 18. Potentiella utsläpp till övergödning för delsteg i processlösning N3 uttryckt i gram fosfatekvivalenter per funktionell enhet.

5.2.4 Marknära ozon

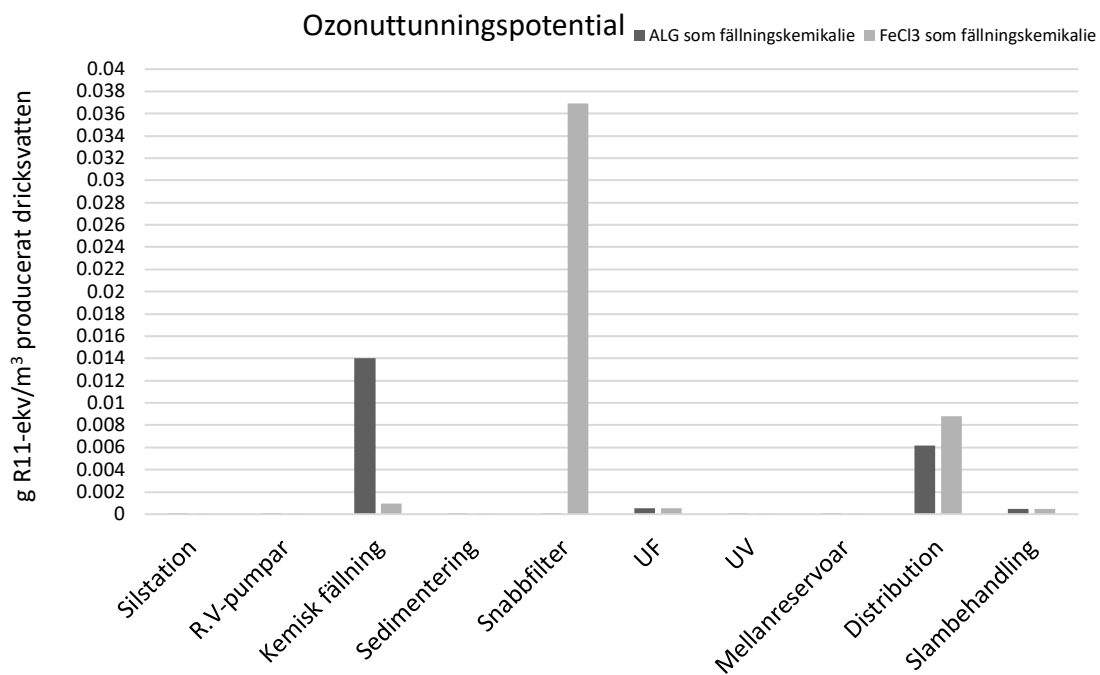
I figur 19 redovisas resultatet för marknära ozonpotential. Kemisk fällning uppvisade den största potentialen för marknära ozon. När FeCl₃ tillsätts beräknades UF till det näst största bidragande delsteget följt av distribution och slambehandling. Vid fällning med ALG var distributionen det näst största bidragande delsteget följt av UF och slambehandlingen.



Figur 19. Potentiella utsläpp till marknära ozon för delsteg i processlösning N2 uttryckt i gram etenekvivalenter per funktionell enhet.

5.2.5 Ozonuttunning

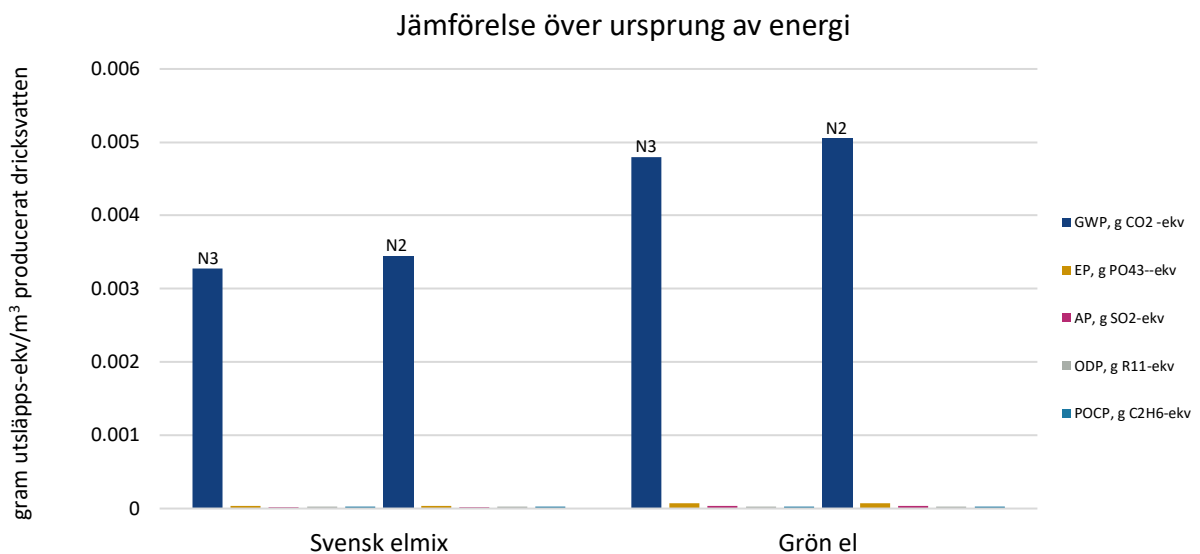
I figur 20 redovisas resultatet för ozonuttunningspotential. Vid förbrukning av FeCl₃ som fällningskemikalie uppvisade UF störst potential. Vid förbrukning av ALG som fällningskemikalie uppvisade kemisk fällning den största potentialen. Näst största bidragande delsteg till ozonuttunning var distributionen oavsett vilken fällningskemikalie som tillsätts. Potentialen var mycket liten för övriga delsteg.



Figur 20. Potentiella utsläpp till ozonuttunning för delsteg i processlösning N3 uttryckt i gram R11-ekvivalenter per funktionell enhet.

5.3 Känslighetsanalys

Resultat av jämförelsen mellan svensk elmix och grön el enligt vattenfall redovisas i figur 21. Emissioner som bidrar till global uppvärmning, övergödning och försurning var större vid förbrukning av grön el än av svensk elmix. Resultatet visade en liten skillnad på emissioner som bidrar till ozonuttunning och marknära ozon.



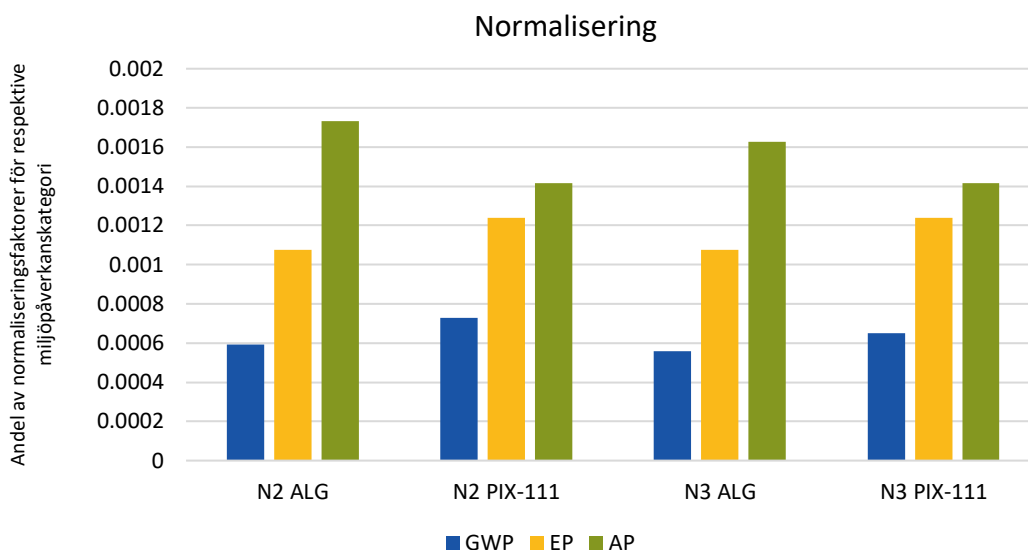
Figur 21. Resultat från känslighetsanalysen där miljöpåverkanspotentialer jämfördes mellan svensk elmix och grön el.

5.4 Normalisering

Resultaten som redovisats tidigare i figur 9 och i figur 15 visade att potentialerna för global uppvärmning, övergödning och försurning var större jämfört med potentialen för marknära ozon och ozonuttunning. Normaliseringen utfördes därför på global uppvärmning, övergödning och försurning. Dessa tre är även de tre vanligaste miljöpåverkanskategorierna att studera [15].

I figur 22 redovisas resultaten från normaliseringen. Staplarna representerar hur stor andel som de beräknade miljöpåverkanspotentialerna uppgår till av de acceptabla belastningsekvivalenterna, de så kallade normaliseringsfaktorerna. Normaliseringsfaktorn för global uppvärmning är 7667 kg CO₂ ekv/år, person, för försurning 31,1 kg SO₂ ekv/år, person och för övergödning 12,2 kg PO₄₃-år, person [10].

Resultatet från normaliseringen visade att andelen utsläppspotential för försurning var störst följt av övergödning och sist global uppvärmning av de acceptabla belastningsekvivalenterna.



Figur 22. Normalisering av miljöpåverkanspotentialer. Staplarna representerar hur stor andel som de beräknade miljöpåverkanspotentialerna uppgår till av de acceptabla belastningsekvivalenterna, de så kallade normaliseringsfaktorerna.

6 Diskussion

I följande underkapitel diskuteras begränsningar med LCA som metod, resultat från beräkningar på miljöpåverkan, datakvalitet och antaganden som kan ha bidragit med osäkerhet och felkällor samt resultat från känslighetsanalysen.

6.1 LCA som metod

LCA som metod inrymmer vissa begränsningar som kan ses som brister och bör tas i beaktande vid utvärdering av resultat.

LCA utvärderar endast omfånget på emissionerna och det potentiella miljöhotet. Miljökonsekvenser som miljöeffekter kan ge upphov till utvärderas inte. En konsekvens är att LCA ger en förenklad bild av miljöpåverkan från det studerade systemet.

I en LCA där miljöpåverkan studeras är det mycket svårt att kvantifiera mänskligt välbefinnande och hälsa. Att utföra en social livscykelanalys skulle kunna komplettera livscykelanalysen där miljöpåverkan studeras för att omfamna dessa aspekter.

För att använda resultatet från av LCA-studie på ett rättvist sätt är det viktigt att ta hänsyn till effekter av variationer och osäkerheter i beräkningarna. Detta är särskilt viktigt vid eventuella framtida försök till att jämföra olika studier för att finna lösningar. Det finns annars en risk att en lösning framstår som bättre än vad den egentligen är.

I en LCA kan olika metoder användas för att beräkna utsläppsfaktorer och miljöpåverkanspotential. Beroende på val av metod kategoriseras utsläpp till olika miljöpåverkanskategorier, vilket påverkar storleken på den totala utsläppspotentialen för respektive kategori. Den totala utsläppspotentialen får också olika utslag beroende på val av antalet utsläpp som studeras. Även val av kategoriseringsfaktorer påverkar resultaten.

Andra begränsningar med LCA är att metoden inte tar någon hänsyn till användarvänligheten eller nyttjande av icke förnybara resurser. Dessa faktorer kan vara avgörande gällande beslutfattande och arbete med hållbar utveckling.

6.2 Resultat av miljöpåverkan

De delsteg som uppvisade störst miljöpåverkanspotentialer i båda processlösningarna är de delsteg där kemikalier tillsätts. Detta beror på att produktion av kemikalier uppvisade störst potential för samtliga miljöpåverkanskategorier. Utsläpp från produktion av kemikalier var även den största utsläppsposten i flertal tidigare studier, se litteraturstudie i kapitel 2.2.

I både N2 och N3 uppvisade delsteget kemisk fällning störst potential för samtliga miljöpåverkanskategorier förutom för ozonuttunning. I fallet då järnklorid PIX-111 tillsätts i N2 visade snabbfiltren störst potential för ozonuttunning. I fallet då PIX-111 tillsätts i N3 visade istället UF störst potential för ozonuttunning. Anledningen till denna olikhet är skillnad på var i processlösningarna störst mängd soda tillsätts.

Emissioner som bidrar till ozonuttunning visade sig vara störst vid produktion av soda och relativt små vid produktion av övriga kemikalier. Följaktligen kommer det delsteg som uppvisar störst potential för ozonuttunning vara det steg där störst mängd soda tillsätts. Potentialen för ozonuttunning var dock mycket liten relativt övriga miljöpåverkanskategorier.

Även emissioner som bidrar till övriga miljöpåverkanpotentialer var relativt stora vid produktion av soda, vilket har påverkat vilket delsteg som uppvisade näst störst potential.

Då PIX-111 tillsätts i N2 uppvisade snabbfilter näst störst potential för majoriteten av de studerade miljöpåverkanskategorierna. I N3 uppvisade istället UF näst störst potential. Detta beror på att soda doseras i inloppskanalen till snabbfiltren i N2 och i inloppskanalen till UF-filtren i N3.

Då ALG tillsätts i N2 och N3 visade distributionen näst störst potential av samtliga miljöpåverkanskategorier följt av UF och slambehandlingen. Denna ordning hänger ihop med mängd förbrukade kemikalier i respektive delsteg.

Vid distributionen tillsätts majoriteten av kemikalierna som inte tillsattes i den kemiska fällningen. Till UF tillsätts hypoklorit för tvätt. Denna mängd är mindre än den som förbrukas

vid distributionen. I slambehandlingen tillsätts en mindre mängd polymer relativt övriga tillsatser av kemikalier i övriga delsteg. Emissioner från produktion av ett ton polymer är dock relativt stora jämfört med emissioner från produktionen av ett ton av majoriteten av kemikalierna.

Transporter uppvisade näst störst potential för samtliga studerade miljöpåverkanskategorier. Emissioner från transporter var större för N2 än för N3 vid jämförelse av samma fällningskemikalie. I N2 förbrukas en större mängd kemikalier än i N3, således är transportbehovet för kemikalier större för N2 än för N3.

Emissionerna från transporter var större vid fällning med PIX-111 än vid fällning med ALG. Detta är en följd av att fällning med PIX-111 ger upphov till en betydligt högre förbrukning av kemikalier jämfört med ALG i båda processlösningarna, vilket är relaterat till ett ökat transportbehov. Totalt antal transporter per år är väsentligt högre vid fällning med PIX-111 jämfört med ALG, vilket till störst del beror på den högre kemikalieförbrukning men delvis också på att slamproduktionen är högre då PIX-111 används.

Utsläpp från produktion av ALG var större än utsläpp från produktion av PIX-111. Det förklarar varför miljöpåverkanspotentialerna vid fällning med ALG var större än vid fällning med PIX-111 trots den betydligt högre kemikalieförbrukningen vid fällning med PIX-111.

Energiförbrukningen var den minst påverkande parametern vilket är rimligt då elmixen som antagits består till störst del av el genererad från kärnkraft.

Vattenfalls utsläppsfaktorer innefattar hela elproduktionens livscykel. De totala utsläppen för kärnkraft är lägre än för vattenkraft och vindkraft. Ett skäl är att vattenkraft har en stor skadlig miljöpåverkan på naturen då hela landskap förändras och onormala vattennivåer förändrar ekosystemet, vilket bland annat förstör fiskarters vandringar. För att bygga vindkraftverk måste också landskap förändras, fler vägar byggas och därtill är materialåtgången för att bygga vindkraftsparker stor. Ett vindkraftverks livstid är dessutom endast 20 år vilken innebär att utsläpp relaterade till skrotning är stora.

En konflikt uppstår då förnybara källor kan anses vara bättre för miljön och befolkning då dessa källor förnyas i snabb takt och är oändliga, samtidigt som förnybara källor har större utsläppsfaktorer än kärnkraft. Kärnkraft har istället lägre utsläppsfaktorer medan nyttjande av kärnkraft kan anses strida mot många delar i ett hållbarhetsarbete.

De delsteg som förbrukar störst mängd energi av den totala energiförbrukningen var överlag inte de delsteg som visade störst miljöpåverkanspotential. Distributionen var dock ett av de mest miljöbelastande stegen, vilket kan förklaras med att distributionen förbrukar majoriteten

av den totala energiförbrukningen och att en större mängd kemikalier tillsatt vid distributionen.

Jämfört med ett flertal tidigare studier var utsläppen från energiförbrukningen högre än vad resultaten visar i denna studie. Det kan dels bero på att den elektricitet som används i andra länder i Europa kan ha en högre utsläppsfaktor än svensk elmix. Skillnader i reningsprocessen påverkar också de totala emissioner från energiförbrukningen då metoderna för vattenrening kan skilja sig åt.

Koldioxidutsläppen var överrepresenterade i resultaten för denna studie och var också det största utsläppet i ett par tidigare studier där fler miljöpåverkanskategorier studerats. Resultat från normaliseringen visade dock att utsläppspotentialerna för försurning var störst, följt av övergödning och sist global uppvärmning relativt de acceptabla belastningsekvivalenterna. Andelen för vardera miljöpåverkanskategori var ändå väldigt låga i relation till de acceptabla belastningsekvivalenterna.

6.3 Datakvalitet och antaganden

Antaganden gjorda gällande transporter kan ha givit en del osäkerhet. Transporter har antagits ske med fulla lastbilar och transportsträckor har beräknats som tur-och returesor. Det är rimligt att en del transporter istället kommer att ske med samleverans och att retursträckan inte bör räknas med.

Då distributörer av kemikalier har antagits finns ingen verklig transportsträcka. De antagna distributörerna producerar inte heller själva samtliga kemikalier i tillverkningsprocessen, utan köper i sin tur in kemikalier. Den verkliga transportsträckan är därmed rimlig att anta vara längre och att andra transportmedel än lastbil används.

Vid produktion av samtliga kemikalier har europeiska medelvärden använts, vilket kan antas ha en betydlig inverkan på resultaten. Enligt känslighetsanalysen utförd i livscykelanalysen på Görvålverket 2015 ger elektricitet som används vid produktionen av kemikalierna i Europa upphov till större emissioner än i Sverige och Norden. Även resultat från tidigare studier visade att energiursprung har ett stort inflytande på resultatet för energiförbrukningen.

Förbrukad mängd polymer har beräknats utifrån värden på Görvålverkets produktion av slam år 2018 och tillsats av polymer år 2019. Mängd tillsatt polymer och producerad mängd slam varierar för varje år. Följaktligen kan resultatet från beräkningar gjorda anses inrymma stor osäkerhet. Den faktiska mängden tillsatt polymer uppskattas dock vara liten relativt övriga kemikalier. I och med det bedöms ändå beräknade värden vara tillräckligt tillförlitliga och studiens totala resultat kan därför antas påverkas lite av detta.

7 Förslag på fortsatt arbete

Nedan listas rekommendationer till vidare arbete.

- Vidare analys där fler delar i arbete med hållbar utveckling vägs in. En social livscykelanalys skulle kunna genomföras för att komplettera denna studie.
- För att minska miljöpåverkan bör möjligheten att köpa in kemikalier som är producerade i Sverige eller norden utredas.
- Genomföra studier på fällningskemikalie i syfte att bedöma om en minskad miljöpåverkan från produktion av kemikalier skulle ge någon miljövinst.
- Utföra en så fullständig LCA som möjligt på dricksvattenproduktionen för att eventuellt göra en förbättringsanalys av processlösningar.
- Det hade varit intressant att undersöka vad skillnad i alternativ till processval för delstegen gör i termer av miljöpåverkan.

8 Slutsats

Global uppvärmning var den miljöeffekt som visade störst miljöpåverkanspotential vid drift av en framtida anläggning. Försurning visade näst störst miljöpåverkanspotential följt av övergödning. Miljöpåverkanspotentialen för marknära ozon och ozonuttunning var mycket liten i förhållande till de tre förstnämnda. I förhållande till totala utsläpp som bidrar till respektive miljöeffekt var därmed global uppvärmning av störst betydelse.

Resultatet från normaliseringen visade att andelen utsläppspotential för försurning var störst följt av övergödning och sist global uppvärmning av de acceptabla belastningsekvivalenterna i Sverige. I förhållande till de acceptabla belastningsekvivalenterna var därmed försurning den mest betydande miljöeffekten följt av övergödning och sist global uppvärmning.

Den parameter som bidrog till störst miljöpåverkan var produktion av kemikalier som uppvisade störst miljöpåverkanspotential för samtliga miljöpåverkanskategorier följt av transporter. Energiförbrukningen visade minst miljöpåverkanspotential.

Vid fällning med aluminiumsulfat eller järnklorid var delsteget kemisk fällning särskilt miljöbelastande i båda processlösningarna. Den kemiska fällningen uppvisade överlägset störst miljöpåverkanspotential.

Då järnklorid tillsätts i N2 var miljöbelastningen från delsteget snabbfilter näst störst följt av distributionen, UF och slambehandlingen. I N3 uppvisade istället UF näst störst miljöbelastning följt av distributionen och slambehandlingen.

Då ALG tillsätts i N2 och N3 var miljöbelastningen från distributionen näst störst följt av UF och slambehandlingen.

9 Referenser

- [1] SMHI. 2018. Sveriges stora sjöar idag och i framtiden. Klimatets påverkan på Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren. Kunskapssammanställning februari 2018. [Internet]. SMHI; 2018. KLIMATOLOGI Nr 49, 2018. [citerad april 2020]. Hämtad från: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.130362!/klimatologi_49.pdf
- [2] Norrvatten. Årsredovisning 2018 [Internet]. Norrvatten; 2018. [citerad april 2020]. Hämtad från: https://www.norrvatten.se/globalassets/global/ekonomi/norrvatten_arsredovisning_2018_webb_tillg.pdf
- [3] Ramböll. Norrvattens framtida vattenproduktion – Förstudie 1 Nytt vattenverk. Uppsala: Ramböll; 2019.
- [4] Norrvatten. Norrvattens miljöarbete [Internet]. Stockholm. Norrvatten. [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Vattnet-och-var-miljo/>
- [5] Norrvatten. Miljöpolicy [Internet]. Stockholm. Norrvatten. [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Vattnet-och-var-miljo/Miljopolicy/>
- [6] Tillman, A., Lundström, H., Svingby, M. Livscykelanalys av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för teknisk miljöplanering; 1996.
- [7] Wallén, E. Livscykelanalys av dricksvatten – en studie om ett vattenverk i Göteborg [examensarbete på internet]. Göteborg: Chalmers universitet; 1999 [citerad april 2010]. Hämtad från: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/43404/2/43404.pdf>
- [8] Racoviceanu, A., Karney, B. W., Kennedy, C. A., Colombo, A. F. Journal of Infrastructure Systems. Uppl 13:4. Elsevier; 2007. pp 261–270, Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment.
- [15] Baumann, H., Tillman, A. The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Uppl 1:10. Lund: Studentlitteratur AB; 2004.
- [9] Barrios, R., Siebel, M., Bosklopper, K., Van der Helm, A., Gijzen, H. Journal of Cleaner Production. Uppl 16:4. Elsevier; 2008. pp 471–476. Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet.
- [10] Sörelius Kiessling, H. "Rätt avlopp på rätt plats" - Livscykelanalys av tre enskilda avloppsanläggningar [examensarbete på internet]. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet;

2013 [citerad april 2020]. Hämtad från: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Helene_S%C3%B6relius_Kiessling.pdf

[11] Jutterström, S. Klimatpåverkan från dricksvatten – Beräkningsmodell för Norrvattens koldioxidavtryck [examensarbete på internet]. Stockholm: KTH; 2015 [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:844852/FULLTEXT01.pdf>

[12] Norrvatten. Reningsprocessen [Internet]. Stockholm. [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Produktion-av-vatten/Reningsprocessen/>

[13] Hugg F. Torkning av slam från dricksvattenproduktion. Norrvatten; 2020.

[14] Burkrans, F., Bergström, C., Lundqvist, L., Nordin, A. Torkning av slam från dricksvattenproduktion. Stockholm: KTH; 2020

[15] Baumann, H., Tillman, A. The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Upplaga 1:10. Lund: Student litteratur AB; 2004.

[16] Berglund, M. LCA av innovativa matsvinnsentreprenörer- En studie ur ett socialt- och miljöperspektiv [examensarbete på internet]. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet; 2017 [citerad april 2020]. Hämtad från: https://stud.epsilon.slu.se/10359/1/berglund_m_170629.pdf

[17] ISO. ISO 14040:2006 (en) Environmental management -Life cycle assessment -Principles and framework. ISO; 2006 [citerad april 2019]. Hämtad från: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>

[18] Recchia, L., Boncinelli, Cini, E., Vieri, M., Pegna Garbati, F. Multicriteria Analysis and LCA Techniques. Uppl 2011 ed. Springer London Ltd; 2011.

[19] Norrvatten. Strategisk plan. Norrvatten 2026. Stockholm. Norrvatten; 2017. [citerad april 2020]. Hämtad från: https://www.norrvatten.se/globalassets/documents/strategisk-plan_webb_tillg.pdf

[20] EDP. Certified Environmental Product Declaration EPD of Electricity from Vattenfall's Wind Farms [Internet]. EDP; 2019. [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/15230/S-P-01435%20EPD%20Electricity%20from%20Vattenfall%20wind%20farms.pdf>

[21] EDP. Certified Environmental Product Declaration EPD of Electricity from Vattenfall Nordic Nuclear Power Plants [Internet]. EDP; 2016. [citerad april 2020]. Hämtad från:

<https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/17371/S-P-00923%20EPD%20Electricity%20from%20Vattenfall%20Nordic%20Nuclear%20Power%20Plants%202019.pdf>

[22] EDP. Certified Environmental Product Declaration EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower[Internet]. EDP; 2005. [citerad april 2020]. Hämtad från: <https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/7470/epd88en%20EPD%202018.pdf>

[23] Wigh, L. Mailkontakt med frågor om Ragn-Sells platser för slamavlämning. Ragn-Sells; april 2020.

[24] Ahrsjö, L. Mailkontakt med frågor angående drivmedel för transporter. Kemira; april 2020

[25] Sjögren, M. Mailkontakt med frågor angående drivmedel för transporter, transportsträckor och sortiment. Brenntag Nordic AB; april 2020

[26] Andersson, A. Telefonsamtal angående drivmedel för transporter. Ragn-Sells; april 2020

[27] Hedlund, P. Mailkontakt med frågor angående drivmedel för transporter, transportsträckor och sortiment. Sibelco; april 2020

[28] Landström, L. Mailkontakt med frågor om svensk elmix, grön el och dess olika ursprungskällor. Vattenfall AB; april 2020

[29] Jirblom, M. Mailkontakt angående energiförbrukning i processlösning N2 och N3. Ramböll; april 2020

[30] Lundh, M. Mailkontakt angående kemikalier till UF-tvätt. Ramböll; april 2020

[31] RISE. Miljöbelastning från produktion av kemikalier 1. RISE; 2020.

[32] RISE. Miljöbelastning från produktion av kemikalier 2. RISE; 2020.

[33] European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry. European Commission; 2007.

[34] Kemira. Carbon footprint. Helsingborg: Kemira, 2012.

[35] Forsberg, S. Mailkontakt angående transport av kemikalier i processlösning N2 och N3. Ramböll; april 2020

[36] Naturvårdsverket. Beräkningsverktyg för transportutsläpp [Excel-fil]. Stockholm: Naturvårdsverket; 2018. [citerad april 2020]. Hämtad från:
<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-klimatutslapp/>

[37] Gode, J., Martinsson F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J, Palm, D., m.fl. Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Uppl. 1. Värmeforsk Service AB;2011

[38] Norrvatten. Årsrapport 2019. Stockholm. Norrvatten. 2020.

Bilaga A. Resultat N2

Nedan presenteras resultaten för processlösning N2. Ekvivalenterna är angivna per funktionell enhet.

Energiförbrukning			
Totalt		Distribution	
kg CO2 -ekv	3,45E-06	kg CO2 -ekv	2,60E-06
kg PO4 3- -ekv	2,81E-08	kg PO4 3- -ekv	2,12E-08
kg SO2-ekv	1,05E-08	kg SO2-ekv	7,94E-09
kg R11-ekv	5,94E-10	kg R11-ekv	4,48E-10
kg C2H6-ekv	1,61E-10	kg C2H6-ekv	1,21E-10
Mellanreserv.		Sedimentering	
kg CO2 -ekv	2,79E-08	kg CO2 -ekv	3,72E-08
kg PO4 3- -ekv	2,27E-10	kg PO4 3- -ekv	3,03E-10
kg SO2-ekv	8,51E-11	kg SO2-ekv	1,13E-10
kg R11-ekv	4,80E-12	kg R11-ekv	6,40E-12
kg C2H6-ekv	1,30E-12	kg C2H6-ekv	1,73E-12
Siltstation		Snabbfilter	
kg CO2 -ekv	9,30E-09	kg CO2 -ekv	3,72E-08
kg PO4 3- -ekv	7,56E-11	kg PO4 3- -ekv	3,03E-10
kg SO2-ekv	2,84E-11	kg SO2-ekv	1,13E-10
kg R11-ekv	1,60E-12	kg R11-ekv	6,40E-12
kg C2H6-ekv	4,33E-13	kg C2H6-ekv	1,73E-12
Råvattenpumpar		UF	
kg CO2 -ekv	1,68E-07	kg CO2 -ekv	4,00E-07
kg PO4 3- -ekv	1,36E-09	kg PO4 3- -ekv	3,25E-09
kg SO2-ekv	5,11E-10	kg SO2-ekv	1,22E-09
kg R11-ekv	2,88E-11	kg R11-ekv	6,88E-11
kg C2H6-ekv	7,79E-12	kg C2H6-ekv	1,86E-11
Kemisk fällning		UV	
kg CO2 -ekv	3,72E-08	kg CO2 -ekv	1,12E-07
kg PO4 3- -ekv	3,03E-10	kg PO4 3- -ekv	9,08E-10
kg SO2-ekv	1,13E-10	kg SO2-ekv	3,40E-10
kg R11-ekv	6,40E-12	kg R11-ekv	1,92E-11
kg C2H6-ekv	1,73E-12	kg C2H6-ekv	5,20E-12
Slambehandling		Allmän el	
kg CO2 -ekv	1,58E-07	kg CO2 -ekv	9,30E-09
kg PO4 3- -ekv	1,29E-09	kg PO4 3- -ekv	7,56E-11
kg SO2-ekv	4,82E-10	kg SO2-ekv	2,84E-11
kg R11-ekv	2,72E-11	kg R11-ekv	1,60E-12
kg C2H6-ekv	7,36E-12	kg C2H6-ekv	4,33E-13

Transport av kemikalier											
Fällning med AIG	Koagulant	Ammoniumsulf	Vattenglas	Soda	Soda	Hypoklorit	Hypoklorit	Hypoklorit	Polymer	Svavelsyra	Totalt
					pH	Monokloramii UF-fvärt					
kg CO2-ekv	1,11E-03	4,35E-05	6,66E-05	1,33E-03	6,44E-04	1,56E-04	1,13E-04	1,87E-05			3,49E-03
kg PO43--ekv	3,44E-06	1,72E-07	4,56E-07	9,11E-06	4,41E-06	1,07E-06	7,74E-07	3,40E-08			1,95E-05
kg SO2-ekv	7,91E-06	1,83E-07	4,73E-07	9,46E-06	3,08E-06	1,11E-06	8,04E-07	7,88E-08			2,31E-05
kg R11-ekv	2,27E-07	7,07E-09	1,36E-08	2,71E-07	8,84E-08	3,18E-08	2,30E-08	3,04E-09			6,65E-07
kg C2H6-ekv	4,77E-07	1,35E-08	2,85E-08	5,70E-07	2,76E-07	6,69E-08	4,84E-08	5,82E-09			1,49E-06
Fällning med PRX-111											
kg CO2-ekv	2,59E-03	4,35E-05	6,66E-05	3,60E-03	8,56E-04	1,56E-04	1,13E-04	2,81E-05	1,35E-03		8,79E-03
kg PO43--ekv	8,00E-06	7,92E-08	2,06E-07	1,11E-05	2,65E-06	4,83E-07	3,50E-07	5,11E-08	4,17E-06		2,71E-05
kg SO2-ekv	1,84E-05	1,83E-07	4,73E-07	2,56E-05	6,08E-06	1,11E-06	8,04E-07	1,18E-07	9,57E-06		6,23E-05
kg R11-ekv	5,26E-07	4,34E-09	1,36E-08	7,32E-07	1,74E-07	3,18E-08	2,30E-08	4,56E-09	2,74E-07		1,78E-06
kg C2H6-ekv	1,11E-06	6,61E-09	2,85E-08	1,54E-06	3,67E-07	6,69E-08	4,84E-08	8,73E-09	5,76E-07		3,75E-06
Produktion av kemikalier											
Fällning med AIG	Koagulant	Ammoniumsulf	Vattenglas	Soda	Soda	Hypoklorit	Hypoklorit	Polymer	Svavelsyra	Totalt	
					pH	Monokloramii UF-fvärt					
kg CO2-ekv	1,98E-02	1,08E-07	2,59E-02	8,17E-03	3,90E-03	4,15E-03	2,96E-03	6,09E-04			6,55E-02
kg PO43--ekv	7,50E-05	1,59E-10	8,46E-05	1,05E-05	5,08E-06	1,18E-05	8,44E-06	4,17E-07			1,96E-04
kg SO2-ekv	2,73E-04	3,90E-10	4,79E-04	4,61E-06	2,23E-06	2,29E-05	1,63E-05	8,58E-07			7,98E-04
kg R11-ekv	2,31E-12	1,16E-14	1,24E-07	1,34E-05	6,46E-06	2,71E-09	1,94E-09	1,19E-13			2,00E-05
kg C2H6-ekv	1,37E-05	3,19E-11	7,48E-10	2,20E-07	1,07E-07	1,32E-06	9,42E-07	5,78E-09			1,63E-05
Fällning med PDX-111											
kg CO2-ekv	1,49E-02	1,08E-07	2,59E-02	2,21E-02	5,23E-03	4,15E-03	2,96E-03	8,30E-04	3,13E-06		7,60E-02
kg PO43--ekv	7,11E-05	1,59E-10	8,46E-05	2,84E-05	6,77E-06	1,18E-05	8,44E-06	4,17E-07	1,58E-08		2,12E-04
kg SO2-ekv	1,10E-04	3,90E-10	4,79E-04	1,25E-05	2,97E-06	2,29E-05	1,63E-05	1,17E-06	2,91E-07		6,44E-04
kg R11-ekv	1,07E-08	1,16E-14	1,23E-07	3,62E-05	8,62E-06	2,71E-09	1,94E-09	1,62E-13	1,25E-12		4,50E-05
kg C2H6-ekv	6,33E-06	3,19E-11	1,61E-07	5,97E-07	1,4236E-07	1,32E-06	9,42E-07	7,88E-09	1,33E-08		9,50E-06

Transport av slam till Högbytorp

Totalt

kg CO2 -ekv	2,44E-04
kg PO43–ekv	6,09E-07
kg SO2-ekv	1,40E-06
kg R11-ekv	3,95E-08
kg C2H6-ekv	7,31E-08

Bilaga B. Resultat N3

Nedan presenteras resultaten för processlösning N3. Ekvivalenterna är angivna per funktionell enhet.

Energiförbrukning			
Totalt		Distribution	
kg CO2 -ekv	3,28E-06	kg CO2 -ekv	2,61E-06
kg PO4 3- -ekv	2,66E-08	kg PO4 3- -ekv	2,12E-08
kg SO2-ekv	9,98E-09	kg SO2-ekv	7,94E-09
kg R11-ekv	5,63E-10	kg R11-ekv	4,48E-10
kg C2H6-ekv	1,52E-10	kg C2H6-ekv	1,21E-10
Mellanreservoar		Sedimentering	
kg CO2 -ekv	5,58E-08	kg CO2 -ekv	3,72E-08
kg PO4 3- -ekv	4,54E-10	kg PO4 3- -ekv	3,03E-10
kg SO2-ekv	1,70E-10	kg SO2-ekv	1,13E-10
kg R11-ekv	9,60E-12	kg R11-ekv	6,40E-12
kg C2H6-ekv	2,60E-12	kg C2H6-ekv	1,73E-12
Silstation		Ozon	
kg CO2 -ekv	9,31E-09	kg CO2 -ekv	1,40E-07
kg PO4 3- -ekv	7,56E-11	kg PO4 3- -ekv	1,13E-09
kg SO2-ekv	2,84E-11	kg SO2-ekv	4,25E-10
kg R11-ekv	1,60E-12	kg R11-ekv	2,40E-11
kg C2H6-ekv	4,33E-13	kg C2H6-ekv	6,49E-12
Råvattenpumpar		UF	
kg CO2 -ekv	1,68E-07	kg CO2 -ekv	3,72E-08
kg PO4 3- -ekv	1,36E-09	kg PO4 3- -ekv	3,03E-10
kg SO2-ekv	5,11E-10	kg SO2-ekv	1,13E-10
kg R11-ekv	2,88E-11	kg R11-ekv	6,40E-12
kg C2H6-ekv	7,79E-12	kg C2H6-ekv	1,73E-12
Kemsik fällning		UV	
kg CO2 -ekv	3,72E-08	kg CO2 -ekv	1,86E-08
kg PO4 3- -ekv	3,03E-10	kg PO4 3- -ekv	1,51E-10
kg SO2-ekv	1,13E-10	kg SO2-ekv	5,67E-11
kg R11-ekv	6,40E-12	kg R11-ekv	3,20E-12
kg C2H6-ekv	1,73E-12	kg C2H6-ekv	8,66E-13
Slambehandling		Allmän el	
kg CO2 -ekv	1,58E-07	kg CO2 -ekv	9,31E-09
kg PO4 3- -ekv	1,29E-09	kg PO4 3- -ekv	7,56E-11
kg SO2-ekv	4,82E-10	kg SO2-ekv	2,84E-11
kg R11-ekv	2,72E-11	kg R11-ekv	1,60E-12
kg C2H6-ekv	7,36E-12	kg C2H6-ekv	4,33E-13

Transport av kemikalier											
Fällning med ALG	Fällningskemikal	Ammoniumsulfat	Vattenglas	Soda	Soda	Hypoklorit	Hypoklorit	Hypoklorit	Polymer	Svavelsyra	Totalt
kg CO2 -ekv	1,02E-03	4,35E-05	6,66E-05	1,24E-03	5,96E-04	1,56E-04	1,13E-04	1,13E-04	1,87E-05		3,25E-03
kg PO4 3- -ekv	3,17E-06	7,94E-08	2,06E-07	3,82E-06	1,85E-06	4,83E-07	3,50E-07	3,50E-07	3,40E-08		9,99E-06
kg SO2-ekv	7,27E-06	1,83E-07	4,73E-07	8,78E-06	4,24E-06	1,11E-06	8,04E-07	8,04E-07	7,88E-08		2,29E-05
kg R11-ekv	2,08E-07	7,07E-09	1,36E-08	2,51E-07	1,21E-07	3,18E-08	2,30E-08	2,30E-08	3,04E-09		6,60E-07
kg C2H6-ekv	4,38E-07	1,35E-08	2,85E-08	5,29E-07	2,55E-07	6,69E-08	4,84E-08	4,84E-08	5,82E-09		1,39E-06
Fällning med PRX-111											
kg CO2 -ekv	2,44E-03	4,35E-05	8,78E-13	4,74E-11	1,13E-11	1,56E-04	1,13E-04	1,13E-04	2,81E-05		2,81E-03
kg PO4 3- -ekv	7,56E-06	7,92E-08	2,06E-07	1,11E-05	2,65E-06	4,83E-07	3,50E-07	3,50E-07	5,11E-08		2,63E-05
kg SO2-ekv	1,74E-05	1,83E-07	4,73E-07	2,56E-05	6,08E-06	1,11E-06	8,04E-07	8,04E-07	1,18E-07		6,05E-05
kg R11-ekv	4,97E-07	7,07E-09	1,36E-08	7,32E-07	1,74E-07	3,18E-08	2,30E-08	2,30E-08	4,56E-09		1,74E-06
kg C2H6-ekv	1,05E-06	1,35E-08	2,85E-08	1,54E-06	3,67E-07	6,69E-08	4,84E-08	4,84E-08	8,73E-09		3,65E-06
Produktion av kemikalier											
Fällning med ALG	Fällningskemikal	Vattenglas	Soda	Soda	Hypoklorit	Hypoklorit	Ammoniumsu	Polymer	Svavelsyra	Totalt	
kg CO2 -ekv	1,83E-02	2,44E-02	7,64E-03	3,60E-03	4,15E-03	2,96E-03	1,08E-07	6,09E-04		6,17E-02	
kg PO4 3- -ekv	6,92E-05	7,99E-05	9,81E-06	4,74E-06	1,18E-05	8,44E-06	1,59E-10	3,06E-07		1,84E-04	
kg SO2-ekv	2,52E-04	4,52E-04	4,31E-06	2,08E-06	2,29E-05	1,63E-05	3,90E-10	8,58E-07		7,50E-04	
kg R11-ekv	2,13E-12	1,17E-07	1,25E-05	6,03E-06	2,71E-09	1,94E-09	1,16E-14	1,19E-13		1,87E-05	
kg C2H6-ekv	1,26E-05	1,52E-07	2,06E-07	9,96E-08	1,32E-06	9,42E-07	3,19E-11	5,78E-09		1,54E-05	
Fällning med PRX-111											
kg CO2 -ekv	1,34E-02	2,90E-06	2,44E-02	2,21E-02	5,27E-03	4,15E-03	2,96E-03	1,08E-07	8,30E-04	7,32E-02	
kg PO4 3- -ekv	6,43E-05	1,46E-08	7,99E-05	2,84E-05	6,77E-06	1,18E-05	8,44E-06	1,59E-10	4,17E-07	2,00E-04	
kg SO2-ekv	9,91E-05	2,69E-07	4,52E-04	1,25E-05	2,97E-06	2,29E-05	1,63E-05	3,90E-10	1,17E-06	6,07E-04	
kg R11-ekv	9,69E-09	1,16E-12	2,20E-07	3,62E-05	8,62E-06	2,71E-09	1,94E-09	1,16E-14	1,62E-13	4,51E-05	
kg C2H6-ekv	5,73E-06	1,23E-08	1,17E-07	5,97E-07	1,42E-07	1,32E-06	9,42E-07	3,19E-11	7,88E-09	8,87E-06	

Transport av slam till Högbytorp	
Totalt	
kg CO2 -ekv	1,86E-04
kg PO43--ekv	5,77E-07
kg SO2-ekv	1,32E-06
kg R11-ekv	3,74E-08
kg C2H6-ekv	6,93E-08

Bilaga C. In- och utdata

All data är angivna per år.

Vattenflöden, Q medel	Mängd	Enhet	Referens
Producerat dricksvatten			
N2	75 920 000	m ³	[3]
N3	75 920 000	m ³	[3]

Avfall			
Slam	Mängd	Enhet	Referens
N2			
Vid fällning med ALG	9855	m ³	[35]
Vid fällning med PIX- 111	13 870	m ³	[35]
N3			
Vid fällning med ALG	9125	m ³	[35]
Vid fällning med PIX-111	13 140	m ³	[35]

Vid fällning med ALG i processlösning N2			
Transportsträckor av kemikalier och slam			
Kemikalie	Tung lastbil med släp t o r (km)	Lätt lastbil t o r (km)	Totalt (km)
ALG	1164		72 168
Ammoniumsulfat		2708	10 832
Vattenglas	720		4320
Soda	1164		128 040
Hypoklorit	1164		17 460
Polymer		1164	4656
Slam	55,2		9052,8

Vid fällning med PIX-111 i processlösning N2**Transport av kemikalier och slam**

Kemikalie	Tung lastbil med släp t o r (km)	Lätt lastbil t o r (km)	Totalt (km)
PIX-111	1164		167 616
Ammoniumsulfat		2708	10 832
Vattenglas	720		4320
Soda	1164		288 672
Hypoklorit	1164		17 460
Svavelsyra	1164		87 300
Polymer		1164	6984
Slam	55,2		12 751,2

Vid fällning med ALG i processlösning N3**Transport av kemikalier och slam**

Kemikalie	Tung lastbil med släp t o r (km)	Lätt lastbil t o r (km)	Totalt (km)
ALG	1164		66 348
Ammoniumsulfat		2708	10 832
Vattenglas	720		4320
Soda	1164		11 8728
Hypoklorit	1164		17 460
Polymer		1164	4656
Slam	55,2		8390,4

Vid fällning med PIX-111 i processlösning N3**Transport av kemikalier och slam**

Kemikalie	Tung lastbil med släp t o r (km)	Lätt lastbil t o r (km)	Totalt (km)
PIX-111	1164		158 304
Ammoniumsulfat		2708	10 832
Vattenglas	720		4320
Soda	1164		288 672
Hypoklorit	1164		17 460
Svavelsyra	1164		80 316
Polymer		1164	6984
Slam	55,2		12 088,8

Energikällor (kWh/m³)

N2

Elmix

Vattenkraft 23E-5

Kärnkraft 26E-5

Vindkraft 10E-6

Grön el

Vattenkraft 49E-5

N3

Vattenkraft 21E-5

Kärnkraft 25E-5

Vindkraft 9,3E-6

Grön elVattenkraft 46E-5

Bilaga D. Allmän data

Diesel MK1 (RME 5 %)	Enhet	Referens
Densitet	0,814 kg/l	[18]
Värmevärde	35,28 GJ/m ³ diesel	[36]
Bränsleförbrukning		
Tung lastbil	0,473 l/km	[18]
Lätt lastbil	0,123 l/km	[18]

Antal transporter (st/år)	N2		N3		Referens
	FeCl3	ALG	FeCl3	ALG	
Kemikalier					
ALG		62		57	[35]
FeCl3	144		136		[35]
Vattenglas	6	6	6	6	[35]
Svavelsyra	75		69		[35]
Hypoklorit	15	15	15	15	[35]
Ammoniumsulfat	4	4	4	4	[35]
Soda	248	110	248	102	[35]
Slam	231	164	219	152	[35]
Polymer	6	4	6	4	[35]

Bilaga E. Utsläppsfaktorer och utsläppsekvivalenter

Vattenkraft				
Utsläpp	Till	Utsläppsfaktor	Enhet	Referens
CO ₂	luft	10,1	g/kWh	[22]
N ₂ O	luft	1,67E-04	g/kWh	[22]
CH ₄	luft	7,45E-03	g/kWh	[22]
NO _x	luft	8,10E-03	g/kWh	[22]
COD	vatten	5,36	g/kWh	[22]
P	vatten	0,00138	g/kWh	[22]
N	vatten	0,00E+00	g/kWh	[22]
NH ₃	vatten	2,53E-04	g/kWh	[22]
NH ₃	luft	2,13E-04	g/kWh	[22]
PO ₄ ³⁻	vatten	0,00E+00	g/kWh	[22]
SO ₂	luft	1,04E-02	g/kWh	[22]
CO	luft	2,76E-02	g/kWh	[22]
VOC	luft	4,78E-06	g/kWh	[22]

Kärnkraft				
Utsläpp	Till	Utsläppsfaktor	Enhet	Referens
CO ₂	luft	3,66E+00	g/kWh	[21]
N ₂ O	luft	2,88E-04	g/kWh	[21]
CH ₄	luft	1,01E-02	g/kWh	[21]
NO _x	luft	1,03E-02	g/kWh	[21]
COD	vatten	2,69E-03	g/kWh	[21]
P	vatten	2,33E-06	g/kWh	[21]
N	vatten	8,08E-05	g/kWh	[21]
NH ₃	vatten	4,96E-05	g/kWh	[21]
NH ₃	luft	4,89E-04	g/kWh	[21]
PO ₄ ³⁻	vatten	1,37E-03	g/kWh	[21]
SO ₂	luft	1,18E-02	g/kWh	[21]
CO	luft	2,70E-02	g/kWh	[21]
VOC	luft	1,81E-04	g/kWh	[21]

Vindkraft				
Utsläpp	Till	Utsläppsfaktor	Enhet	Referens
CO ₂	luft	1,30E+01	g/kWh	[20]
N ₂ O	luft	3,90E-04	g/kWh	[20]
CH ₄	luft	2,80E-02	g/kWh	[20]
NO _x	luft	3,30E-02	g/kWh	[20]
COD	vatten	1,60E-02	g/kWh	[20]
P	vatten	3,40E-05	g/kWh	[20]
N	vatten	0,00E+00	g/kWh	[20]
NH ₃	vatten	4,20E-04	g/kWh	[20]
NH ₃	luft	2,20E-04	g/kWh	[20]
PO ₄₃₋	vatten	8,00E-04	g/kWh	[20]
SO ₂	luft	2,60E-02	g/kWh	[20]
CO	luft	1,20E-01	g/kWh	[20]
VOC	luft	3,30E-03	g/kWh	[20]

Utsläppsfaktorer

Utsläpp	Till	Produktion & distribution	Tung lastbil med släp Användning	Lätt lastbil Användning	Referens
CO ₂	luft	6,32E+00 kg/GJ	6,96E+01	6,96E+01 kg/GJ	[37]
N ₂ O	luft	1,04E-03 kg/GJ	1,20E-03	1,60E-03 kg/GJ	[37]
CH ₄	luft	3,28E-02 kg/GJ	5,00E-04	6,80E-04 kg/GJ	[37]
NO _x	luft	1,84E-02 kg/GJ	6,00E-01	3,50E-01 kg/GJ	[37]
COD	vatten	0,00E+00 kg/GJ	0,00E+00	0,00E+00 kg/GJ	[37]
P	vatten	0,00E+00 kg/GJ	0,00E+00	0,00E+00 kg/GJ	[37]
N	vatten	0,00E+00 kg/GJ	0,00E+00	0,00E+00 kg/GJ	[37]
NH ₃	vatten	2,56E-02 kg/GJ	2,56E-02	0,00E+00 kg/GJ	[37]
NH ₃	luft	2,84E-04 kg/GJ	2,10E-04	0,00E+00 kg/GJ	[37]
PO ₄₃₋	vatten	3,04E-07 kg/GJ	3,04E-07	0,00E+00 kg/GJ	[37]
SO ₂	luft	1,68E-02 kg/GJ	9,30E-05	9,30E-05 kg/GJ	[37]
CO	luft	6,01E-03 kg/GJ	1,40E-01	1,70E-01 kg/GJ	[37]
VOC	luft	1,30E-02 kg/GJ	3,40E-02	2,80E-02 kg/GJ	[37]

Utsläpp	Soda		Natriumsilikat	
	Utsläppsfaktor	Utsläppsfaktor	Enhet	Referens
CO ₂	200	540	kg/ton	[33]
P	5,21E-02	88,3	kg/ton	[33]
N	1,85E-01	0,258	kg/ton	[33]
NH ₃	6,00E-02	307	kg/ton	[33]
CO	9	2,028	kg/ton	[33]
SO ₂	0,0003	1,322	kg/ton	[33]
NO _x	0,193	0,003	kg/ton	[33]

Ekvivalenter från produktion

Järnklorid	Potential		Referens
GWP, kg CO ₂ -ekv	5,37E+02	per ton	[31]
EP, kg PO ₄₃ --ekv	2,57E+00	per ton	[31]
AP, kg SO ₂ -ekv	3,96E+00	per ton	[31]
ODP, kg R11-ekv	3,87E-04	per ton	[31]
POCP, kg C ₂ H ₆ -ekv	2,29E-01	per ton	[31]
Hypoklorit			
GWP, kg CO ₂ -ekv	2,25E+03	per ton	[31]
EP, kg PO ₄₃ --ekv	6,41E+00	per ton	[31]
AP, kg SO ₂ -ekv	1,24E+01	per ton	[31]
ODP, kg R11-ekv	1,47E-03	per ton	[31]
POCP, kg C ₂ H ₆ -ekv	7,15E-01	per ton	[31]
Aluminiumsulfat			
GWP, kg CO ₂ -ekv	5,79E+02	per ton	[31]
EP, kg PO ₄₃ --ekv	2,19E+00	per ton	[31]
AP, kg SO ₂ -ekv	7,96E+00	per ton	[31]
ODP, kg R11-ekv	6,75E-08	per ton	[31]
POCP, kg C ₂ H ₆ -ekv	4,00E-01	per ton	[31]
Svavelsyra			
GWP, kg CO ₂ -ekv	8,80E-02	per ton	[32]
EP, kg PO ₄₃ --ekv	4,44E-04	per ton	[32]
AP, kg SO ₂ -ekv	8,18E-03	per ton	[32]
ODP, kg R11-ekv	3,51E-08	per ton	[32]
POCP, kg C ₂ H ₆ -ekv	3,73E-04	per ton	[32]
Ammoniumsulfat			
GWP, kg CO ₂ -ekv	4,10E-01	per ton	[32]

EP, kg PO43--ekv	6,03E-04	per ton	[32]
AP, kg SO2-ekv	1,48E-03	per ton	[32]
ODP, kg R11-ekv	4,41E-08	per ton	[32]
POCP, kg C2H6-ekv	1,21E-04	per ton	[32]
<hr/>			
Polymer			
<hr/>			
GWP, kg CO2-ekv	4,20E+03	per ton	[34]
EP, kg PO43--ekv	2,11E+00	per ton	Beräknat
AP, kg SO2-ekv	5,92E+00	per ton	Beräknat
ODP, kg R11-ekv	8,20E-07	per ton	Beräknat
POCP, kg C2H6-ekv	3,99E-02	per ton	Beräknat
<hr/>			

Bilaga F. Formler

Utsläpp från transporter beräknades med formel 1. Utsläpp från energiförbrukning beräknades med formel 2. Utsläpp från produktion av kemikalier beräknades med formel 3. Referens [18]

$$\text{Utsläpp (kg)} = \text{Bränsleförbrukning (ton)} \cdot \text{Värmevärde} \left(\frac{\text{GJ}}{\text{ton}} \right) \cdot \text{Emissionsfaktor} \left(\frac{\text{kg}}{\text{GJ}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Utsläpp (kg)} = \text{Energiförbrukning (MWh)} \cdot \text{Emissionsfaktor} \left(\frac{\text{kg}}{\text{MWh}} \right) \quad (2)$$

$$\text{Utsläpp (kg)} = \text{kemikalieförbrukning (ton)} \cdot \text{Emissionsfaktor} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right) \quad (3)$$

Bilaga G. Beräkningar polymer

Parametrar och resultat för beräkningar av mängd förbrukad polymer och antal transporter av polymer.

Beräkning av förbrukad mängd polymer per m³ producerat slam			
Parametrar	Mängd	Enhet	Referens
Förbrukad polymer totalt, år 2019	8,743	ton	[38]
Producerat slam, år 2018	7700	ton	[9]
Densitet slam	1	ton/m ³	[9]
Förbrukad mängd polymer per m ³ producerat slam	0,001145	ton	Beräknat
Beräkning av antal transporter per år			
N2 med ALG som fällningskemikalie			
Producerat slam	9855	ton	[35]
Förbrukad mängd polymerer	11	ton	Beräknat
Uppskattade transporter lätt lastbil	4	st	Beräknat
N2 med FeCl₃ som fällningskemikalie			
Producerat slam	13 870	ton	[35]
Förbrukad mängd polymerer	16	ton	Beräknat
Uppskattade transporter lätt lastbil	6	st	Beräknat
N3 med ALG som fällningskemikalie			
Producerat slam	9125	ton	[35]
Förbrukad mängd polymerer	10	ton	beräknat
Uppskattade transporter lätt lastbil	4	st	beräknat
N3 med FeCl₃ som fällningskemikalie			
Producerat slam	13 140	ton	[35]
Förbrukad mängd polymerer	15	ton	beräknat