



Rapport

Diarienummer Projektnummer
NV Rapport 2020-08 Examensarbete, 15 hp

Miljöeffektbedömning vid introduktion av nanofilter till dricksvattenproduktion- En jämförelse i koldioxidavtryck med livscykelperspektiv

Examensarbete, Högskoleingenjörsexamen Kemiteknik, KTH

Peter Karlsson
KTH i samarbete med Norrvatten

2020-09-04



EXAMENSARBETE INOM KEMITEKNIK, GRUNDNIVÅ
STOCKHOLM, 2020

Miljöeffektbedömning vid introduktion av nanofilter till dricksvattenproduktion - En jämförelse i koldioxidavtryck med livscykelperspektiv

Peter Karlsson

KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
KTH KEMI, BIOTEKNOLOGI OCH HÄLSA

EXAMENSARBETE

Högskoleingenjörsexamen

Kemiteknik

Titel:	Miljöeffektbedömning vid introduktion av nanofilter till dricksvattenproduktion – En jämförelse i koldioxidavtryck med livscykelperspektiv
Engelsk titel:	Environmental impact assessment when introducing nanofilter technology to drinking water treatment – A comparison of carbon dioxide footprint with life cycle perspective
Sökord, sv: Keywords, eng:	Dricksvatten, nanofilter, livscykelanalys, koldioxidavtryck Drinking water treatment, life cycle assessment, nanofilter, carbon foot print
Arbetsplats:	Norrvatten AB
Handledare på arbetsplatsen:	Daniel Hellström
Handledare på KTH:	Ingemar Jerling
Student:	Peter Karlsson
Datum:	2020-06-26
Examinator:	Ingemar Jerling

Sammanfattning

Syftet med examensarbetet var att utvärdera miljöpåverkan vid införandet av nanofilter till dricksvattenproduktion vid Görvälnverket. Arbetet tillämpade livscykelanalys som metod där potentiell global uppvärmning valdes som miljöpåverkanskategori. Det undersökta systemet avgränsades till en driftsfas, då tidigare studier tyder på att denna fas utgör den största belastningen. Utsläppsfaktorer togs fram genom litteraturstudier och livscykeldata-baser.

Under förutsättningen att en process med nanofilter producerar lika mycket dricksvatten som Görvälnverket gjorde 2018, kan koldioxidavtrycket minska till hälften av det för vattenverkets nuvarande process.

Görvälnverkets nuvarande process för produktion av dricksvatten belastas främst av kemikalieförbrukning, där aluminiumsulfat och släckt kalk utgör den största delen. Vid en process med nanofilter ökar energiuttaget med nästan 130%, medan kemikalieförbrukningen minskar betydligt. Det ökade energiuttaget medför ändå ett lägre koldioxidavtryck på grund av elektricitetens ursprung. En känslighetsanalys jämförde svensk elmix med grön- och nordisk elmix. Analysen visar att en process med nanofilter kan ha lägre koldioxidavtryck oavsett vald elmix, även om skillnaden vid användning av nordisk el är mindre.

Slutligen jämfördes resultat från en pilotanläggning av nanofiltret vid Görvälnverket med medelvärden från den nuvarande processen. Processen med nanofilter har möjligheten att förbättra avskiljningen av naturligt organiskt material, som förväntas vara ökande i framtiden för Mälaren.

Abstract

The purpose of this thesis was to assess environmental impact when introducing nanofilter technology to a drinking water treatment plant. Life cycle assessment was chosen as method, with global warming potential as environmental impact category. The studied system was limited to the operational phase, as previous studies suggest this phase to have the highest impact. Emission factors was retrieved from literature studies and life cycle assessment databases.

Under the assumption that the process with nanofilter produce the same amount of water as the drinking water treatment plant in 2018, the carbon foot print can be reduced by a half.

The drinking water treatment plants environmental impact is foremost due to chemical consumption, with aluminium sulphate and slaked lime as highest contributors. In comparison, the process with nanofilter increase energy consumption by 130%, while heavily reducing the need for chemicals. The increased energy consumption still result in a lower carbon foot print, mainly due to the low carbon impact from energy production in Sweden. Sensitivity analysis regarding the origin of energy was performed, comparing production of Swedish electricity with green- and nordic average values. The analysis suggest that a process with nanofilter would still have a lower carbon foot print for all origins of electricity, however the difference for nordic is much smaller.

Finally, the results from a pilot plant with nanofilter was compared to average values from the drinking water treatment plant, in regards to removal of natural organic matter. The process with nanofilter can substantially improve the removal of natural organic matter, which is expected to be an increasing problem for Lake Mälaren.

Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte	1
1.2	Målformulering	1
1.3	Lösningsmetod	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Bakgrund	3
2.1	Tidigare forskning med livscykelanalys på vattenverk.....	3
2.2	Görvålverkets dricksvattenproduktion	4
2.3	GenoMembran.....	5
2.3.1	Pilotanläggning vid Görvålverket	5
2.4	Beskrivning av process med nanofilter	5
2.4.1	HFW1000	6
2.4.2	Från pilotanläggning till fullskaleprocess	7
2.5	Livscykelanalys.....	8
3	Metod	9
3.1	Metod för jämförande livscykelanalys på Görvålverket	9
3.1.1	Funktionell enhet.....	9
3.1.2	Systemgränser	9
3.1.3	Avgränsningar	10
3.2	Datainsamling.....	10
3.3	Antaganden.....	10
3.4	Miljöpåverkanskategori.....	11
3.5	Känslighetsanalys.....	11
4	Inventering och nyckeltal	12
4.1	Energi	12
4.2	Kemikalier	13
4.3	Transporter	14
4.4	Nyckeltal för kemikalier.....	15
4.4.1	Aluminiumsulfat.....	15
4.4.2	Natriumsilikat.....	15
4.4.3	Släckt kalk.....	15

4.4.4	Natriumhypoklorit.....	15
4.4.5	Natriumhydroxid	15
4.4.6	Svavelsyra	15
4.4.7	Polymer	15
4.5	Nyckeltal för energi.....	16
4.6	Nyckeltal för transporter	16
5	Resultat.....	17
5.1	Jämförelse i koldioxidavtryck mellan undersökta processer.....	17
5.2	Resultat för Görvålverket nuvarande process	17
5.3	Resultat för process med nanofilter.....	19
5.4	Känslighetsanalys.....	20
6	Diskussion	21
6.1	Resultat av koldioxidavtryck.....	21
6.2	Utformning av fullskaleprocess med nanofilter	22
6.3	Livscykelanalys som metod	22
6.4	Osäkerhet utifrån gjorda antaganden.....	22
6.5	Norrvattens framtida vattenverk.....	22
7	Slutsats	24
8	Förslag på vidare studier	25
9	Referenser.....	26
	Bilaga A. Inventering av Görvålverket 2018	28
	Bilaga B. Inventering av process med nanofilter	29
	Bilaga C. Resultat av utsläppspotential.....	30

1 Inledning

Norrvatten är ett kommunalförbund med 14 medlemskommuner som producerar och distribuerar dricksvatten i norra Stockholm. Produktionen av dricksvatten sker i Görvålverket vid Mälaren i Järfälla kommun. Görvålverket upprättades år 1929 och har successivt byggts ut för att möta den ökande efterfrågan på rent dricksvatten. Enligt den regionala utvecklingsplanen som Region Stockholm tagit fram förväntas en expansiv befolkningstillväxt över kommande år. Norrvattens 14 medlemskommuner förväntas öka i antal abonnenter för dricksvatten från 580 000 till 940 000 mellan åren 2016 till 2050 (Norrvatten, 2017). Befolkningstillväxten ställer därmed återigen ökade krav på Görvålverkets produktion och Norrvatten planerar därför en utbyggnad av verket.

Vidare uppnår inte Görvålverket den nivå av smittskydd mot bakterier, virus och parasiter som Livsmedelsverket rekommenderar. Detta efter att verksamhetens mikrobiella barriäranalys reviderats år 2019 (Norrvatten, 2020). Ytterligare en utmaning för Görvålverket är att öka avskiljningen av naturligt organiskt material med nuvarande teknik.

Som en följd av ovan utmaningar har Norrvatten i samarbete med externa konsulter utfört förstudier i syfte att belysa verksamhetens olika alternativ. För att samtidigt höja verkets kapacitet och möta ökade krav på vattenrening utvärderas införandet av ny teknik i processen. Ett av alternativen är nanofilter av hålfiber, som har goda möjligheter att avskilja både naturligt organiskt material och smittoämnen. Nanofilter skiljer sig generellt från konventionell teknik och kräver ofta mer energi, men förbrukar däremot mindre kemikalier.

För att bidra till en hållbar utveckling med låg miljöpåverkan har Görvålverkets nuvarande process för produktion av dricksvatten jämförts med en process baserad på nanofilter av hålfiber. Jämförelsen har skett utifrån ett livscykelperspektiv med koldioxidavtryck som miljöpåverkanskategori.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet var att jämföra nanofilter som processalternativ med Görvålverkets nuvarande produktion av dricksvatten. Informationen kan sedan användas som underlag för kommande utbyggnad av Görvålverket vid bedömning av olika processalternativ.

1.2 Målformulering

Målet med arbetet var att bidra med ytterligare underlag till personal på Norrvatten om en alternativ process för kommande utbyggnad av Görvålverket. För att uppnå detta har följande frågeställningar studerats:

- Hur skiljer sig miljöpåverkan, utifrån en gemensam funktionell enhet [$\text{CO}_2\text{e}/\text{m}^3$ producerad dricksvatten], för Görvålverkets nuvarande process i jämförelse med en process baserad på nanofilter av hålfiber?
- Vilka steg i processen bidrar mest till utsläpp av CO_2e ?
- Hur jämför sig de olika processerna för avskiljning av naturligt organiskt material och smittämnen?

1.3 Lösningssmetod

Arbetet har utgått från en litteraturstudie med en jämförande livscykelanalys som grund. Metodik berörande livscykelanalys presenteras i kapitel 2, samt hur den tillämpats på Görvälnverket i kapitel 3.

Insamling av data har skett genom sökningar i databaser och mailkontakt med producenter och sakkunniga inom önskat område.

1.4 Avgränsningar

Jämförelsen har avgränsats till att undersöka koldioxidavtrycket för driften vid dricksvattenproduktion under ett år för de två olika processerna. I jämförelsen ingick inte konstruktion- och nedrustningsfas. Arbetet tar inte hänsyn till eventuella driftstörningar.

Introduktionen av ny teknik för dricksvattenproduktion innebär inte nödvändigtvis att alla delar av processen förändras. Av detta skäl har steg i processerna som förväntas vara konstanta, oavsett införandet av ny teknik, inte ingått i jämförelsen.

2 Bakgrund

Norrvatten står inför ett vägval med flera olika alternativ för att säkra framtidens dricksvattenproduktion vid Görvålverket. För att möta ökade krav på vattenrening och en expansiv befolkningstillväxt i Norrvattens medlemskommuner utvärderas bland annat införandet av nanofilter i processen. Nanofiltret som bedöms i detta arbete bygger på data som tagits fram vid en pilotanläggning under projektet GenomMembran, samt tekniska datablad från tillverkaren.

Kapitlet avser därför att presentera tidigare forskning om miljöpåverkan från vattenverk där livscykelanalys använts som metod. Vidare beskrivs Görvålverkets dricksvattenproduktion och den alternativa processen med nanofilter.

2.1 Tidigare forskning med livscykelanalys på vattenverk

Det har tidigare gjorts studier för att utvärdera miljöpåverkan från olika vattenverk med dricksvattenproduktion. Författarna har främst tillämpat livscykelanalys som metod, med den funktionella enheten 1 m³ producerat dricksvatten. Eftersom att livscykelanalys innefattar ett specifikt utvalt mål och syfte kommer systemgränserna i det undersökta systemet eller produkten att variera. Studiernas resultat behöver därmed tolkas utifrån dessa.

Flera av studierna hade som mål att utvärdera klimatpåverkan av konventionella vattenreningsverk. Wallén (1999) utförde en livscykelanalys på Lackarebäckverket i Göteborg för att undersöka den totala miljöpåverkan av dricksvattenproduktionen, samt identifiera de steg som bidrog mest. I studien ingick både tillverkning och distribution av dricksvattnet. Resultatet visade att kemikalieproduktionen utgjorde största emissionen till luft, särskilt bränd kalk och aluminiumsulfat. Energiförbrukningen var som störst vid pumpning av råvatten och distribution, men hade en lägre miljöpåverkan. Ett liknande resultat erhöles av Jutterström (2015), som genererade ett koldioxidavtryck för Norrvattens verksamhet 2014. Studien visade att aluminiumsulfat och släckt kalk utgjorde två tredjedelar av det totala koldioxidavtrycket. En norsk livscykelanalys utvärderade istället fyra vattenverks miljöpåverkan över en 10-årsperiod med avseende på energiförbrukning och kemikalier. Venkatesh & Battebø (2012) fann då att kemikalier generellt sett stod för den största påverkan. Energiförbrukningen utgjorde dock den största belastningen fyra av de undersökta åren, men efter att ett av vattenverken uppgraderades skenade återigen kemikalieförbrukningens miljöpåverkan i jämförelse.

Livscykelanalyser har även utförts för att jämföra konventionella vattenreningsverk med processer av nyare teknik, exempelvis membran. Detta studerades av Bonton et al. (2012) i Kanada, som fann att en konventionell reningsmetod hade totalt sett större miljöpåverkan än ett system med nanofilter. Resultaten i en liknande studie av Ribera et al. (2014) visade istället att bytet till ett system med nanofilter ökade miljöpåverkan. Ökningen kom som följd av den energi som krävdes för nanofilter, men resulterade samtidigt i ett mycket renare vatten som reducerade förknippade hälsorisker.

Slutsatsen till de flesta av de ovan nämnda studierna innebar att störst miljöpåverkan härstammar från produktion och användning av kemikalier vid dricksvattenproduktion. Även energianvändningen kan utgöra en stor, om inte större, miljöpåverkan i vissa fall. Detta kan bero på vilken elmix som används vid beräkningarna, då miljöpåverkan är olika stor beroende på hur elektriciteten produceras. På grund av detta är LCA-studier svåra att jämföra med varandra, då de

sällan tar hänsyn till lokala kontexter. Bland annat kan det finnas stora skillnader i råvattenkvalitet och krav på slutprodukt, vilket i sig påverkar hur processen utformats för ett vattenverk.

2.2 Görvälnverkets dricksvattenproduktion

Processen, vars blockschema illustrerars i figur 1, startar med ett intag av råvatten från Görvälnfjärden. Råvattnet kan pumpas från ett djup på antingen 4 eller 22 meter, beroende på årstid och vattenkvalitet. Vattnet silas sedan genom en korgbandssil som avslägsnar fisk och alger innan det rinner vidare till en pumpstation. Pumpstationen för sedan vidare rätt mängd vatten till blandningsrännor som doserar aluminiumsulfat för att bilda flockar. Flockarna består av humusämnen, lerpartiklar och andra mikroorganismer. För att ytterligare stötta flockningen och göra dem större tillsätts en liten mängd natriumsilikat. Flockarna sjunker till botten i en sedimenteringsbassäng varpå ett avfall i form av slam separeras med skrapa från bassängens botten. Vattnet leds sedan vidare till 1,5 m tjocka sandfilter. I detta steg avskiljs de flockar som ännu inte hunnit sedimentera.

Efter sandfiltret är vattnet klart och färglöst, men för att bli av med eventuell smak och doft pumpas det genom en 2,5 m tjock bädd av aktivt granulerat kol som sänker halten av organiska ämnen och skyddar mot föroreningar. Vattnet rinner nu vidare med självfall till UV-reaktorer för desinfektion. Vattenreningen är därmed slutförd men eftersom att vattnet är svagt surt, krävs pH-justering med kalk för att minska risken för korrosion i ledningsnätet. I detta steg tillsätts även en låg dos monokloramin för att hindra bakterietillväxt i ledningsnätet. Dricksvattnet lagras slutligen i en resevoir för att distribueras till abonnenterna (Norrvatten, u.å).



Figur 1. Blockschema för Görvälnverkets dricksvattenproduktion, steg för steg.

Utifrån den beskrivna processen ovan kan de olika stegen kategoriseras utifrån deras barriärverkan. Den främsta avskiljningen av naturligt organiskt material sker vid fällningen med aluminiumsulfat, som också utgör en av de mikrobiologiska barriärerna. Sandfiltret står för partikelavskiljning och det efterföljande steget med aktiva kolbäddar utgör både kemisk och mikrobiologisk barriär. Processen består även av akut kemisk barriär i form av pulveriserat aktivt kol som kan doseras tidigt i processen vid behov. De kemikalier som främst används i de olika stegen sammanfattas i tabell 1.

Slutligen uppskattas vattenverket avskilja naturligt organiskt material, mätt i total organic carbon, TOC, till mellan 40-50%.

Tabell 1. Sammanställning av de främst använda kemikalierna i processen.

Kemikalie	Användningsområde
Aluminiumsulfat	Fällningskemikalie
Natriumsilikat	Hjälpkoagulant

Aktivt granulerat kol	Avskiljer doft, smak och organiska substanser
Pulveriserat aktivt kol	Akut kemisk barriär
Monokloramin	Skyddar ledningsnätet
Släckt kalk	Reglerar pH
Polymer	Slamavvattning

2.3 GenoMembran

Projektet Genomembran var ett samarbete mellan Svensk Vatten Utveckling (SVU), ett flertal akademiska institutioner och vattenverk mellan 2012 och 2015. Under projektet studerades hur väl naturligt organiskt material kan avskiljas vid dricksvattenproduktion med ny membranteknik. Pilotanläggningar med olika typer av membranteknik kördes på flera vattenverk med syfte att dels utvärdera avskiljning av naturligt organiskt material, men också om den mikrobiella barriärverkan kan förbättras (SVU, 2015).

2.3.1 Pilotanläggning vid Görvälnverket

En av pilotanläggningarna i Genomembran innebar långtidsförsök vid Görvälnverket, uppdelat i två försök. Vid det första försöket testades tre olika moduler av nanofilter, varav en av dessa bestod av den kommersiella versionen HFW1000 från X-Flow's Pentair. Matarvattnet utgjordes av sandfiltrat från den nuvarande anläggningen i figur 1. Försökens resultat kan sammanfattas till att HFW1000 kunde avskilja dissolved organic carbon, DOC, till ett medelvärde på 86% från filtratet.

Det andra försöket använde också nanofiltret HFW1000, men matarvattnet utgjordes istället av råvatten från Mälaren efter en mikrosil. Flera experiment utfördes för att prognostisera permeatkvalité vid olika driftinställningar. Sammanfattningsvis resulterade försöken i en stabil drift med avskiljning av naturligt organiskt material till 91,6-94,7% mätt i absorbans för färgämnen, UV₂₅₄, samt i 82-92,2% TOC.

2.4 Beskrivning av process med nanofilter

Den alternativa processen som utvärderas i arbetet innebär att flera av stegen i figur 1 byts ut mot membran med nanofilter av hålfiber. Nanofiltret är den kommersiella versionen av HFW1000 från X-Flow's Pentair, som tidigare användes i pilotförsöken vid Görvälnverket. Blockschemat för processen med nanofilter illustreras i figur 2.



Figur 2. Blockschema över alternativ process med nanofilter för produktion av dricksvatten vid Görvälnverket.

Processen som illustreras i blockschemat innebär att råvattnet pumpas till nanofiltret direkt efter korgbandssilen. Detta skulle medföra att användningen av aluminiumsulfat och natriumsilikat upphör för vattenverket. Följden av detta är att slam inte bildas som avfall i samma grad.

2.4.1 HFW1000

HFW1000 med Color Removal Package är ett membrankoncept som tillverkas av X-Flow's Pentair och finns som kommersiell produkt sedan 2013. Nanofiltret är av hålfibertyp bestående av modifierad polyetersulfon (PES) (SVU, 2015). Membranet är speciellt framtaget för att avskilja naturligt organiskt material utan att påverka vattnets hårdhet, det vill säga att avskiljningsgraden för kalcium- och magnesiumjoner är låg. Vidare anger tillverkaren att membranet har en förmåga att avskilja molekyler med vikt högre än ca 1000 g/mol, samtidigt som den kan utgöra en absolut barriär mot virus till 99,99 % (4-LOG), och 99,9999% (6-LOG) mot bakterier (Pentair, 2019).

I figur 4 visas en modul av membranet HFW1000. Modulen består av ca 10 000 spagettliknande fibrer som är omslutna i ett PVC-rör. Varje fiber har en inre diameter på 0,8 mm. En modul är 1,5 m lång och 0,2 m i diameter, med en total membranyta på 40 m². Modulen står vertikalt och flödet pumpas uppifrån och ner. Fibrerna verkar innifrån och utåt genom membranet, vilket innebär att substanser fastnar i ett specifikt stängt utrymme, och lätt kan rengöras genom backspolning (Pentair, 2019).



Figur 4. HFW1000 Nanofilter i tvärsnitt (Pentair, u.å).

Terminologin bakom uppställningen av flera membran är viktigt för att förstå hur processen kan utformas. En enhet med flera moduler av HFW1000 kallas för en ”skid”. En skid kan installeras med olika antal steg, som i sin tur innehåller olika antal moduler. I figur 5 visas en uppställning av skid med moduler i tre steg (Pentair, 2019).



Figur 5. Uppställning av ett HFW1000 skid med membranmoduler i tre steg (Pentair, u.å)

2.4.2 Från pilotanläggning till fullskaleprocess

Baserat på resultaten som framkom i SVU (2015) genomfördes en förstudie för att ta fram preliminär fullskaledesign med nanofiltret HFW1000 vid Görvålnverket. För att matcha Görvålnverkets nuvarande maximala dricksvattenproduktion av 200 000 m³/dag föreslogs en membranprocess i fyra steg med totalt 13 103 moduler. En skid skulle då omfatta 160 moduler, med en fördelning över de fyra stegen på 80 – 40 – 26 – 12, under förutsättningen att två moduler drivs i serie för varje steg. Utbytet ökar efter varje steg, som slutligen ger ett utbyte på 90%.

För denna process beräknades avskiljning av naturligt organiskt material till 80,0%, baserat på UV₂₅₄. Den totala energiförbrukningen utifrån ovan designparametrar uppskattades till 0,54 kWh/m³ permeat. Filtreringsflux över första modulen är 20,0 l/(m² h)⁻¹ och 15,7 l/(m² h)⁻¹ för den andra modulen (SVU, 2015).

För att motverka fouling kommer membranerna att rengöras regelbundet i flera steg. Backspolning rekommenderas en gång i timmen, medan kemisk tvätt sker mellan varje intervall på 36 – 48 h (SVU, 2015). Pentairs rekommendationer för en process med maximal produktion av 208 000 m³/dag föreslår tvättkemikalier enligt tabell 2 (Pentair, 2019).

Tabell 2. Föreslagna tvättkemikalier med uppskattad årlig förbrukning för HFW1000.

Kemikalie	Vikts-%	Årlig förbrukning [l/år]
Natriumhydroxid	25	28830
Natriumhypoklorit	12,5	51760
Svavelsyra	37	10040

2.5 Livscykelanalys

Livscykelanalys är ett välbeprövat verktyg inom hållbar utveckling som används för att kvantifiera miljöpåverkan av en produkts livscykel. En produkts livscykel kan liknas med konceptet vaggatill-graven. Detta koncept innebär att vid kvantifiering av en produkts miljöpåverkan ingår energi och råvaror från produktion, användning och återvinning (Baumann & Tillman, 2004).

En av många tillämpningar av livscykelanalys beskrivs av Baumann & Tillman (2004) som ett verktyg för att skapa underlag till inköp, utveckling och vid val av processalternativ. Metoden kan även belysa vilka delar av en process som har störst miljöpåverkan och därmed ge information om hur detta kan förbättras i sin helhet.

Metodikerna bakom livscykelanalyser innefattar enligt Baumann & Tillman (2004) fyra faser: målbeskrivning och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning samt tolkning av resultatet. Metoden utgår från den internationella miljöstandarden ISO 14040-serien, som beskriver regler och krav på utförandet av analysen. De fyra faserna i kommande stycken har sammanfattats utifrån Baumann & Tillman (2004):

Den första fasen är målbeskrivning och omfattning. Här definieras först syftet för analysen samt redogör vilken målgruppen är. I denna fas bestäms även omfattningen genom att göra en systemavgränsning för vad som undersöks. Fler avgränsningar kan behöva göras både utifrån ett geografiskt och ett tidsperspektiv. Detta är viktigt eftersom att livscykelanalysen ser olika ut på olika platser i världen. Samtidigt väljs en funktionell enhet som ska användas för att kvantifiera miljöpåverkan. Den funktionella enheten måste vara relevant för verksamhetens syfte.

Nästa fas i livscykelanalysen är en inventering av alla relevanta material- och energiflöden. Detta görs genom att konstruera ett flödesschema över de aktiviteter som ingår i det analyserade systemet. Därefter sker en datainsamling som används för att beräkna miljöpåverkan i relation till den valda funktionella enheten.

Analysen går vidare med att göra en miljöpåverkansbedömning. Bedömningens mål är att beskriva de problem som uppstår för miljön utifrån processer i det undersökta systemet. Här kopplas inventeringens resultat och översätts till olika miljöpåverkanskategorier, exempelvis global uppvärmning, ozonnedbrytning, effekter på biologisk mångfald, och så vidare. Detta görs genom att beräkna och klumpa ihop en miljöpåverkan till en och samma enhet. Exempelvis sammanställs miljöeffektkategorin potentiell global uppvärmning utifrån dess koldioxidekvivalenter. Till begreppet koldioxidekvivalenter hör därmed inte bara koldioxid, utan även kolmonoxid, metan och kolflourföreningar. Hanteringen av informationen på detta sätt kan göra den mer lättförståelig och jämförbar.

Slutligen sker en tolkning av analysens resultat, baserat på inventering och miljöpåverkansbedömningen. I många fall sker även en känslighetsanalys, för att kunna belysa hur olika faktorer påverkar resultatet.

3 Metod

Arbetet har utgått från en metod som kan liknas vid en jämförande livscykelanalys enligt metodbeskrivning i kapitel 2.5. Detta kapitel avser därför att beskriva hur metoden tillämpats vid arbetets jämförelse av processalternativ på Görvålverket.

3.1 Metod för jämförande livscykelanalys på Görvålverket

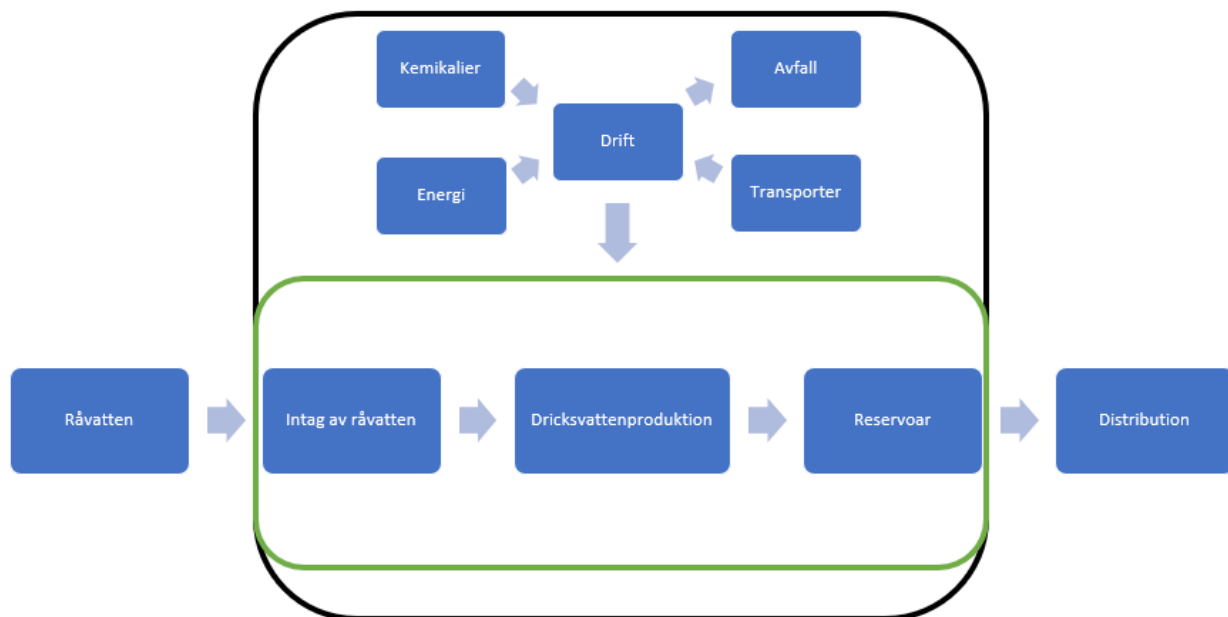
Livscykelanalysen utförs i syfte att skapa mer underlag till personal på Görvålverket. Nedan följer information kring funktionell enhet, systemgränser och avgränsningar.

3.1.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten 1 m³ producerat dricksvatten har använts då den bäst relaterar till verksamhetens syfte.

3.1.2 Systemgränser

Systemavgränsningarna sker utifrån en driftsfas av de olika processerna, vilket illustreras i figur 6. Driftsfasen avser det som tillförs systemet i form av kemikalier och energi, samt vad som krävs för produktion och slutligen transport av dessa till Görvålverket. Likaså ingår det avfall som produceras till följd av drift, och även där transport av dessa från Görvålverket. Konstruktions- och nedrustningsfas ingår inte i arbetet, vilket medför att hänsyn ej tas till material för utbyte av membran.



Figur 6. Illustration av systemgränser. Svart område avser driftsfasen för produktionen av dricksvatten.

3.1.3 Avgränsningar

Arbetet tar inte hänsyn till andra produkters livscyklar, det vill säga eventuella driftstörningar eller utbyte av membranmoduler.

3.2 Datainsamling

Data som berör förbrukning av kemikalier, energi, och kvittblivning av slam vid Görvålnerkets nuvarande process har hämtats från Norrvattens årsredovisning 2018. Den förbrukade energin avser energiuttag för produktion av dricksvatten, men exkluderar energi för UV-ljus (Norrvatten 2018).

Data som berör förbrukning av kemikalier och energi för den alternativa processen med nanofilter har hämtats från rapporten GenoMembran av Svensk Vatten Utveckling (SVU, 2015) i kombination med data från Pentair som bygger på samma pilotanläggning vid Görvålnerket (Pentair, 2019).

Antal transporter för kemikalier har uppskattats utifrån den leveransvikt som normalt beställs till Görvålnerket. Transportsträckor för respektive kemikalie har tagits fram med Google Maps som planerat resvägen från distributör till vattenverket.

Utsläpp från transportfordon har hämtats och beräknats med verktyg från Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2019).

Utsläpp från produktion och distribution av energi till Görvålnerket har hämtats från miljövarudeklarationer från Vattenfall AB för kärnkraft, vattenkraft och vindkraft (Vattenfall, 2016, 2018a, 2018b).

Utsläpp från produktion av kemikalier har tagits fram av RISE och Kemira. Utsläppsfaktorer från RISE innebär produktion i Europeisk kontext medan Kemira innebär specifika länder för respektive kemikalie. Data från RISE är bedömt utifrån CML2001 som metod och samtliga kemikaliers livscykeldata presenteras som vaggatillgrind, vilket innebär att transport från distributör till Görvålnerket inte ingår.

3.3 Antaganden

Vid val av fordonstyp för transporter av kemikalier har antaganden gjorts utifrån normala leveransvikter till Görvålnerket. Transporter av slam, aluminiumsulfat och släckt kalk sker därmed med tung lastbil. Transport av natriumsilikat, polymer, natriumhypoklorit, natriumhydroxid och svavelsyra antas ske med lätt lastbil. Samtliga transportsträckorna har beräknats i tur- och returresor.

Kemikalier som ingår i Görvålnerkets nuvarande process antas utgå från respektive distributörs lager. För kemikalier i processen med nanofilter antas samtliga nya kemikalier levereras av Kemira i Helsingborg. För kvittblivningen av slam görs antagandet att allt transporteras till Vagnhärad för att användas som fyllnadsmedel.

Val av elmix för Görvålnerket har antagits spegla Vattenfalls elförsäljning i Sverige år 2019. Sammansättningen är därmed 51,2% kärnkraft, 46,3% vattenkraft och 2,5% vind- och solkraft

(Vattenfall, 2019). Eftersom Vattenfall inte har någon miljövarudeklaration för solkraft görs antagandet att 2,5% endast består av el producerad med vindkraft.

För kemikalieförbrukningen i processen med nanofilter har det antagits att den årliga förbrukningen av tvättkemikalier är likvärdig för systemet som dimensionerades i SVU (2015). Detta antagandet görs trots att den dagliga produktionen av dricksvatten skiljer 4% från den process som delgett årlig förbrukning i Pentair (2019).

Beräkningar för hur mycket släckt kalk en process med nanofilter förbrukar har gjorts utifrån data på råvatten i Mälaren (Norrvatten, 2019) och antas därmed behöva möta värden som Livsmedelsverket angett som krävs för att motverka korrosion (Livsmedelsverket, 2018).

3.4 Miljöpåverkanskategori

Detta arbete har valt att endast studera miljöpåverkan i form av potentiell global uppvärmning. De ämnen som främst påverkar global uppvärmning är enligt IPCC koldioxid, metan och dikväveoxid (lustgas). Värden för de tre olika ämnena har viktats i förhållande till koldioxid i tabell 3 (GHG Protocols, 2016).

Tabell 3. Värde över de ämnen som ingår i potentiell global uppvärmning (GWP). Värden är angivna i förhållande till koldioxid.

Ämne	Kemisk formel	GWP100
Koldioxid	CO ₂	1
Metan	CH ₄	28
Dikväveoxid (lustgas)	N ₂ O	265

3.5 Känslighetsanalys

För att jämföra hur utsläpp för Görvålverkets energiförbrukning varierar beroende på dess ursprung, jämförs svensk elmix med grön elmix och nordisk elmix. Vidare undersöks påverkande faktorer för processen med nanofilter.

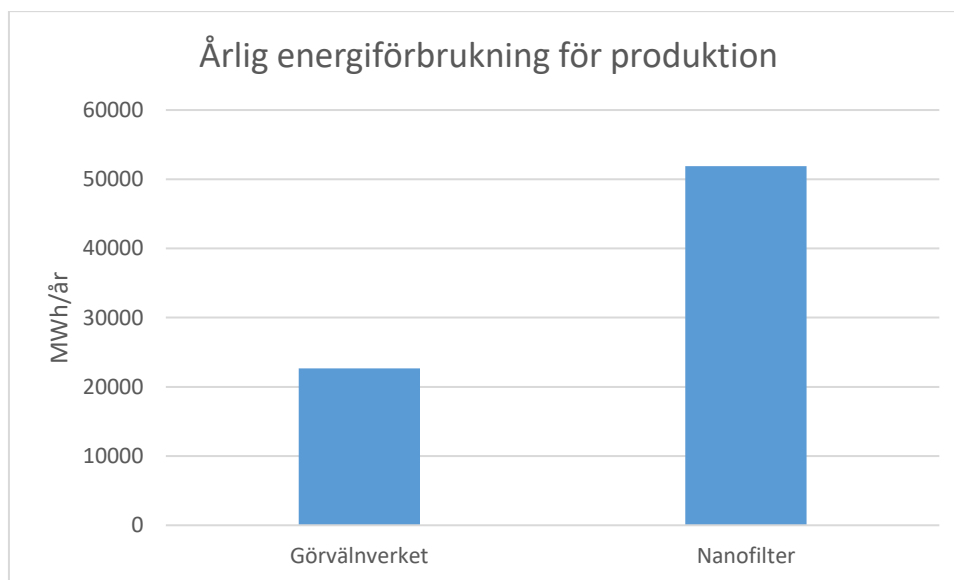
4 Inventering och nyckeltal

Detta kapitel avser att redovisa inventering av de två processer som jämförs. Inventeringen sker utifrån driftsfasens förbrukning av energi, kemikalier och transporter under ett års tid.

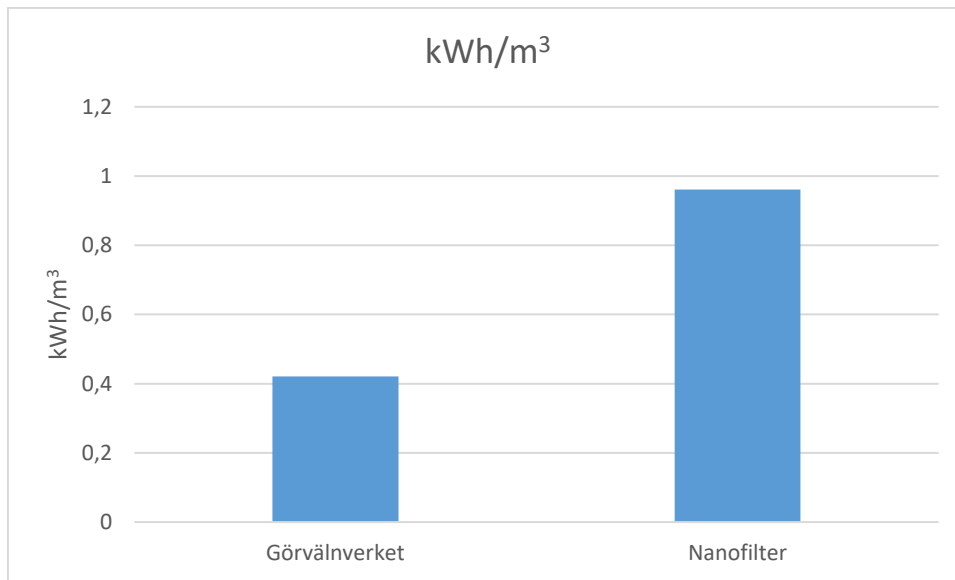
Förutsättningen för inventeringen är att Görvålverket besitter en maximal produktion av dricksvatten på 200 000 m³/dag. Den årliga förbrukningen av energi, kemikalier och antal transporter är därmed baserade på uppgifter från Görvålverkets årsrapport 2018. Mängden producerat dricksvatten år 2018 var 54 030 535 m³ (Norrvatten, 2018).

4.1 Energi

Energiuttaget vid Görvålverket år 2018 uppgick till 22 668 MWh. Energiuttagen innefattar inte energi för UV-reaktorer (Norrvatten, 2018). För en process där nanofilter istället utgör basen för dricksvattenproduktion uppskattades det totala energiuttaget till 51 912 MWh. Skiftet av teknik medför alltså en ökning av energi på nästan 130% för vattenverket. Figur 7 visar energiförbrukningen för de olika processerna uttryckt i MWh/år, medan figur 8 visar kWh/m³ producerat dricksvatten.



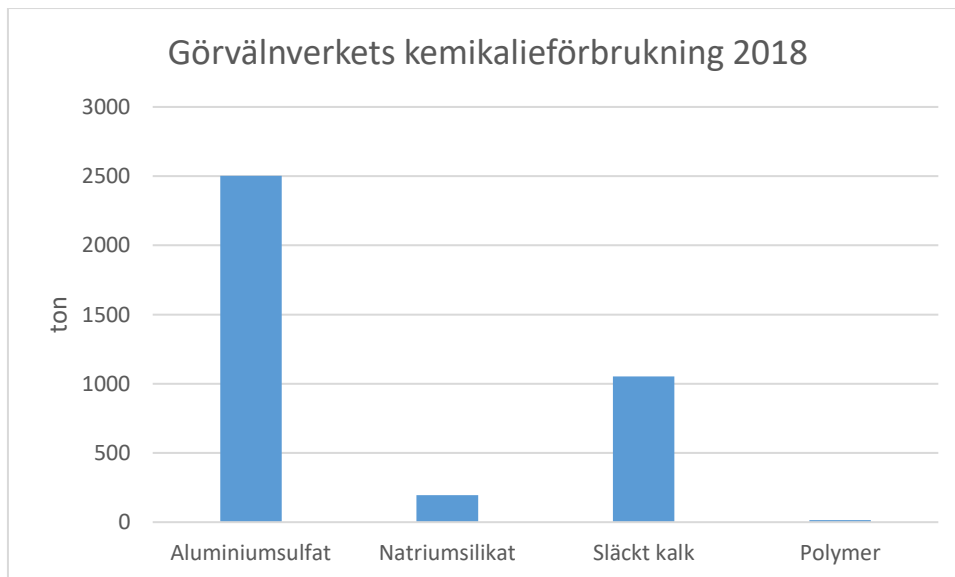
Figur 7. Årlig energiförbrukning för produktion av dricksvatten på Görvålverket. För processen bestående av nanofilter ingår den energi som krävs för att producera lika mycket vatten som Görvålverket gjorde år 2018.



Figur 8. Antal kWh/m³ producerat dricksvatten för Görvälverket respektive vid process med nanofilter.

4.2 Kemikalier

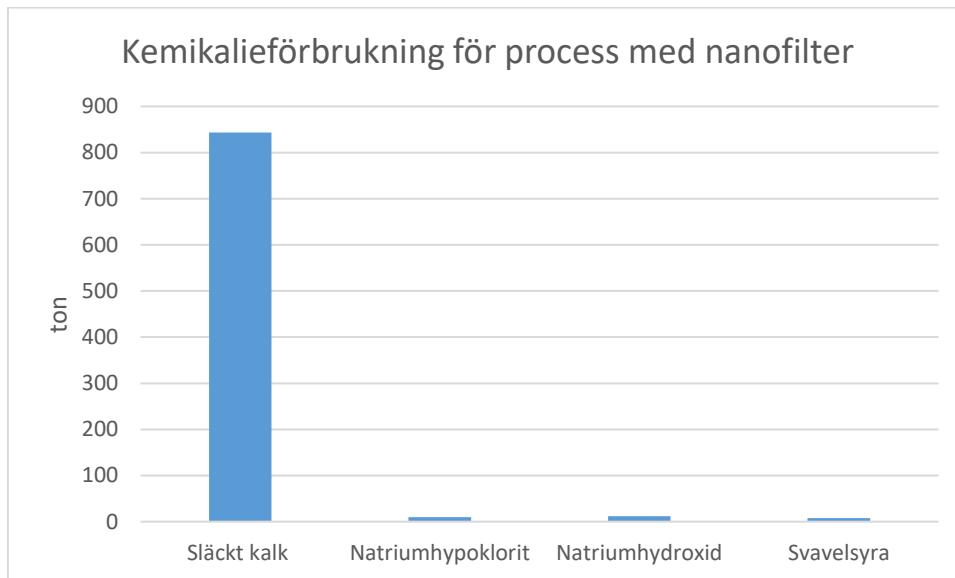
Användningen av kemikalier vid produktionen av dricksvattnet bestod främst av fällningskemikalien aluminiumsulfat följt av släckt kalk. Kemikalierna nedan skiljer sig från tabell 1, som sammanfattade kemikalier utifrån processbeskrivningen. Pulverisat och granulerat aktivt kol har uteslutits som följd av att de inte byts efter bestämd period. Monokloramin anses vara konstant mellan de två processerna och ingår därmed inte i jämförelsen. Figur 9 visar årsförbrukningen av kemikalier i stapelform.



Figur 9. Görvälverkets främsta kemikalieförbrukning enligt årsrapport 2018.

För processen med nanofilter ingår inte längre aluminiumsulfat. Istället utgörs den största förbrukningen av släckt kalk. Resterande kemikalier utgörs av tvättkemikalier till nanofilter.

Figur 10 visar uppskattad kemikalieförbrukning för ett års drift vid samma mängd producerat dricksvatten som år 2018.



Figur 10. Uppskattad kemikalieförbrukning för process med nanofilter.

4.3 Transporter

Transportsträcka för kemikalier och slam från distributör till Görvålverket har sammanfattats i tabell 4. Transportsträckorna är beräknade i tur och retur.

Tabell 4. Transportsträckor för produkter till Görvålverkets nuvarande process samt processen med nanofilter.

Produkt	Distributör	Transportsträcka [km]
Aluminiumsulfat	Kemira	1164
Natriumsilikat	Sibelco Nordics	996
Släckt kalk	Nordkalk	310
Natriumhypoklorit	Kemira	1164
Natriumhydroxid	Kemira	1164
Svavelsyra	Kemira	1164
Polymer	Kemira	1164
Kvittblivning slam	Ragnsells	172

4.4 Nyckeltal för kemikalier

Nyckeltal för utsläppsfaktorer i form av koldioxidavtryck för de kemikalier som ingår i inventeringen presenteras i kommande underkapitel. Förutsättningar som produktionsmetod av respektive kemikalie beskrivs om information angivits av referensen.

4.4.1 Aluminiumsulfat

Data för aluminiumsulfat innebär produktion genom Giulini-processen och avser produkt i vattenfri puderform. Granulation av produkten beaktades inte.

Koldioxidavtrycket för aluminiumsulfat enligt europeisk produktion är 0,597 kg CO₂e/kg produkt (RISE, 2020a).

4.4.2 Natriumsilikat

Data för natriumsilikat har hämtats från Jutterström (2015), som utförde en liknande undersökning hos Norrvatten.

Koldioxidavtrycket för natriumsilikat är 0,849 kg CO₂e/kg produkt (Jutterström, 2015).

4.4.3 Släckt kalk

Data för släckt kalk baseras på de vanligaste produktionsmetoderna i Tyskland. I processen ingår produktion av kalciumoxid CaO, samt hydrering till kalciumhydroxid Ca(OH)₂.

Koldioxidavtrycket för släckt kalk är enligt produktion i Tyskland 0,918 kg CO₂e/kg produkt (RISE, 2020b).

4.4.4 Natriumhypoklorit

Data för natriumhypoklorit baseras på produktion av hypoklorit genom klorutsläpp fångat i 50 % natriumhydroxidlösning.

Koldioxidavtrycket för natriumhypoklorit är enligt produktion i Europa 2,25 kg CO₂e/kg produkt (RISE, 2020a).

4.4.5 Natriumhydroxid

Data för natriumhydroxid baseras på de vanligaste produktionsmetoderna inom Europa.

Koldioxidavtrycket för natriumhydroxid är enligt genomsnittliga värden för Europa 0,954 kg CO₂e/kg produkt (RISE, 2020b).

4.4.6 Svavelsyra

Data för svavelsyra baseras på produktion inom Europa med aktuell teknik.

Koldioxidavtrycket för svavelsyra är enligt Europeisk produktion 0,082 kg CO₂e/kg produkt (RISE, 2020b).

4.4.7 Polymer

Data för den polymer som används vid avvattning av slam avser produktion i England.

Koldioxidavtrycket för polymer är 4,2 kg CO₂e/kg produkt (Kemira, 2012).

4.5 Nyckeltal för energi

Nyckeltal för utsläppsfaktorer i form av koldioxidavtryck av de olika ursprung till elektricitet har sammanfattats i tabell 5. Koldioxidavtrycken är hämtade från Vattenfalls miljövarudeklarationer för respektive ursprung av energi.

Tabell 5. Sammanfattning av koldioxidavtryck för producerad och distribuerad elektricitet.

Elektricitet efter ursprung	Koldioxidavtryck [g/kWh]	Referens
Kärnkraft	6	Vattenfall 2018a
Vattenkraft	10,5	Vattenfall 2018b
Vindkraft	18	Vattenfall 2016

4.6 Nyckeltal för transporter

Nyckeltal för utsläppsfaktorer i form av koldioxidavtryck för transporter avser koldioxidavtryck/ 1 km körsträcka utifrån vald fordonstyp. Avtrycket inkluderar utsläpp från drivmedlet.

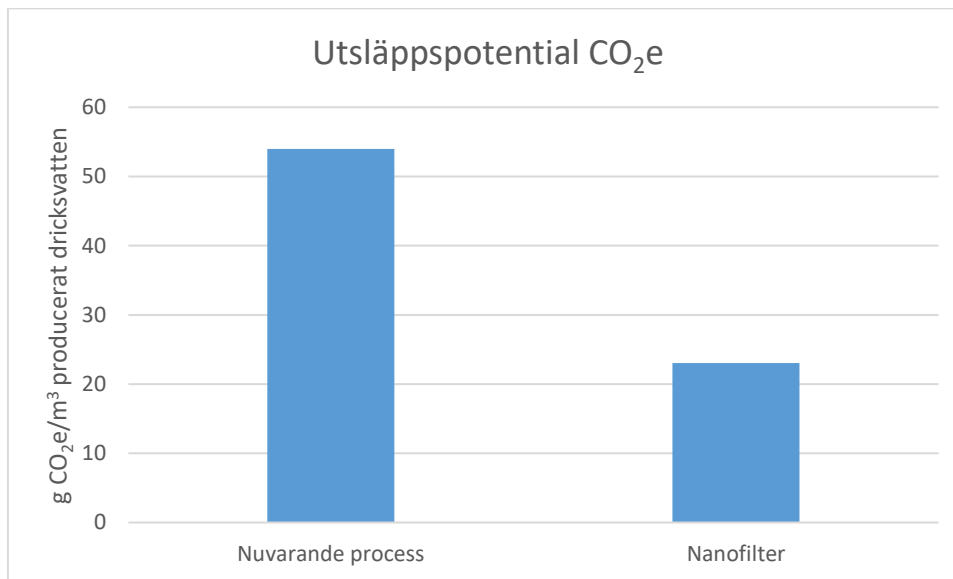
Koldioxidavtrycket för lätt lastbil med diesel är 0,181 CO₂e/km och 0,753 CO₂e/km för tung lastbil (Naturvårdsverket, 2019).

5 Resultat

Resultatet för beräkningar som krävs för att besvara arbetets frågeställningar presenteras nedan. Vidare visas resultatet av känslighetsanalysen med avseende på elektricitetens ursprung, samt hur olika faktorer påverkar resultatet av processen med nanofilter.

5.1 Jämförelse i koldioxidavtryck mellan undersökta processer

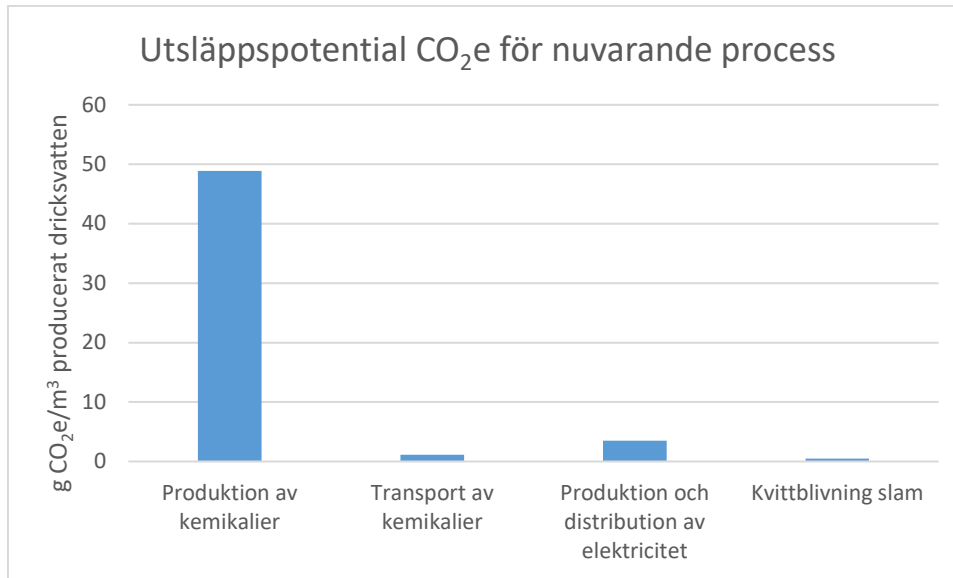
En jämförelse mellan Görvålverkets nuvarande process och en eventuell process med nanofilter redovisas i figur 11. Av de faktorer som undersökts för de två processerna i figuren står den nuvarande processen för den största utsläppspotentialen.



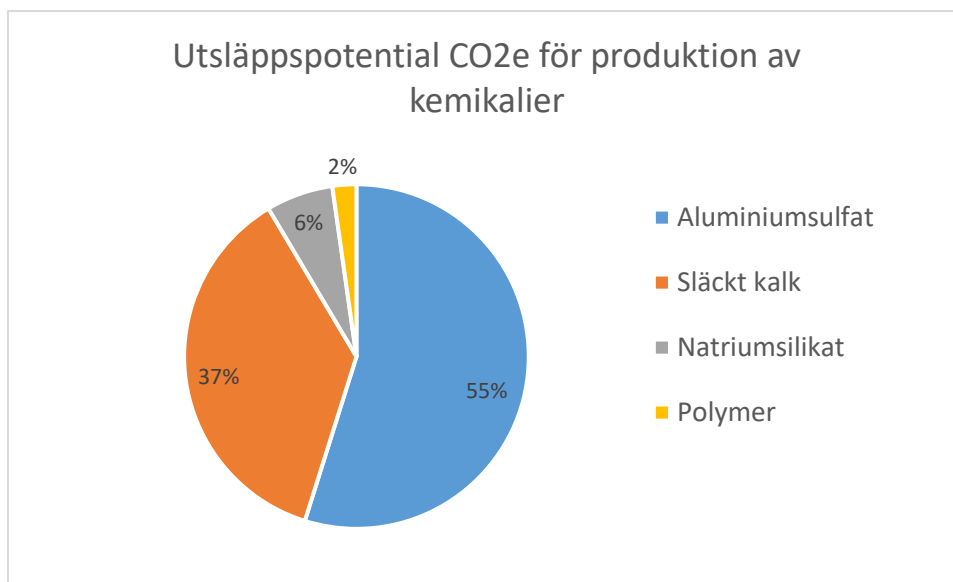
Figur 11. Resultatet av jämförelsen mellan undersökta processer. Staplarna visar utsläppspotential i gram CO₂e för varje m³ producerat dricksvatten.

5.2 Resultat för Görvålverkets nuvarande process

Utsläppspotentialen av CO₂e för Görvålverkets nuvarande process belastas överlägset av produktion av kemikalier. Figur 12 visar de olika faktorerna som undersökts vid drift av verket. Slutligen redovisas belastningen av de olika kemikalierna som ingått i undersökningen i figur 13.



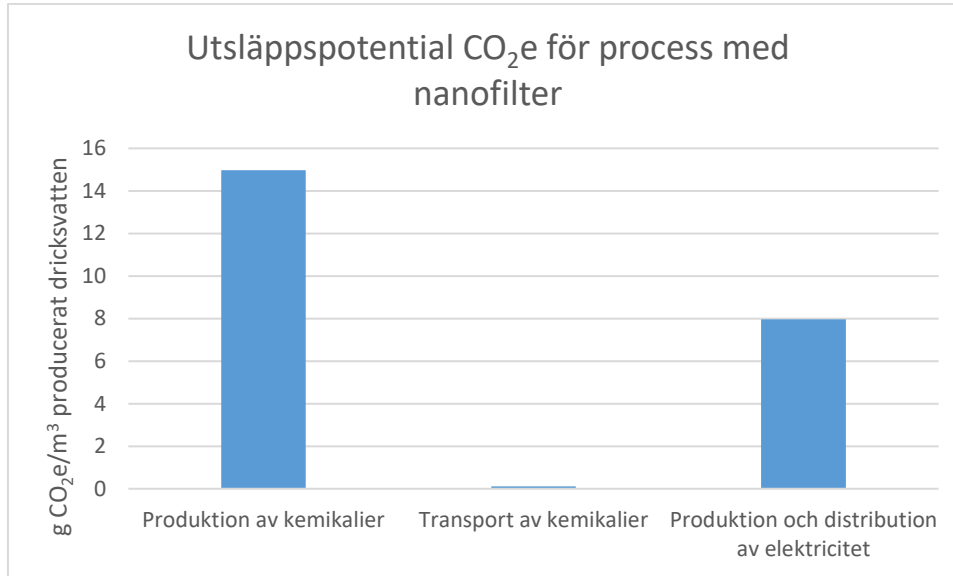
Figur 12. Resultat för beräkning av utsläppspotentialer i gram CO₂e per m³ producerat dricksvatten vid Görvälnverkets nuvarande process utifrån undersökta faktorer.



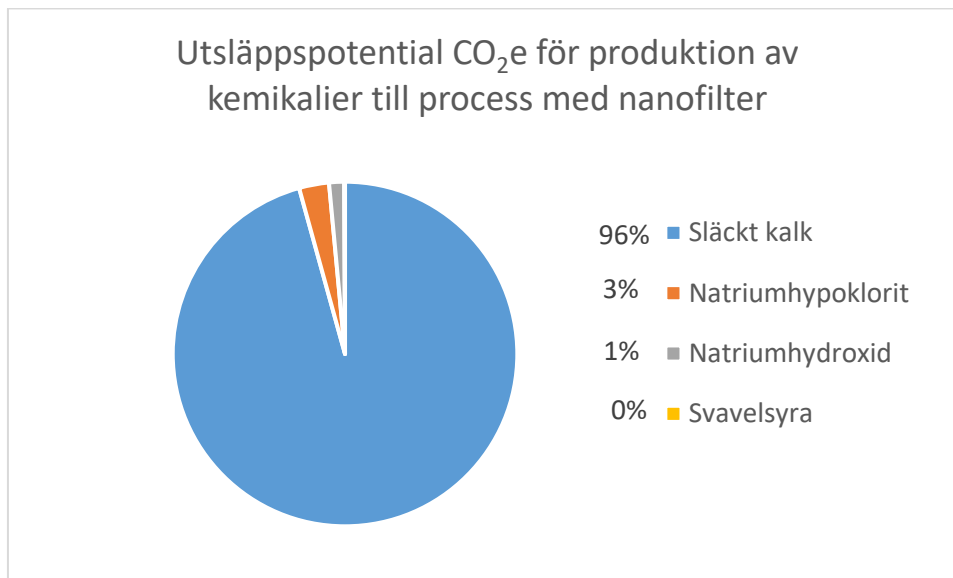
Figur 13. Cirkeldiagram med procentuell utsläppspotential i CO₂e för produktion av kemikalier. Diagrammet visar att aluminiumsulfat utgör störst utsläppspotential, följt av släckt kalk.

5.3 Resultat för process med nanofilter

Utsläppspotentialen av CO₂e för processen med nanofilter redovisas i figur 14. Figuren visar att produktionen av kemikalier fortfarande utgör största delen av utsläppspotentialen, som vidare redovisas i figur 15.



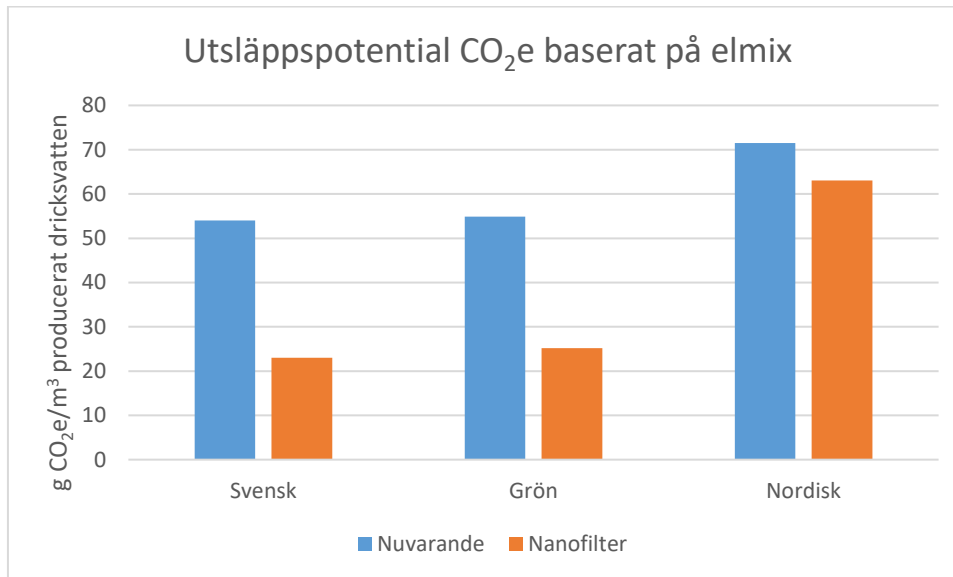
Figur 14. Utsläppspotential av CO₂e för processen med nanofilter.



Figur 15. Utsläppspotential för produktion av de olika kemikalierna som ingår i processen med nanofilter.

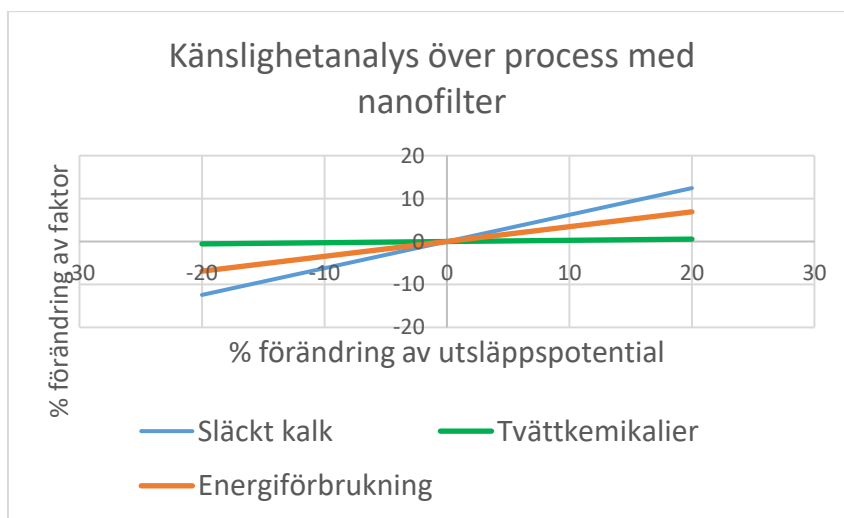
5.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys utfördes för att redovisa hur ursprunget av elektricitet påverkar resultatet för utsläppspotentialen mellan de två processerna. Figur 16 visar känslighetsanalysen, där svensk elmix jämförs med grön elmix och nordisk elmix. Resultatet visar att den nuvarande processen har störst utsläppspotential för alla ursprung av elektricitet. Ett jämnare läge för de två processerna börjar närma sig vid användning av nordisk elmix.



Figur 16. Resultat från känslighetsanalys där utsläppspotential jämfördes för olika ursprung av elektricitet.

Utöver detta utfördes en känslighetsanalys av utsläppspotentialen för processen med nanofilter. I analysen varierades mängden släckt kalk, tvättkemikalier och energiåtgång för processen för att redogöra dess påverkan på utsläppspotentialen av CO₂e. Figur 17 visar analysen, vars mest påverkande faktor är produktionen av släckt kalk.



Figur 17. Känslighetsanalys över process med nanofilter med tre faktorer. Förändring av en faktor påvisar hur stor förändring i procent av utsläppspotentialen av CO₂e skulle medföra.

6 Diskussion

Diskussionskapitlet behandlar frågor kring osäkerheter i data och resultat, dels utifrån gjorda antaganden, men även utifrån användning av livscykelanalys som metod.

6.1 Resultat av koldioxidavtryck

Arbetet har tillämpat livscykelanalys som metod för att jämföra miljöpåverkan i form av koldioxidavtryck hos Görvålverket vid införandet av nanofilter i processen. Metodens avgränsningar innebär att delar av processen som inte påverkas vid införandet inte heller behöver beräknas. Således kan resultatet inte ses som Görvålverkets miljöpåverkan i sin helhet, utan fungerar främst som jämförelse mellan de två processerna. Den energi, samt kemikalieförbrukning som inte ingår i arbetet, förväntas dock utgöra en väldigt liten belastning i jämförelse med det som faktiskt beräknats.

Görvålverkets nuvarande utsläppspotential av dricksvatten uppskattades till ca 54 g CO_{2e}/m³ år 2018. Siffran är något högre än det resultat som presenterades i arbetet av Jutteström (2015), trots att författaren istället beräknade koldioxidavtrycket för hela verksamheten. Mängden dricksvatten som Görvålverket producerar har sedan dess ökat från 44,5 miljoner m³ till över 54 miljoner m³, vilket medför ökad förbrukning av bland annat energi och kemikalier.

I jämförelse uppskattades utsläppspotentialen för en process med nanofilter vara ca 23 g CO_{2e}/m³. Processen med nanofilter medför en ökning av energiuttag på 130%. Den ökade energiförbrukningen utgör dock endast en mindre förändring av utsläppspotentialen. Dessutom medför den ökade energiförbrukning att en konflikt uppstår för Norrvattens uppsatta målvärde i hållbarhet och resursoptimering. Målvärdet innebär en strävan att elanvändningen totalt ska vara mindre än 0,4 kWh/m³ producerat dricksvatten. För denna process är elanvändningen 0,96 kWh/m³, men kan totalt sett ha en lägre miljöpåverkan med avseende på CO_{2e}/m³. Detta beror främst på att produktionen av elektricitet i Sverige har en låg miljöpåverkan. Hur mycket detta påverkar resultatet har redovisats i känslighetsanalysen om ursprunget av energi.

De två processernas utsläppspotential i förhållande till varandra visar att nanofilter är mindre än hälften av det för den nuvarande processen vid Görvålverket. Anledningen till det här är främst att användningen av aluminiumsulfat som fällningskemilie upphör om nanofilter används. Aluminiumsulfat är den kemikalie som utgör störst belastning i den nuvarande processen. Processen med nanofilter förbrukar också kemikalier för tvättning av membranen, vilket görs för att motverka fouling. Dessa kemikalier är dock av oerhört små mängder, i jämförelse med aluminiumsulfat. Användning av nanofilter innebär också att ett slam inte bildas på samma sätt som vid kemisk fällning. Även om lika mycket slam skulle bildas som vid Görvålverkets nuvarande process, skulle utsläppspotentialen för nanofilter endast öka med 1,5 g CO_{2e}/m³.

Avslutningsvis kan resultatet relateras till olika utsläpp i samhället. Sveriges totala utsläpp av CO_{2e} var 2019 ca 49,2 miljoner ton (Naturvårdsverket, 2019b). Görvålverkets utsläpp vid drift av den nuvarande processen bidrar med strax under 2920 ton CO_{2e} och 1250 ton CO_{2e} för nanofilter. En genomsnittlig person i Sverige förbrukar ca 140 liter vatten per dygn (Svenskt Vatten, 2019). Om detta vatten produceras vid Görvålverket skulle en genomsnittlig persons utsläpp av CO_{2e} vara 2,8 kg per år, och 1,2 kg för nanofilter.

6.2 Utformning av fullskaleprocess med nanofilter

Den fullskaleprocess som tagits fram av SVU (2015) innebär endast en av många möjliga konfigurationer. Den utformade processen har prioriterats utifrån designkriterier med fokus på permeatkvalitet, permatutbyte och driftkostnader, i den ordningen. En total retention av 80% naturligt organiskt material, baserad på UV₂₅₄ har möjlighet att ge en god kvalitet på dricksvattnet, men så hög retention är inte ett kvalitetskrav i dagsläget. För att göra jämförelsen rättvis skulle den behöva utföras utifrån ett perspektiv med multipla kriterier. Om analysen sträcker sig över en längre tidsperiod kommer även utbyte av membran att spela en större roll. Vid en tidigare studie av Lidén & Persson (2016) uppskattades dessa byten till 6 g CO₂e/m³ med en livslängd på 5-7 år.

6.3 Livscykelanalys som metod

Användningen av livscykelanalys som metod har begränsningar. Viktigt att komma ihåg är att livscykelanalys endast kan uppskatta en potentiell miljöpåverkan. I detta arbete har endast en miljöpåverkanskategori använts. Risken med detta kan vara att andra områden bortses från, eller inte uppmärksammas. Fördelen med global uppvärmningspotential som kategori är att den är lätt att relatera till, och ett mått som tillämpats på många sektorer i samhället.

Vidare utgörs ofta data av medelvärden utifrån olika geografiska kontexter, samt att osäkerheten av dessa sällan anges. Livscykelanalysens resultat har därmed stor möjlighet att variera beroende på val av databas, regionala kontexter och avgränsningar i system.

Detta arbete har använt data från produktion av kemikalier i Europa, vars teknik och metod ansetts likvärdiga en svensk tillverkning (RISE, 2020a, 2020b).

6.4 Osäkerhet utifrån gjorda antaganden

Under arbetets gång gjordes flera antaganden som kan ha bidragit till osäkerhet i resultatet.

Vid beräkning av transporters utläppspotential användes Naturvårdsverkets verktyg för olika typer av transportfordon. Verktöget tar därmed endast hänsyn till fordonstyp och bränslekälla, men inte lastens vikt, vilket skapar viss osäkerhet i beräkningar.

Data angående en fullskalig process med nanofilter är teoretisk, i jämförelse med den data som uppmätts vid Görvälnverket. Det kan därmed finnas osäkerheter vid beräkningar av förbrukning av kemikalier och energi i processen som skulle påverka resultatet.

I arbetet har energiproduktion från ett vindkraftverk som Görvälnverket äger exkluderats i jämförelsen. Detta har en gedigen påverkan på resultatet, men exkluderingen kan samtidigt göra resultatet lättare att jämföra för andra verksamheter.

6.5 Norrvattens framtida vattenverk

Arbetets jämförelse av de två processerna belyser skillnaden i miljöpåverkan utifrån deras främst förbrukade resurser, nämligen kemikalier kontra energi. Det kan därmed argumenteras för att en ökad energiförbrukning är bättre för miljön än förbrukning av kemikalier, då energin kan

produceras via förnybara metoder. De fällningskemikalier som används vid vattenverk som producerar dricksvatten bildar avfall i form av slam. Om slam kan användas beror på delvis på dess innehåll i form av näringsämnen, som då kan återförs åkermarker. Däremot kan detta ses som kostsamt då det innebär många transporter av slam med högt vatteninnehåll.

7 Slutsats

Jämförelsen visar att införandet av nanofilter i Görvålverkets dricksvattenproduktion kan medföra en lägre miljöpåverkan. Görvålverkets nuvarande process har en utsläppspotential på ca 54 g CO₂e/m³, medan en process med nanofilter ligger på ca 23 g CO₂e/m³.

De främst belastande stegen i verkets nuvarande process är produktionen av aluminiumsulfat och släckt kalk, varpå en av dessa kan uteslutas vid omställning till nanofilter. Den låga miljöpåverkan vid användning av nanofilter beror främst på att energin som produceras i Sverige har en låg miljöpåverkan.

Ytterligare kan det konstateras att avskiljningen av naturligt organiskt material är överlägsen vid användning av nanofilter. Denna nya teknik besitter en gedigen förmåga att förbättra kvaliteten på dricksvattnet, jämfört med den teknik som konventionella vattenverk utnyttjar idag.

8 Förslag på vidare studier

Utifrån arbetets resultat har förslag på vidare studier formulerats:

- Att utvärdera flera olika processutformningar av nanofilter
- Utföra multikriterianalys där både ekonomiska- och hälsoperspektiv finns för införandet vid nanofilter till dricksvattenproduktion

9 Referenser

- Baumann, H., & Tillman, A-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment and application*. Studentlitteratur AB: Lund.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau, B., & Jedrzejak, S. (2012). Comparative life cycle assessment of water treatment plants. *Desalination*, 284, 42-54. doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.035.
- Energirådgivningen. (u.å). Miljöpåverkan från el. Hämtad 2020-05-05 från <https://energiradgivningen.se/klimat/miljopaverkan-fran-el>
- GHG Protocols. (2016). Global Warming Potential Values. Hämtad 2020-05-25 från https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf
- Jutterström, S. (2015). *Klimatpåverkan från dricksvatten – Beräkningsmodell för Norrvattens koldioxidavtryck*. Masteruppsats, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:844852/FULLTEXT01.pdf>
- Lidén A., & Persson, M. (2016). Feasibility Study of Advanced NOM-Reduction by Hollow Fiber Ultrafiltration and Nanofiltration at a Swedish Surface Water Treatment Plant. *Water*, 2016, (8), 150. doi:10.3390/w8040150
- Livsmedelsverket. (2018). Riktvärden och åtgärdsgränser för vissa ämnen. Hämtad 2020-05-25 från <http://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/381/riktvarden-och-atgardsgranser-for-vissa-amnen>
- Naturvårdsverket. (2019a). Beräkna dina klimatutsläpp. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-klimatutslapp/>
- Naturvårdsverket. (2019b). Kvartals- och preliminära årsvisa växthusgasutsläpp. Hämtad 2020-06-02 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Kvartals--och-preliminara-arsvisa-vaxthusgasutslapp/>
- Norrvatten. (2017). *Strategisk plan – Norrvatten 2026*. Hämtad från https://www.norrvatten.se/globalassets/documents/strategisk-plan_webb_tillg.pdf
- Norrvatten. (2018). Årsrapport Görvälnverket.
- Norrvatten. (2020). *Årsredovisning 2019*. Hämtad från https://www.norrvatten.se/contentassets/84d040b3beab45c6b64d5fcfa2201e52/norrvatten_arsredovisning_2019_webb.pdf
- Norrvatten. (u.å). Reningsprocessen. Hämtad 2020-04-30 från <https://www.norrvatten.se/Dricksvatten/Produktion-av-vatten/Reningsprocessen/>
- Pentair. (2019). *Technical Bulletin – Nanofiltration Color removal package – technology overview*.
- Pentair. (u.å). X-Flow HFW1000. Hämtad 2020-05-01 från <https://xflow.pentair.com/en/products/hfw1000>

Ribera, G., Clarens, F., Martínez-Lladó, X., Jubany, I., Martí, V., & Rovira, M. (2014). Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants. *Science of The Total Environment*, 466–467, 377–386. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.085.

RISE. (2020a). Miljöbelastning från produktion av kemikalier.

RISE. (2020b). Miljöbelastning från produktion av kemikalier.

Svenskt Vatten. (2019). Dricksvattenfakta. Hämtad 2020-06-12 från <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/>

Svensk Vatten Utveckling. (2015). *GenoMembran: Slutrapport från projekt 2012-2015*. 2015-20. Hämtad från http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2015-20.pdf

Vattenfall. (2016). *Miljödeklaration EDP Vind: Sammanfattning av EDP för el från Vattenfalls nordiska vindkraftverk*. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.vattenfall.se/49aa1c/globalassets/foretag/miljo/miljovarudeklaration-epd-vindkraft2.pdf>

Vattenfall. (2018a). *Miljödeklaration EDP: Sammanfattning av EDP för el från Vattenfalls kärnkraftverk (Ringhals och Forsmark)*. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.vattenfall.se/48f2f1/globalassets/foretag/miljo/miljovarudeklaration-epd-karnkraft.pdf>

Vattenfall. (2018b). *Miljödeklaration EDP: Sammanfattning av EDP för el från Vattenfalls vattenkraft*. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.vattenfall.se/48f2f1/globalassets/foretag/miljo/miljovarudeklaration-epd-vattenkraft.pdf>

Vattenfall. (2019). Elens ursprung. Hämtad 2020-05-05 från <https://www.vattenfall.se/elavtal/energikallor/elens-ursprung/>

Venkatesh, G., & Brattebø, H. (2012). Environmental analysis of chemicals and energy consumption in water treatment plants: case study of Oslo, Norway. *Water Science & Technology*, (12.2). doi: 10.2166/ws.2012.127

Wallén, E. (1999). *Livscykelanalys av dricksvatten – en studie av ett vattenverk i Göteborg*. Masteruppsats, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/43404/43404.pdf>

Bilaga A. Inventering av Görvålverket 2018

Bilaga A visar den inventering av förbrukade kemikalier, energiförbrukning och transporter enligt Görvålverkets årsrapport 2018.

Kemikalier		Antal transporter
Aluminiumsulfat	2503115 kg	60
Släckt kalk	1053991 kg	30
Natriumsilikat	195764 kg	9
Polymer	14126 kg	2
Monokloramin*	32791 kg	-
Avfall		
Kvittblivning slam	7702423 kg	193
Produktion		-
Producerat dricksvatten	54030535 m ³	
Energi		-
Elanvändning	22668470 kWh	

*Ingick inte i jämförelse. Se information om avgränsningar.

Bilaga B. Inventering av process med nanofilter

Inventeringen i denna bilaga har skett under förutsättningen att lika mycket vatten produceras som Görvånverket gjorde år 2018.

Kemikalier		Antal transporter
Släckt kalk	843193 kg	19
Natriumhypoklorit	10093 kg	2
Natriumhydroxid	11956 kg	2
Svavelsyra	7701 kg	2
Monokloramin*	32791 kg	-
Produktion		-
Dricksvatten	54030535 m ³	
Energi		-
Elanvändning	51844959 kWh	

*Ingick inte i jämförelse. Se information om avgränsningar.

Bilaga C. Resultat av utsläppspotential

Denna bilaga visar resultat för beräkning av utsläppspotential utifrån miljöeffektkategorin global uppvärmningspotential (GWP). Enheten är beräknad utifrån den valda funktionella enheten 1 m³ producerat dricksvatten.

Görvälnverket 2018, nuvarande process	
Produkten av kemikalier	kg CO₂e/m³
Aluminiumsulfat	0,02682
Släckt kalk	0,01791
Natriumsilikat	0,00308
Polymer	0,0011
Monokloramin	-
Transporter	
Kemikalier	0,001135
Slam	0,000463
Energi	
Elanvändning	0,00348
Totalt, avrundat	0,0540
Process med nanofilter	
Kemikalier	kg CO₂e/m³
Släckt kalk	0,01433
Natriumhypoklorit	0,000423
Natriumhydroxid	0,0002111
Svavelsyra	0,0000116785
Monokloramin	-
Transporter	
Kemikalier	0,00010662
Energi	
Elanvändning	0,007958
Totalt, avrundat	0,0230