

Livscykelanalys av dricksvatten

- en studie av ett vattenverk i Göteborg

ERIKA WALLÈN

Teknisk Miljöplanering
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden 1999

ISSN 1400-9560

Examensarbete 1999:3

Förord

Handledare för examensarbetet har varit Margareta Lundin, Teknisk miljöplanering, Chalmers och Olof Bergstedt, va-verket i Göteborg.

Examinator har varit Ann-Marie Tillman, Teknisk miljöplanering, Chalmers.

Jag vill tacka alla inblandade för det stöd som jag fått under projektets gång.

Sammanfattning

Miljöpåverkan från tillverkning och distribution av dricksvatten har utvärderats med livscykelanalys (LCA). Studien är en fallstudie som har utförts på Lackarebäckverket i Göteborg. Syftet med studien har varit att sammanställa data för ett konventionellt vattenverk samt att identifiera de mest miljöpåverkande stegen vid tillverkning av dricksvatten.

Det undersökta systemet börjar med råvattnets uttag och följer sedan vattnets väg genom vattenverk och ledningsnät fram till konsument. Systemet är uppdelat i kemikalieproduktion, dricksvattenproduktion samt drift och underhåll av nät. Inom kemikalieproduktion undersöks tillverkning och transport av de kemikalier som används för vattenrening. Dricksvattenproduktion innefattar kemikalieförbrukning och energianvändning inom vattenverket. Drift och underhåll av nät behandlar pumpning av vattnet samt underhåll på dricksvattnätet.

I analysen behandlas varken användningen av dricksvattnet, avloppsnätet eller reningsverket.

Livscykelanalysen inkluderar användning av energi och råmaterial, emissioner till luft, vatten och mark. En bedömning av inventeringsresultatet har även gjorts med tre olika viktningmetoder; EPS-, effektkategori- och ekoknapphetsmetoden.

Resultatet visar att störst energianvändning står pumpning av råvatten och dricksvatten för. Eftersom det energislag som används för pumpning är el och beräkningarna är gjorda på svensk genomsnittsel (främst vattenkraft och kärnkraft) blir emissionerna ändå små. Störst emissioner till luft har kemikalieproduktionen, framförallt produktionen av bränd kalk och aluminiumsulfat.

Vad det gäller bedömning av miljöpåverkan från tillverkning av dricksvatten visar sig användbarheten av livscykelanalys vara begränsad eftersom viktiga aspekter för dricksvatten som hälso- och kvalitetsaspekter inte beaktas.

Summary

The environmental load from drinking water treatment and distribution has been evaluated using life cycle assessment (LCA). The study is a case study and was performed at one of the waterworks in Gothenburg, Sweden. There have been two purposes of the study: to collect and present data considering a conventional waterworks and to identify the steps in the production chain that contribute to the highest environmental load.

The evaluated system follows the flow of water from the withdrawal of surface water, through the waterworks and piping system to the consumer. Within the system boundaries the production of chemicals used for water purification is included as well as energy use and maintenance of the drinking water piping system. Neither the usage of drinking water, transport of wastewater or the purification of wastewater is included in the study.

The LCA included the use of energy and raw materials, emissions to air, water and ground. An impact assessment has been carried out using three different impact methods: EPS-, effect category and the ecoscarcity method

The results show that the largest energy requirement is due to the pumping of water. The emissions from the energy use are still small because the Swedish electricity mix has been used, consisting of mainly nuclear and hydropower. Dominating emissions to air arise from the production of chemicals, mainly from production of burnt lime and aluminium sulphate.

The choice of method has its limitations handling the environmental performance of drinking water. Important parameters of the drinking water as quality and sanity are not treated.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1. Projektbeskrivning	1
1.2. Vad är LCA?	1
1.3. Metod - livscykelanalys	2
1.3.1. Mål och omfattning	2
1.3.2. Inventering	3
1.3.3. Beskrivning av miljöpåverkan	4
1.3.4. Resultattolkning	5
1.4. Litteraturstudie	5
2. Dricksvattenbehandling.....	7
2.1. Kemi vid behandling av dricksvatten	7
2.1.1. Kemisk fällning	7
2.1.2. Alkalisering	7
2.1.3. Alkalinitet och hårdhet	7
2.1.4. Desinfektion	8
2.2. Krav på dricksvatten	8
2.2.1. Krav från Livsmedelsverket	9
2.2.2. Krav från avloppsreningsverket och Naturvårdsverket	11
3. Fallstudie.....	12
3.1. Mål och omfattning	12
3.1.1. Syfte	12
3.1.2. Funktionell enhet	12
3.1.3. Systemgränser	12
3.1.3.1. Avgränsningar i tiden	15
3.1.3.2. Geografiska avgränsningar	15
3.1.4. Datakvalitet	15
3.1.5. Inventeringsparametrar	15
3.1.6. Värderingsmetoder	16
3.1.7. Beräkningar	16
3.2. Teknisk beskrivning av systemet	17
3.2.1. Råvattnet	17
3.2.2. Lackarebäck	18
3.2.3. Distribution av dricksvatten till konsument	20
3.2.4. Energianvändning i hushållet	21
3.3. Inventering	22
3.3.1. Kemikalieproduktion	22
3.3.1.1. Kalk	23
3.3.1.2. Aluminiumsulfat	24
3.3.1.3. Koldioxid	26
3.3.1.4. Lut och klor	27
3.3.1.5. Natriumklorit	27
3.3.1.6. Aktivt kol	28
3.3.2. Dricksvattenproduktion	30

3.3.2.1. Kemikalieförbrukning	30
3.3.2.2. Energianvändning	30
3.3.3. <i>Dricksvattennät</i>	32
3.3.3.1. Drift av dricksvattennät	32
3.3.3.2. Underhåll av dricksvattennät	35
3.3.3.2.1. <i>Produktion av underhållsmaterial</i>	35
3.3.3.2.2. <i>Underhållsarbete</i>	37
4. Inventeringsresultat.....	39
4.1. Redovisning inventeringsresultat	39
4.2. Användning av energi	40
4.3. Emissioner till luft	43
4.4. Övriga emissioner	46
4.5. Resursförbrukning	46
4.6. Sammanfattning inventeringsresultat	47
5. Värdering.....	48
5.1. EPS-metoden	48
5.2. Effektkategorimetoden	49
5.3. Ekknapphetsmetoden	49
5.4. Jämförelse av resultatet med olika värderingsmetoder	50
6. Diskussion.....	51
6.1. Tillverkning	51
6.2. Distribution	51
6.3. LCA	52
6.4. Systemgränser	52
6.5. Värderingsmetoder	53
6.6. Förbättringsanalys	54
6.7. Valet av studie och förslag till utvidgad analys	54
7. Slutsats.....	55
8. Referenser.....	56

Bilaga

Bilaga A:	Inventeringsdata
Bilaga B:	Transportdata och emissionsfaktorer
Bilaga C:	Värderingsindex och resultat vid värdering
Bilaga D:	Inventeringsresultat

1. Inledning

1.1. Projektbeskrivning

Studien är ett examensarbete utfört vid civilingenjörsprogrammet, kemiteknik, på Chalmers tekniska högskola.Handledning har skett i samarbete mellan Göteborgs va-verk och avdelningen för Teknisk miljöplanering, Chalmers.

Syftet med studien har varit att undersöka miljöpåverkan från dricksvattenförsörjningen vid Göteborgs va-verk, dels för att identifiera de mest miljöpåverkande stegen och dels för att sammanställa data. Metoden som använts för undersökning av miljöpåverkan är livscykelanalys, LCA.

1.2. Vad är LCA?

Livscykelanalys, LCA, är en metod för att undersöka miljöpåverkan av en produkt, tjänst eller process. Genom att följa produktens livscykel ”från vaggan till graven” kan dess totala miljöpåverkan undersökas och utvärderas, från råvaruuttag över framställning och användning till slutförvaring, deponi eller återvinning. Målet är att så fullständigt som möjligt ge en bild av hur produktens hela livscykel kommer att påverka omgivningen. Resultatet kan redovisas i olika miljöpåverkanskategorier som exempelvis försurning, övergödning eller mänsklig hälsa [Lindfors et al (1995)].

LCA kan användas dels som en jämförande studie mellan olika produkter eller produktionssystem, dels för att undersöka miljöpåverkan av en produkt eller ett system. Vid jämförelse av produkter som tillgodoser liknande behov kan LCA vara ett bra redskap för att undersöka och hitta den produkt med minst miljöpåverkan. Exempel på jämförande studier som gjorts i Sverige är studien ”Miljön och förpackningarna” i vilken olika förpackningsmaterial undersökts [Tillman et al (1991)] samt en studie i vilken man tittat på olika tillverkare och leverantörer av ketchup [Andersson (1998)]. Då en LCA utförs för endast en produkt kan det antingen vara för att identifiera de mest miljöpåverkande delstegen i cykeln eller de dominanta påverkanskategorierna; att hitta så kallade ”hot spots”. En ”hot spot” kan även innebära identifiering av en viktig kunskapslucka. Vad som ligger nära till hands efter identifiering av ”hot spots” är att göra en förbättringsanalys i vilken alternativ utvärderas för att ersätta de steg som har kopplats ihop med en stor miljöpåverkan. Viktigt att komma ihåg är att en LCA i någon mening alltid är jämförande, då resultatet från miljöpåverkansbeskrivningen inte kan betraktas som exakt, utan relativt något annat.

Det är inte nödvändigt att följa produkten ända till ”graven”; ibland kan användarledet vara så komplext att det är svårt att följa produktflödet till slutet på livscykeln. Också sluthantering kan vara svår att behandla på ett korrekt sätt då ofta många alternativ finns; deponi, återvinning, kompostering, förbränning med eller utan energiutvinning. Ett alternativ som gör det möjligt att komma runt dessa svårigheter är att göra en så kallad ”vaggan till grinden” analys, vilket innebär att användarledet och sluthantering inte beaktas; undersökningen tar alltså slut vid produktionsanläggningens grindar.

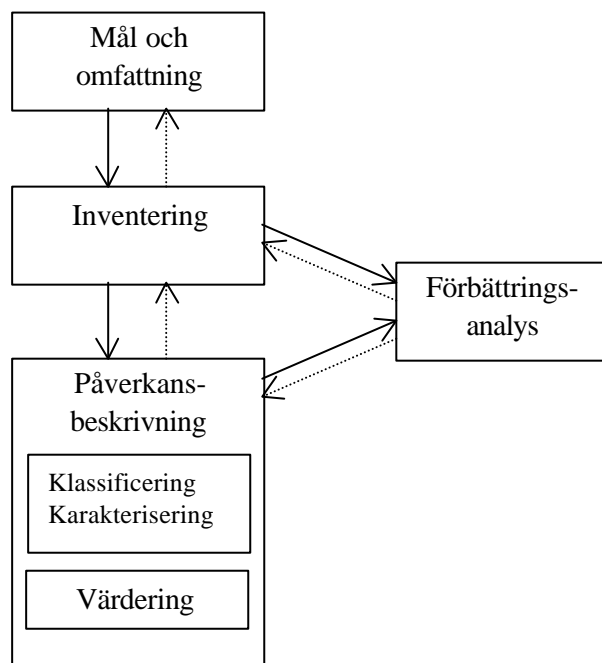
Livscykelanalys är inte en metod som kan ge exakta svar, utan mer riktlinjer för hur en mer hållbar utveckling kan se ut. Antaganden och försummanden måste göras för att förenkla komplexa produktionsvägar till hanterbara system. För att livscykelanalyser i största möjliga mån ska bli

jämförbara nationellt och internationellt pågår ett standardiseringsarbete, exempel på detta är ISO-standarderna 14040 – 14043 [Almgren et al (1996)].

1.3. Metod - livscykelanalys

I en livscykelanalys finns det fyra huvudmoment som är fastlagda enligt SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) och senare ISO (Internationella Standardiseringsorganisationen) [NV (1996)]. Momenten är definition av studiens mål och omfattning, inventering, miljöpåverkansbeskrivning och slutligen tolkning av resultat. Om endast de två första momenten utförs kallas studien livscykelinventering, LCI.

Att utföra en LCA är en iterativ process vilket betyder att vissa steg upprepas till dess att målet är nått. Första steget är att göra en översiktlig LCA i vilken de viktigare delarna av livs cykeln identifieras. I figur 1a redovisas en översiktlig beskrivning av arbetsprocessen i en LCA.



Figur 1a: De olika momenten som innefattas i en LCA. Förbättringsanalysen är frivillig. De streckade pilarna markerar de itereringar som kan bli nödvändiga.

1.3.1. Mål och omfattning

I momentet mål och omfattning ska det klart framgå varför studien utförs. Det måste vara tydligt vilka frågor som ska besvaras, begränsningar och antaganden som kommer att göras och hur resultatet ska användas. En LCA är inte på något sätt generellt giltig, utan anpassas till en specifik målbeskrivning. Resultatet kommer att i hög grad bero på hur målet är formulerat.

Genom fastställandet av målbeskrivningen har systemets funktion definierats. Med funktion menas det behov som en produkt, material eller tjänst uppfyller. För att kunna beskriva funktionen på ett mätbart

sätt införs en funktionell enhet som utgör analysens bas. Det är viktigt att den funktionella enheten tar hänsyn till produktens effektivitet, livslängd och funktionella kvalitetsstandarder. Exempel på en produkts effektivitet kan vara hur väl en färg täcker en yta; tiden det tar innan ytan behöver målas om igen ger ett mått på produktens livslängd; ett visst krav på korrosionsskydd anger produktens funktionella kvalitetsstandard.

Viktigt att tänka på vid fastställande av studiens omfattning är identifiering och fastläggning av systemgränser och databehov. Systemgränser som måste beaktas är dels avgränsningar i produktsystemet och dels gränser i tiden, dvs hur länge resultatet kan anses giltigt. Databehovet och kvaliteten på datamängden är ett viktigt område, där varje ställningstagande måste redovisas.

I mål och omfattning ska även de effektkategorier som kommer att användas i studien bestämmas. Redovisning ska ske dels av de kategorier som valts och hur de kommer att beskrivas, dels av de kategorier som inte inkluderats samt orsaken till att de inte har tagits med. Det finns inte ännu någon standardiserad klassificeringslista för LCA, men i de nordiska riktlinjerna [Lindfors et al (1995)] finns ett förslag till lista på effektkategorier [NV (1996)]. Listan redovisas i figur 1b.

Effektkategorier:

1. *Resurser – Energi och material*
2. *Resurser – Vatten*
3. *Resurser – Mark (inkl. våtmarker)*
4. *Hälsoeffekter – Toxiska effekter (exkl. effekter i arbetsmiljö)*
5. *Hälsoeffekter – Icke toxiska effekter (exkl. effekter i arbetsmiljö)*
6. *Hälsoeffekter i arbetsmiljö*
7. *Växthuseffekten*
8. *Nedbrytning av stratosfäriskt ozon*
9. *Försurning*
10. *Eutrofiering*
11. *Bildning av fotokemiska oxidanter*
12. *Ekotoxiska effekter*
13. *Påverkan av den biologiska mångfalden*
14. *Inflöden som ej har följts tillbaka till "vaggan"*
15. *Utflyden som ej har följts till "graven"*

Figur 1b: Lista över effektkategorier [NV (1996)].

1.3.2. Inventering

Inventeringen utgörs av datainsamlingen samt beräkningsarbetet. Vid datainsamlingen utförs en mer detaljerad beskrivning av produktsystemet. Någon form av känslighets- eller osäkerhetsbedömning bör också genomföras. Det är i inventeringsmomentet som uttag av råmaterial, energianvändning, utsläpp till luft, vatten och mark bokförs och beskrivs genom den funktionella enheten. Viktigt är full transparens; alla antaganden, metodikval och data måste redovisas på den detaljnivå som används i studien.

1.3.3. Beskrivning av miljöpåverkan

Det är i det tredje momentet, beskrivning av miljöpåverkan, som en förenkling och sammanställning av data erhållna från inventeringen utförs. Informationen från inventeringen kan ofta vara komplex och svårarbetad. Genom att beskriva och uppskatta storleken av olika hotbildsbidrag erhålls parametrar som indikerar vad som kan hända i miljöhänseende. Beskrivningen av miljöpåverkan är relativ och potentiell, dvs att jämförelse kan göras mellan olika produktalternativ eller livscykel delar för att bedöma vad som utgör den största faran i miljöpåverkanssammanhang.

Miljöpåverkansbeskrivningen är uppdelad i tre faser; klassificering, karakterisering och värdering. Klassificering och karakterisering är mer faktabaserade, värderingsfasen ett mer värdebaserat moment. I de nordiska riktlinjerna och i ISO-standarden fastslås att en studie endast får kallas LCA om både klassificering och karakterisering ingår.

I klassificeringen sorteras inventeringsdata mellan olika effektkategorier, figur 1b. En viss emission kan bidra till flera kategorier; exempelvis bidrar kväveoxider till både försurning och eutrofiering.

I delsteget karakterisering viktas de olika bidragen under respektive effektkategori samman till ett enda tal. Viktningen görs med hjälp av viktfactorer som uttrycker ämnets relativa bidrag till respektive kategori. Viktigt är att notera var i orsak-verkan kedjan som miljöeffekten mäts. Hotbilder som växthuseffekt och nedbrytning av stratosfäriskt ozon är oberoende av var utsläppen sker och får därmed en global miljöpåverkan, medan eutrofiering och bildning av fotooxidanter är effekter som har störst påverkan i en regional/lokal skala.

Värderingen är en fortsatt summering av olika bidrag till miljöpåverkan. De olika kategoribidragen från karakteriseringen viktas samman till ett eller några få tal. Viktningen sker genom användning av värderingsmetoder. Det finns en mängd olika värderingsmetoder, varav tre har valts ut för närmare beskrivning; nämligen EPS-metoden, effektkategorimetoden och ekoknapphetsmetoden. Gemensamt för alla värderingsmetoder är att höga värden betyder en hög miljöpåverkan.

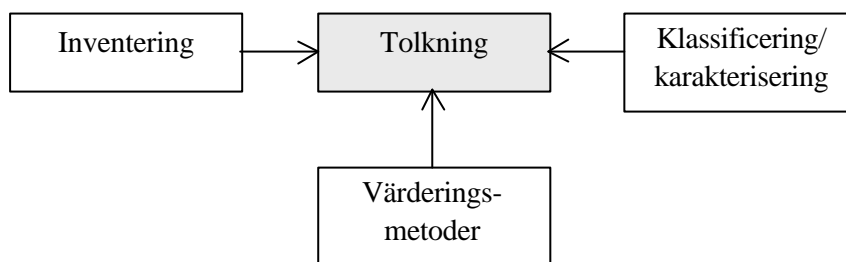
EPS-metoden är en svensk metod och är en förkortning av ”Environmental priority strategies in product design”. Vad metoden utvärderar är hur mycket en genomsnittlig OECD-medborgare är beredd att betala för att förhindra förändringar av fem olika skyddsobjekt. De fem olika skyddsobjekten är biologisk mångfald, människors hälsa, kapacitet för biologisk produktion, icke förnybara resurser samt estetiska och kulturella värden. Resultatet från värderingen erhålls i enheten ELU (Environmental Load Units). EPS-metoden tar hänsyn till både resursanvändning och emissioner vid bedömning av den totala miljöbelastningen [Bengtsson (1998)].

I effektkategorimetoden inordnas miljöbelastningarna i ett begränsat antal olika miljöpåverkans-kategorier eller effektkategorier. Exempel på kategorier är klimatpåverkan, försurning, övergödning och ozonskikt nedbrytning. Olika ämnens påverkan inom respektive kategori bestäms med ekvivalenter. Ett ämne kan ha miljöpåverkan inom flera teman. Resultatet erhålls i enheten ET impact points. ET står för Environmental Theme; på engelska kallas metoden för ”The environmental theme method”. I den svenska varianten finns två sätt att göra viktningen på; antingen med index för ET-kort eller med index för ET-lång. ET-kort bygger på politiska mål inom de olika kategorierna, ET-lång bygger på vilka reduktioner som på sikt skulle bli nödvändiga för att inte överskrida kritiska belastningsgränser i naturen [Bengtsson (1998)].

Ekoknapphetsmetoden utgår från politiska mål framtagna för utsläppsreduktion. Ett ämnes viktningsexponent står i förhållande till hur mycket de aktuella utsläppen av ämnet i fråga överskrider de uppsatta målen. Till skillnad från effektkategorimetoden tilldelas de enskilda ämnena direkt ett index, utan att ta omvägen över effektkategorier [Bengtsson (1998)].

1.3.4. Resultattolkning

Vid resultattolkning i en LCA använder man sig inte enbart av resultatet som kom fram under värderingen, utan i praktiken används resultaten från inventeringen, klassificeringen, karakteriseringen och värderingen parallellt.



Figur 1c: Tolkning av resultaten från en LCA [NV (1996)]

I figur 1c visas tolkningsgången för en livscykelanalys.

1.4. Litteraturstudie

Få studier som undersökt miljöpåverkan från dricksvattenförsörjning har påträffats i litteraturen. De studier som har hittats och som genom LCA undersökt dricksvattenframställning har utförts dels för att identifiera de mest miljöpåverkande stegen inom produktionen och dels för att undersöka vad en minskad konsumtion av dricksvatten ger i termer av miljöpåverkan.

[Jolliet et al (1997)] och [Van Tilburg (1997)] utvärderar förändringar i vattenförsörjningssystem vilka skulle göra det möjligt att minska volymen producerat dricksvatten. Jolliet jämför ett konventionellt vattenförsörjningssystem med två alternativ; dels ett system i vilket uppsamlat regnvatten används som spolvatten till toalett, dels ett system i vilket snålspolande toaletter används. Van Tilburg jämför ett konventionellt vattenförsörjningssystem med ett system i vilket en uppdelning har skett mellan dricksvatten och "hushållsvatten" (icke av dricksvattenkvalitet). Alltså finns det i det sistnämnda fallet två ledningssystem. Både Jolliets och van Tilburgs jämförelser har utvärderats med hjälp av LCA. Även om vi i Sverige normalt sett inte har sådana problem med råvattenförsörjning som i artikelförfattarnas länder Schweiz och Holland, så är problemställningarna intressanta och LCA ett bra redskap för att få en bild av de olika alternativens miljöpåverkan.

Genom att jämföra olika processteg inom dricksvattenreningen med hjälp av LCA kan svar ges på var den största miljöpåverkan sker. [Sombekke et al (1997)] jämför två olika processteg för att avlägsna

färg och hårdhet; ”pellet softening” tillsammans med granulerad aktiv kol jämförs med nanofiltrering. I undersökningen uppställs sju kriterier inom vilka de två alternativen utvärderas med hjälp av en panel. De undersökta kriterierna var kvalitets- och hälsoaspekter, pålitlighet vid drift och underhåll, miljöaspekter, landskap, investeringar och kostnader samt politiskt och socialt gehör. Utvärderingen med LCA användes endast i en av de ovan nämnda kriterierna; nämligen miljöaspekter.

Någon svensk studie som är inriktad enbart på att utföra en LCA på dricksvatten har inte påträffats, men i Ecoguide-projektet [Tillman et al (1996)] ingår dricksvattenproduktion vid Göteborgs va-verk till viss del i det undersökta systemet. Studiens syfte är att jämföra olika avloppshanteringsalternativ; valet kommer i sin tur att påverka dricksvattenproduktionen genom att olika mängder vatten används till toalettpolning. Endast driften har beaktats vad det gäller dricksvattenproduktionen och ingen hänsyn har tagits till de investeringar i form av byggnader, rör med mera som gjorts. Resultatet från studien beträffande dricksvattenreningsbiten visar att energianvändningen inom vattenverket har den största miljöpåverkan. Resultat från avloppssidan i studien visar bl.a. att miljöbelastningen vid tillverkning av produktionsutrustningen är liten i jämförelse med driften av systemet.

2. Dricksvattenbehandling

I det här kapitlet beskrivs en del av de kemiska steg som sker vid reglering av vattenkvaliteten. Problematiken kring de olika krav som ställs på vattenkvaliteten från Livsmedelverket respektive Naturvårdsverket diskuteras.

2.1. Kemi vid behandling av dricksvatten

För att dricksvatten ska uppfylla alla krav enligt dricksvattenkungörelsen [SLV (1993)] måste det vanligtvis genomgå någon form av kemisk behandling. Kemisk fällning är ett vanligt steg i ytvattenrening, liksom alkalisering, hårdhetsreglering och desinfektion. En kort beskrivning ges nedan av de olika metoderna.

2.1.1. Kemisk fällning

Genom kemisk fällning vill man med hjälp av fällningskemikalie bilda flockar som attraherar humusämnen och grumlande partiklar. Aluminiumjoner i form av aluminiumsulfat är den vanligaste koagulanten i svenska vattenverk men även fällning med järnklorid förekommer [VAV (1992)].

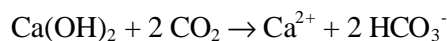
2.1.2. Alkalisering

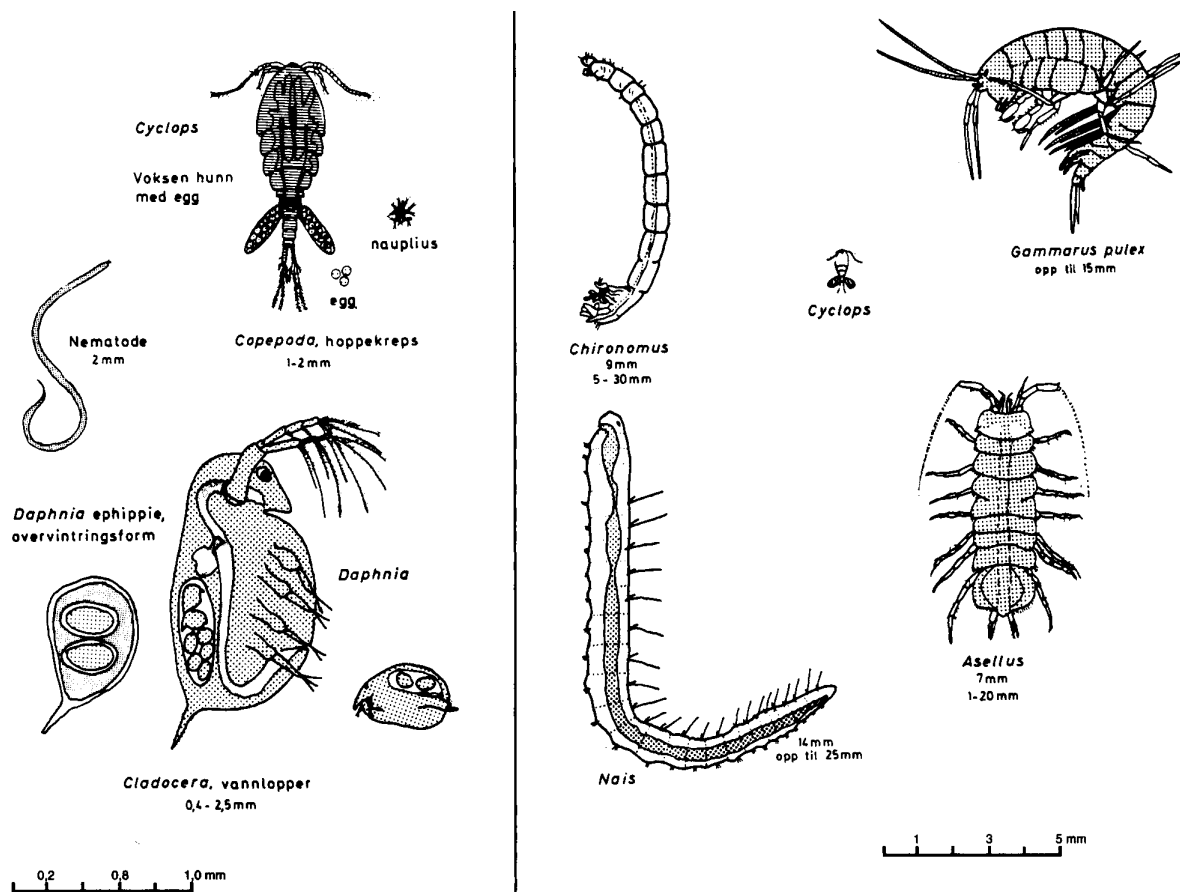
Alkalisering innebär en höjning av vattnets pH-värde med alkali. För att minska korrosionsangreppen på ledningsnätet bör pH-värdet ligga mellan 7,5 och 9 beroende på vattnets kalciumhalt och alkalinitet. Vanliga metoder för att reglera pH-värdet är genom tillsatts av kalkprodukter, kaustiksoda (NaOH) eller kalcinerad soda (Na_2CO_3) samt genom filtrering genom alkaliska massor.

2.1.3. Alkalinitet och hårdhet

För att uppnå ett ur korrosionssynpunkt lämpligt vatten måste kalcium- och vätekarbonathalterna höjas till ett värde som överstiger cirka 20 respektive 60 mg/l. Vätekarbonathalten ger ett mått på vattnets syrabuffrande kapacitet, dvs dess förmåga att motstå pH-förändringar vid tillsats av syror. Alkalinitet är det begrepp som används för denna balans. Begreppet hårdhet beskriver ett vattens innehåll av kalcium- och magnesiumjoner. Eftersom kalciumhalten är större än magnesiumhalten mäts hårdhet i mg Ca/l. Ett hårt vatten har en hög halt av kalcium och magnesium, och har som regel även en hög halt av vätekarbonatjoner.

En metod benämnd ”kalkkolsyrametoden” är kanske den vanligaste metoden som används för höjning av ett vattens alkalinitet och hårdhet. Kalk och kolsyra tillsätts i sådana mängder att halterna av kalcium och vätekarbonat överstiger de ovan nämnda. Reaktionen ser ut på följande sätt:





Figur 2a: Organismer i ledningsnät [VAV (1996)].

2.1.4. Desinfektion

För att erhålla ett hygieniskt tillfredsställande dricksvatten är det ofta nödvändigt med en desinfektion. Även om kemisk fällning och långsamfiltrering ger en minskning av antalet bakterier, virus och protozoer är transportsträckan ut till konsumenten ibland lång vilket gör att risk för tillväxt i ledningsnätet finns. Ofta är en desinfektion med kvarvarande effekt nödvändig för att minska tillväxten. I figur 2a visas olika organismer som kan förekomma i ledningsnätet.

De desinfektionsmedel och metoder som för närvarande används i Sverige [VAV (1996)] är följande: klor, natriumhypoklorit, kalciumhypoklorit, kloraminer, klordioxid, ozon samt UV-bestrålning. Det är endast klor, hypoklorit och kloramin som har en kvarstående effekt i ledningsnätet. Många av desinfektionsmedlen är starka oxidationsmedel och verkar genom att angripa ämnen och strukturer i cellen.

2.2. Krav på dricksvatten

Kraven på dricksvattenkvalitet är omfattande. Dels ska dricksvattnet hos konsumenten uppfylla krav enligt Livsmedelverket. Dels ska krav enligt Naturvårdsverket på avloppsslammets metallhalter följas, vilket betyder att korrosionen i nätet måste minimeras. Rörsnätet på både dricksvatten- och avloppsvattensidan påverkar valet av vattenkvalitet, då många olika konstruktionsmaterial används, exempelvis järnrör och kopparrör. Slutligen ska dricksvattnet av konsumenten uppfattas som aptitligt, vilket inte alltid innefattas av ovan nämnda krav.

2.2.1. Krav från livsmedelsverket

Statens livsmedelsverk (SLV) är den centrala tillsynsmyndigheten, med ansvar för regelsättning och kontrollbestämmelser för dricksvatten.

Vad det gäller mikrobiologisk förorening rekommenderas av SLV olika antal säkerhetsbarriärer, beroende på vattentyp och bakteriehalt i råvattnet. Som säkerhetsbarriärer räknas exempelvis desinfektion och kemisk fällning. I tabell 2a redovisas de krav som ställs av SLV på mikroorganismers förekomst i dricksvatten.

Tabell 2a: Gränsvärden dricksvatten, mikrobiologisk undersökning

Mikroorganism	Tjänligt med anmärkning	Otjänligt	Typ av anmärkning
E. Coli	-	Påvisad	Hälsomässig
Koliforma bakterier	1 st/100 ml	10 st/100 ml	Hälsomässig
Heterotrofa bakterier utgående, vattenverk	10 st/ml	-	Hälsomässig
2 dygns inkubering	100 st/ml	-	Hälsomässig
7 dygns inkubering	5000 st/ml	-	Estetisk, teknisk
Mikrosvamp	100 CFU/100 ml	-	-
Mögelsvamp	1000 CFU/100 ml	-	-
Aktinomyceter	100 CFU/100 ml	-	-
Fekala streptokocker	-	Påvisad	-
Sulfitreducerande klostrider	1 CFU/100 ml	-	Hälsomässig
Sjukdomsframkallande organismer	-	Påvisad	-

I tabell 2b anges de gränsvärden som är angivna enligt SLV vad det gäller den kemiska undersökningen av dricksvattnet.

Tabell 2b: Gränsvärden dricksvatten, kemisk undersökning

Undersökning	Tjänligt med anmärkning	Otjänligt	Typ av anmärkning
Temperatur	+ 20 °C	-	-
Turbiditet vid vattenverk	0,5 FNU ¹	20 FNU ²	¹ Teknisk; ² Hälsomässig
vid vattenverk med desinfektion	1,0 FNU	-	Hälsomässig, teknisk
vid tappställe	3,0 FNU	-	Estetisk, teknisk
Grumlighet	Svag	-	Estetisk
Lukt	Svag ¹	Stark och motbjudande ²	¹ Estetisk; ² Hälsomässig
Smak	Svag ¹	Stark och motbjudande ²	¹ Estetisk; ² Hälsomässig
Färgtal vid vattenverk	15 enheter ¹	-	¹ Teknisk
COD	4 mg/l	-	² Hälsomässig
pH	7,5 < pH < 9,0	50 enheter	Teknisk

Alkalinitet	Bör överstiga 60 mg/l	-	-
Total hårdhet	15 °dH	-	Teknisk
Kalcium	100 mg/l	-	Teknisk
Magnesium	30 mg/l	-	Estetisk
Natrium	100 mg/l	-	Teknisk
Kalium	12 mg/l	-	Teknisk
Järn		-	
vid vattenverk	0,10 mg/l	-	Teknisk
vid tappställe efter spolning 10 l	0,20 mg/l	-	Estetisk, teknisk
vid tappställe utan spolning	1,0 mg/l	-	Estetisk, teknisk
Mangan	0,05 mg/l	-	Estetisk, teknisk
Aluminium	0,10 mg/l	-	Teknisk
Koppar		-	
vid vattenverk	0,05 mg/l	-	Teknisk
vid tappställe efter spolning 10 l	0,20 mg/l	-	Estetisk, teknisk
vid tappställe utan spolning	1,0 mg/l	-	Estetisk, teknisk
Ammoniumkväve	0,4 mg/l	-	Teknisk
Nitratkväve	5 mg/l	-	Teknisk
Nitritkväve	0,005 mg/l	-	Teknisk, hälsomässig
Fosfatfosfor	0,20 mg/l	-	Teknisk
Fluorid	1,3 mg/l	0,30 mg/l	Hälsomässig
Klorid	100 mg/l	-	Teknisk
Sulfat	200 mg/l	6,0 mg/l	Estetisk, teknisk, hälsomässig
Zink		-	
efter spolning 10 l	0,3 mg/l	-	Teknisk
utan spolning	1,0 mg/l	-	Estetisk, teknisk
Klor, total aktiv	1,0 mg/l	-	Estetisk, teknisk
Fenoler	0,010 mg/l	-	Teknisk
Svavelväte	Tydlig lukt	-	Estetisk
Arsenik	0,01 mg/l	-	Hälsomässig
Bly	0,01 mg/l	-	Hälsomässig
Cyanid, lättillgänglig	-	0,05 mg/l	Hälsomässig
Kadmium	0,001 mg/l	0,05 mg/l	Hälsomässig
Krom	-	0,1 mg/l	Hälsomässig
Kvicksilver	-	0,005 mg/l	Hälsomässig
Bekämpningsmedel	Påvisad halt	0,05 mg/l	Hälsomässig
		0,001 mg/l	
		Avgörs från fall till fall	

2.2.2. Krav från avloppsreningsverket och Naturvårdsverket

För att slammet från avloppsreningsverket ska kunna användas inom jordbruket måste det understiga vissa krav på metallhalter, däribland koppar. Gränsvärdena är uppställda av Naturvårdsverket. I ledningsnätet för dricksvatten finns en liten del kopparledningar, främst i hus och fastigheter. För att kopparkorrosionen ska vara så liten som möjligt bör alkaliniteten och hårdheten inte vara för hög.

Intressant är motsatsförhållandet mellan järn och kopparkorrosion; för att korrosionen på ledningsnätets järnrör ska vara så liten som möjligt bör dricksvattenkvaliteten väljas så att alkaliniteten och hårdheten är relativt höga. Alltså råder det en balansgång mellan dessa två korrosionstyper.

3. Fallstudie

Kapitlet beskriver en fallstudie av Göteborgs va-verk. Mål och omfattning för livscykelanalysen definieras, följt av en teknisk beskrivning av det studerade vattenverket och distributionen av vattnet. Slutligen beskrivs inventeringen av systemet.

3.1. Mål och omfattning

3.1.1. Syfte

Syftet med studien är att undersöka den totala miljöpåverkan vid tillverkning och distribution av dricksvatten samt att identifiera det eller de steg som bidrar mest till den totala miljöpåverkan.

I livscykelanalyser är miljöpåverkan från dricksvattenproduktion ofta inte inkluderad eftersom denna antages vara liten. En målsättning med studien har därför varit att ta fram data för ett konventionellt svenskt vattenverk.

En andra målsättning med studien har varit att identifiera var i produktionskedjan av dricksvatten den största miljöpåverkan finns.

3.1.2. Funktionell enhet

Den funktionella enhet som används som räknebas i studien är 1 m³ dricksvatten. Dricksvatten är ett vitt begrepp, men betyder i denna studie vatten av den kvalitet som tappas i kran hos konsument och som har renats vid Göteborgs vattenverk.

Allt dricksvatten i Sverige ska uppfylla kraven enligt Statens Livsmedelsverk, men då råvattnets egenskaper skiftar kräver det olika behandling och därmed blir vattenverkens miljöpåverkan olika. I Göteborg är det ett mjukt ytvatten som tas som råvatten. Krav som påverkar dricksvattenkvaliteten ställs även av Naturvårdsverket, främst vad det gäller halter av metaller som koppar. Slutligen påverkas även val av dricksvattenegenskaper och därmed reningssätt av ledningsnätet sammansättningen (se kapitel 2.2.). I Göteborg är dricksvattnenätet sammansatt av flera olika rörtyper. Alla dessa krav påverkar reningen vid vattenverket och egenskaperna på det utgående dricksvattnet.

I den funktionella enheten 1 m³ renat dricksvatten är hänsyn tagen till alla krav och förutsättningar som gäller för rening vid Göteborgs vattenverk och distribution till konsument i Göteborg.

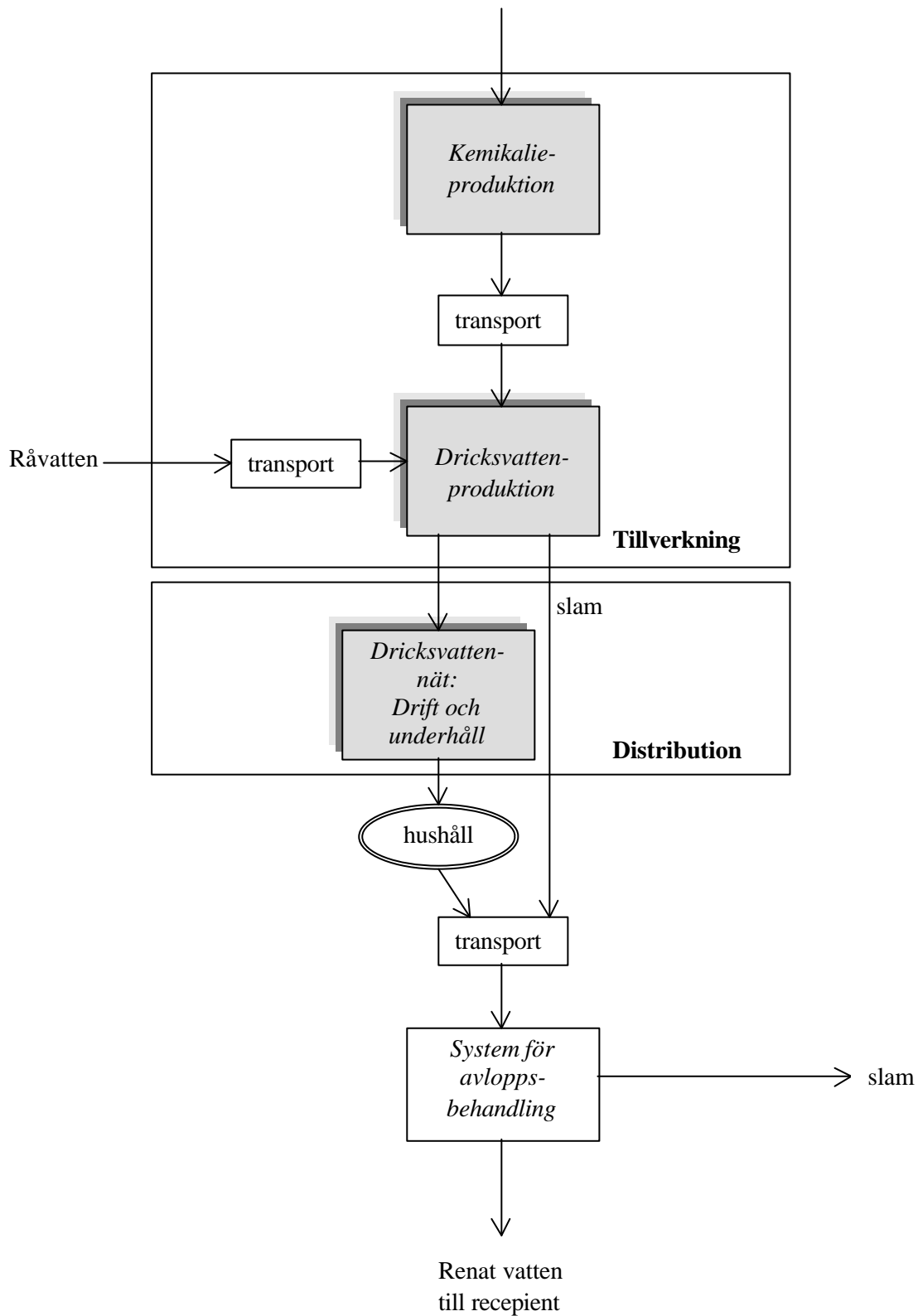
3.1.3. Systemgränser

Det undersökta systemet illustreras i figur 3a. En uppdelning har gjorts mellan tillverkning och distribution. I tillverkningen innefattas råvattenintag och transport av råvatten till vattenverket samt kemikalieproduktion. Vid kemikalieproduktion beaktas resursförbrukning, energianvändning samt transporter, oavsett var i världen kemikalien produceras. Tillverkningssystemet kan sägas beskriva en så kallad "vaggan-till-grinden" analys, vilket betyder att produktens miljöpåverkan undersöks från början av produktionskedjan fram till och med produktionsanläggningens grindar, i det här fallet dricksvattenproduktion från råvatten fram till och med dricksvattenmagasinen på Lackarebäck. Tillverkning av produktionsutrustning ligger utanför systemets gränser.

I distributionssystemet innefattas dricksvattendistribution från vattenverk fram till hushåll. Både drift och underhåll av dricksvattendistributionen undersöks. Drift betyder främst energianvändning vid pumpning av dricksvattnet samt även en del transporter. Underhåll som utförs i samband med dricksvattendistributionen är främst omläggning av rör och i samband med detta kringarbete som asfaltering, schaktning, transporter med mera. Expansion av dricksvattennätet inkluderas inte i studien.

I vattnets väg efter hushållen anses det inte vara dricksvattnet som har den stora miljöpåverkan; det är inte heller själva dricksvattnet som behöver renas. Alltså anses drift och underhåll på avloppsnätet ligga utanför systemgränsen. Inte heller ligger energianvändningen i hushållet till uppvärmning av dricksvatten innanför studiens ramar, men utgör en intressant referensram och kommer därför att diskuteras.

Av i huvudsak två skäl har uppdelningen mellan tillverkning och distribution gjorts. Dels för att erhålla ett mer allmänt system för dricksvattenframställning. Lackarebäck är ett konventionellt reningsverk med ytvatten som råvatten och borde kunna anses som generellt giltigt för ett svenskt vattenverk. Distributionen är mer specifikt gällande för Göteborg. Bland annat gör topografiska skillnader att jämförelse mellan pumpning av dricksvatten i Göteborg och andra städer med mindre höjdskillnader kan vara olämplig. Dels för att data för distributionen är mer komplexa och svårhanterliga.



Figur 3a: Principiellt flödesschema för vattnets väg från råvatten via vattenverk, hushåll och reningsverk ut till recipient. Det i rapporten undersökta systemet sträcker sig från uttag av råvatten fram till dricksvattenleverans i hushållet. Uppdelningen mellan tillverkning och distribution är enligt systemgränser (se 3.1.3.).

Avgränsningar i tiden

Studien är avsedd att gälla nu och framåt. Hur långt framåt är svårt att förutse; vissa processer och utrustningar i det studerade systemet kan anses ha mycket lång livstid samtidigt som teknisk utveckling kan medföra stora förändringar. Skillnader i råvattenkvalitet och i krav på dricksvattenkvalitet är också faktorer som kan påverka studiens tidsmässiga giltighet.

Geografiska avgränsningar

Miljöpåverkan från olika utsläpp har skiftande räckvidd i sin omgivning. Beroende på emissionens natur sker miljöpåverkan på allt från en lokal nivå till en global. Exempelvis ger spridning av koldioxid effekter i global skala i form av klimatförändringar medan spridning av närsalter ger en övergödande effekt på lokal nivå. I studien har miljöpåverkan på alla nivåer inkluderats, oavsett om vissa emissioner med lokal effekt sker långt ifrån det studerade systemet.

Framställning av fossila bränslen anses ligga utanför systemet. Endast emissioner vid användning beaktas, inte emissioner vid brytning och transport till användaren.

Produktionen av elektricitet ligger inom systemets gränser. När elektricitet används inom någon process i Sverige så har denna ansetts vara sammansatt som svensk genomsnittsel enligt Vattenfall, dvs kärnkraft (49%), vattenkraft (44%) samt kraftvärm [Brännström-Norberg et al (1996)].

3.1.4. Datakvalitet

Data från va-verket gällande förbrukning av kemikalier, användning av energi med mera är anläggningsspecifika. Data är hämtade ur va-verkets årsberättelse 1997 [va-verket (1997)] och ur va-verkets energibalans 1997 [energibalans va-verket (1997)].

För kemikalieproduktionen har litteraturdata använts. Målet har varit att hitta anläggningsspecifika data, och i de flesta fall har detta lyckats. Litteraturdata är oftast inte äldre än fem år. I flertalet fall har kontakt tagits med produktionsanläggningen för att undersöka om större processförändringar gjorts sedan föregående datainsamling. Undantaget är dock natriumklorit (NaClO_2), för vilken produktion sker i Italien och inga uppgifter funnits att tillgå. Istället har energianvändningen uppskattas vara den samma som för produktion av natriumklorat (NaClO_3).

Vid produktion av material till underhåll av ledningsnätet har det i fallen segjärnrör och PE-rör (polyeten) inte funnits anläggningsspecifika data, utan för segjärn har data från annan anläggning valts och för PE har europeiska medeldata använts [Bousted (1993)].

Att välja genomsnittsel istället för marginalel ger en bättre datakvalitet då inga uppskattningar och förutsägelser behöver göras av hur marginalelen kommer att se ut i framtiden [Bengtsson et al (1997)].

3.1.5. Inventeringsparametrar

I stort sett så har hänsyn tagits till alla parametrar som inhämtats från de olika delprocesserna, även om vissa halter är i stort sett försumbara. I bilagedelen finns alla parametrar redovisade, i resultatdelen endast de dominerande.

Emissioner till luft är koldioxid (CO₂), kväveoxider (NO_x), svaveldioxid (SO₂), partiklar, kolmonoxid (CO), kolväten (HC), väteklorid (HCl), klorgas (Cl₂), vätefluorid (HF) och polyaromatiska kolväten (PAH).

Emissioner till vatten är kemiskt syreförbrukande ämnen (COD), suspenderat material, biologiskt syreförbrukande ämnen (BOD), kloridjoner (Cl⁻), totalkväve (N-tot), olja och metaller.

Resursparametrar som inkluderats är, brytning av bauxit, järnmalm, kalksten med flera.

3.1.6. Värderingsmetoder

De värderingsmetoder som använts i studien är EPS-metoden, ET-metoden (effektkategorimetoden) och ekonapphetsmetoden. Resultatet från utvärdering med hjälp av dessa metoder ses som ett diskussionsunderlag, främst för att kunna se på skillnader mellan de olika metoderna. En beskrivning av de tre värderingsmetoderna finns i avsnittet 1.3.3. "Beskrivning av miljöpåverkan".

3.1.7. Beräkningar

Alla beräkningar har gjorts i programvaran EcoLab version 4.0.3e, tillverkad av Nordic Port AB.

3.2. Teknisk beskrivning av systemet

Beskrivning av det tekniska systemet börjar med råvattnets uttag ur Göta älv och slutar i hushållet hos konsumenten. Vattenverket och de delprocesser som vattnet passerar beskrivs i detalj. Även en beskrivning av rörnätet på dricksvattensidan och dess underhåll finns. Avloppsledningsnätet och avloppsreningsverket är inte behandlat, då de inte innefattas i analysen. Energianvändningen i hushållet finns även kortfattat beskriven.

Göteborgs va-verk driver två vattenverk: Alelyckan och Lackarebäck. De båda verken finns inom Göteborgs kommun och producerade totalt under 1997 61 Mm³ dricksvatten, jämnt fördelat mellan verken [va-verket (1997)].

Alelyckan och Lackarebäck kan båda beskrivas som klassiska vattenverk med konventionella reningsmetoder. Dock föreligger det vissa skillnader; exempelvis kan det nämnas att Alelyckan desinfekterar vattnet med klor och ozon medan Lackarebäck använder klor och klordioxid.

I studien är det Lackarebäck som kommer att beskrivas.

3.2.1. Råvattnet

Råvattnet till vattenverken i Göteborg tas från Göta Älv. Älven har goda förutsättningar som råvattentäkt, då tillrinningsområdet är förhållandevis glest befolkat och har måttliga inslag av industriverksamhet. Vattenkvaliteten har även förbättras avsevärt de senaste åren. Under 1997 var i stort sett halten av syreförbrukande ämnen nere på samma nivå som under början av 1900-talet [va-verket (1997)].

Figur 3b: Råvatten- och det grövre dricksvattendistributionssystemet. (va-verket Göteborg)

Från intaget vid Lärjeholm pumpas råvattnet upp till Delsjöarna. Lagringen i Delsjöarna innebär en naturlig rening av råvattnet samtidigt som kvaliteten på vattnet utjämnas. Delsjöarna fungerar också som råvattenmagasin för de två vattenverken. Om vattenkvaliteten i älven skulle försämrats kan intaget vid Lärjeholm stängas och pumpningen upp till sjöarna stoppas. Reservmagasinet är vid avstängning från älven tillräckligt för att leverera råvatten till de båda verken under en tidsperiod av cirka tre veckor. Rådasjön utgör en reservvattentäkt, från vilken råvatten kan ledas till Delsjöarna. Under 1997 stod Rådasjön för en sjundedel av inflödet till Delsjöarna. Från Delsjöarna sker även en viss avrinning till Sjölyckan, i vilken fiskodling pågår. I figur 3b illustreras råvatten- och det grövre distributionsnätet.

Under sommarhalvåret förklaras Delsjöarna pga hygieniska skäl för badarna. Kloreringen sköts från Alelyckeverket.

Råvattnet från Göta Älv följer med få undantag de krav som ställs på råvatten enligt dricksvattenkungörelsen. Under 1997 var det främst den höga dygnsmedeltemperaturen under sommaren som orsakade avvikelser [va-verket (1997)].

3.2.2. Lackarebäck

Lackarebäckverket är utformat som ett klassiskt kemiskt vattenverk. Verket byggdes 1968, under en tid då prognosen för befolkningsökningen inom Göteborgs storstadsregion var mycket optimistisk. Lackarebäck dimensionerades då för ett flöde på 140 000 m³/dygn och med goda förutsättningar för ytterligare expansion. Idag ligger dygnsmedelvärdet för behandling av råvatten på cirka 84 000 m³.

De viktigaste processtegen inom verket är följande: iblandning av kalk, flockning med aluminiumsulfat, sedimentering, snabbfiltrering genom aktivt kol, desinfektion, karbonathaltreglering samt pH-justering. Vattnet rinner genom verket genom självfall; alltså behövs ingen pumpning förrän vattnet ska levereras ut på dricksvattnenätet. I figur 3c illustreras Lackarebäck.

Figur 3c: Flödesschema Lackarebäck. (va-verket, Göteborg)

Iblandning av kalk

Kalkvatten tillsätts på två ställen inom Lackarebäckverket; dels till blandningsnäcken och dels till renvattensnäcken. Placeringen av blandnings- och renvattensnäcken framgår ur figur 3c. Kalkvattnet reglerar både råvattnets hårdhet och dess pH.

Va-verket köper in osläckt kalk (CaO), även kallad bränd kalk, för släckning på verket. Den osläckta kalken lagras i två förrådssilon från vilka kalken transporteras med hjälp av skruvtransportörer till doseringssilon. Bandvågar doserar kalken direkt till släckare, i vilka kalken får reagera med vatten så att släckt kalk (Ca(OH)₂) bildas. Den släckta kalken transporteras via kalkvattenberedare till de båda snäckorna.

Flockning

På Lackarebäck finns sju parallella flockningsbassänger. I figur 3c benämns bassängerna avsättningsbassänger. Flödet genom de sju enheterna kan approximativt sägas vara lika stort. Varje bassäng är uppdelad i sex stycken mindre fack, i vilka en motordriven propeller är placerad för att åstadkomma kontinuerlig omrörning. I bassängens första fack tillsätts aluminiumsulfat som bildar flockar av aluminiumoxid. Ämnen som orsakar färg och grumlighet attraheras till flockarna; främst kolloidala metallhydroxider eller organiska lerpartiklar (färg) samt lermineral till vilka organiskt material är bundet (grumlighet). Till flockarna binds även olika typer av bakterier. En viss del av flockarna sjunker ned till botten trots omrörning vilket gör att bassängerna måste tömmas och spolas regelbundet. Slamvattnet går ut på avloppsnätet och vidare till Ryaverken. Bassängerna fylls på med råvatten.

Sedimentering

Sedimenteringsbassängerna är sju till antalet och av så kallad Lovö-typ vilket innebär att en mellanbotten finns i bassängerna. Vattnet strömmar in under mellanbotten för att sedan vända riktning och rinna ut över denna. Konstruktionen gör att avsättningsytan för flockarna blir större och därmed kan belastningen ökas. Flockarna ansamlas på de två bottnarna vilket gör att bassängerna måste tömmas och spolas regelbundet. Bassängerna fylls på med dekantat, dvs vatten som kommer från flockningsbassängerna.

Den sjunde sedimentationsbassängen har modifierats för att i serie med sedimentering utföra flotation. I den kant av bassängen där varken in- eller utflöde sker, utan där vattnet vänder, tillsätts dispersionsvatten. Dispersionsvatten är ett med luft övermättat vatten vilket framställs genom att låta vatten passera genom en dispersionsvattenberedare som försörjs med komprimerad luft. Partiklar i vattnet som inte sedimenterat fastnar på de uppåtströmmande gasbubblorna. Det bildas ett skum på bassängens yta som avskiljs med en ytskrapanordning. I den sjunde bassängen finns även två bottenkrapor för att transportera det sedimenterade slammet mot utloppet. Skraporna arbetar under regelbundna tidsintervall. Analysresultat av det utgående vattnet visar att bassängen med både sedimentering och flotation fungerar väldigt effektivt, särskilt med avseende på rening av alger. Inom en framtid planeras att genomföra samma processkomplettering på de övriga sex sedimentationsbassängerna.

Slamvattnet som leds bort ur sedimentationsbassängerna går via avloppsnätet till Ryaverket. Vattenverksslammet påverkar inte nämnbart sammansättningen av totalbidragen torrsubstans vid

Ryaverket, tvärtom kommer de flesta metallhalterna i avloppsslammet att öka om vattenverksslammet skulle tas bort. Undantag gäller för de tre ämnena bor, mangan och arsenik [Nordén et al (1995)].

Filtrering

Det finns 16 stycken snabbfilter innehållande aktivt kol. Det aktiverade kolet har en stor specifik yta och kan adsorbera organiska ämnen från vattnet vilket gör att lukt och smak på vattnet förbättras. Kolfiltren spolats i snitt en gång per dag och reaktivering av kolet sker i snitt vart fjärde år. På Alelyckeverket finns en anläggning för kolreaktivering. Vid reaktiveringen räknar man med att cirka 5% av kolet försvinner.

Desinfektion

Till blandningssnäckan tillsätts vid behov klor, främst under sommartid. Det är beroende på råvattnets temperatur, som ska ligga under 12°C, och dess bakterieinnehåll som eventuell tillsats sker. I renvattensnäckan tillsätts alltid klor och klordioxid, främst för att vattnet inte ska påverkas under transporten i dricksvattenledningsnätet. Klorvatten blandas med natriumklorit för att erhålla en övermättad klordioxidlösning med avseende på klorgas.

Karbonathalt- och pH-reglering

För att göra en slutlig justering av pH-värdet innan vattnet ska pumpas ut på ledningsnätet tillsätts 33%-ig lut (NaOH) till renvattensnäckan.

Koldioxid tillsätts för att höja det utgående vattnets alkalinitet och därmed förbättra vattnets tålighet mot förändringar i pH. Från lagringstanken passerar den flytande koldioxiden en luftförångare och sedan termostatdrivna elförångare. Gasen passerar den så kallade CO₂-inlösaren i vilken gasen bubblas genom vatten. Det CO₂-mättade vattnet tillsätts i renvattensnäckan. Den gas som inte löses i vattnet i CO₂-inlösaren diffunderar ut till luft.

3.2.3. Distribution av dricksvatten till konsument

Från vattenverken pumpas vattnet ut på dricksvattnenätet. För att trycket ska räcka för att distribuera vatten även till de högt belägna områdena, de så kallade högzonerna, finns det tryckstegringsstationer. På dessa stationer pumpas vattnet upp till de olika högzonerna. Inom de större zonerna finns reservoarer som har en tillräcklig volym dricksvatten för att kunna jämna ut skillnader mellan pumpning och förbrukning. Reservoarerna fylls nattetid.

Totalt uppgick vattenledningsnätet i Göteborg till 1726 km [va-verket (1997)]. Nätet utökas kontinuerligt och diverse underhåll görs. Underhåll av rörnätet består antingen av reparationer eller av omläggning. Till exempel kan reparationer bestå av att cementbruksisolera gjutjärnrör. Vid omläggning kan olika metoder användas; förutom klassisk schaktning kan rörspräckning och rörinfodring utföras. Rörspräckning innebär att en slags borrh utnyttjar den befintliga ledningen för att borra sig fram. Vid rörinfodring stoppas ett rör av mindre diameter in i det befintliga röret. Det är endast rör av polyeten som används vid dessa två metoder. Vid en stor del av omläggningen av rör och vid all nyläggning måste rörgraven fyllas med lämpliga material; sand och sprängsten kan vara lämpligt som kringfyllnad runt vattenledningen, makadam som bärlager under vägar. Genom att använda sig av rörspräckning och rörinfodring besparas mycket arbete; schaktning behöver endast ske

vid början och slutet på ledningen som ska läggas om, vid eventuella skarpa böjningar och vid servisledningar. Jobb med schaktmassor och asfaltomläggning kan på detta vis undvikas.

Ledningsnätet består till största delen av gjutjärn, följt av segjärn och polyeten. Vid nyläggning och omläggning används endast segjärn och polyeten. Under 1997 lades 12 km nya rör och 14 km byttes ut [va-verket (1997)]. Merparten av det material som används i hus och fastigheter för dricksvattenleverans är koppar. Kopparledningar utgör cirka 1,4 % av det totala ledningsnätet.

3.2.4. Energianvändning i hushållet

Den energianvändningen som sker i hushållen och som är relevant för studien är uppvärmning av vatten. Parametern inkluderas inte i analysen, men utgör en intressant jämförelse.

Enligt Hellström et al (1996) kan det antagas att 30% av kranvattnet värms upp till en temperatur av 60°C. Med kranvatten menas allt vatten som förbrukas i hushållet, alltså även vatten använt för tvättning av kläder och liknande. Vatten som lämnar Lackarebäck har en mediantemperatur av 6,6°C och dygnsförbrukningen är 181 l/person [va-verket (1997)]. Beräknad ingångstemperatur på vattnet till hushållen kan dock uppskattas till 8,0°C [Normin (1999)].

Vid beräkning av energianvändningen i hushållet har följande antaganden gjorts: energiförlusten till omgivningen försummas och effektiviteten på uppvärmningsanläggningen för kranvattnet är 100%.

Med en värmekapacitet för vatten, c_p , på 4,2 kJ/kg*K blir energianvändningen för uppvärmning av hushållsvatten 11,9 MJ/person och dygn.

Göteborgs energi AB står för energileveransen till cirka 90 % av hushållen i Göteborg, dvs till 185 000 av totalt 206 000 hushåll. Till dessa hushåll levereras i huvudsak fjärrvärme från Göteborgs fjärrvärmenät. Ungefär 80 % av Göteborgs totala hushåll försörjs med fjärrvärme (165 000 hushåll av totalt 206 000). Cirka 20000 villor är elvärmda.

3.3. Inventering

Inventeringen har delats upp i de tre huvudstyckena kemikalieproduktion, dricksvattenproduktion och dricksvattennät enligt figur 3a.

Tillverkningen av dricksvatten kan betraktas som ett konventionellt reningsförfarande för ytvatten och anses vara mer generellt giltigt än distributionen. Vid distribution blir påverkan från lokala förhållanden mer påtaglig, som till exempel pumpning av dricksvatten pga höjdskillnader.

Under rubriken kemikalieproduktion inkluderas de olika kemikalierna som används till dricksvattenrening. Produktionen undersöks från råvaruuttag till färdig produkt. Även transporter till vattenverket från producenten är inkluderade. I avsnittet dricksvattenproduktion redovisas den specifika kemikalieförbrukningen och energianvändningen inom vattenverket. Slutligen inventeras dricksvattennätets drift och underhåll, både på råvatten- och dricksvattensidan.

Alla data finns samlade i bilaga A.

3.3.1. Kemikalieproduktion

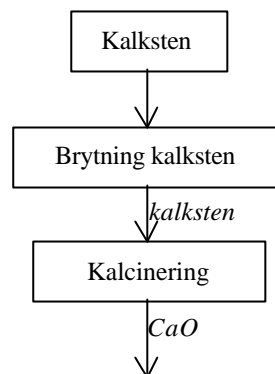
De kemikalier som används inom Lackarebäck till dricksvattenrening är släckt kalk, aluminiumsulfat, klor, natriumklorit, aktivt kol, koldioxid och natriumhydroxid. Kemikalierna produceras främst i Sverige och transporteras till Lackarebäck med lastbil.

För varje tillverkningsprocess finns ett processchema av respektive kemikalie, utom för natriumklorit. Alla processer och transporter illustreras med boxar, materialflöden med pilar.

De data som använts i beräkningarna finns redovisat för varje kemikalie. Data kan antingen vara redovisat uppdelat på delprocesser, som i fallen vid tillverkning av kalk, lut och klor, eller så kan data vara redovisat sammanslaget för hela processen, som i fallet aluminiumsulfat. Tillgången på data har avgjort redovisningssätt. För processerna redovisas emissioner till luft och vatten, energianvändning, resursuttag och råvaruanvändning samt avfall. Även transportdata finns redovisat. Data finns redovisat i bilaga A.

3.3.1.1. Kalk

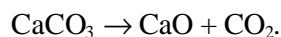
Bränd kalk köps in av va-verket från Nordkalk Kalcium AB. Den brända kalken, kalciumoxid (CaO), tillverkas genom att kalksten bränns i en kalkugn, kalcineras, vid en temperatur av ca 1300°C.



Figur 3d: Flödesschema för tillverkning av kalciumoxid.

Kalkstenen bryts antingen i Norge eller på Gotland. Den norska kalken bryts norr om Trondheim och transporteras med fartyg till Köping där den bränns; den gotländska kalkstenen bryts och bränns på Gotland av Nordkalk Storugns AB respektive Kalkproduktion Storugns AB. Transport sker med fartyg från Gotland till Landskrona där ett mellanlager finns. Transport till va-verket från de två platserna sker med lastbil. Miljöpåverkan av sprängämnestillverkning har försumrats. Inköpet av den brända kalken fördelar sig ungefär lika mellan kalk av norskt och gotländskt ursprung.

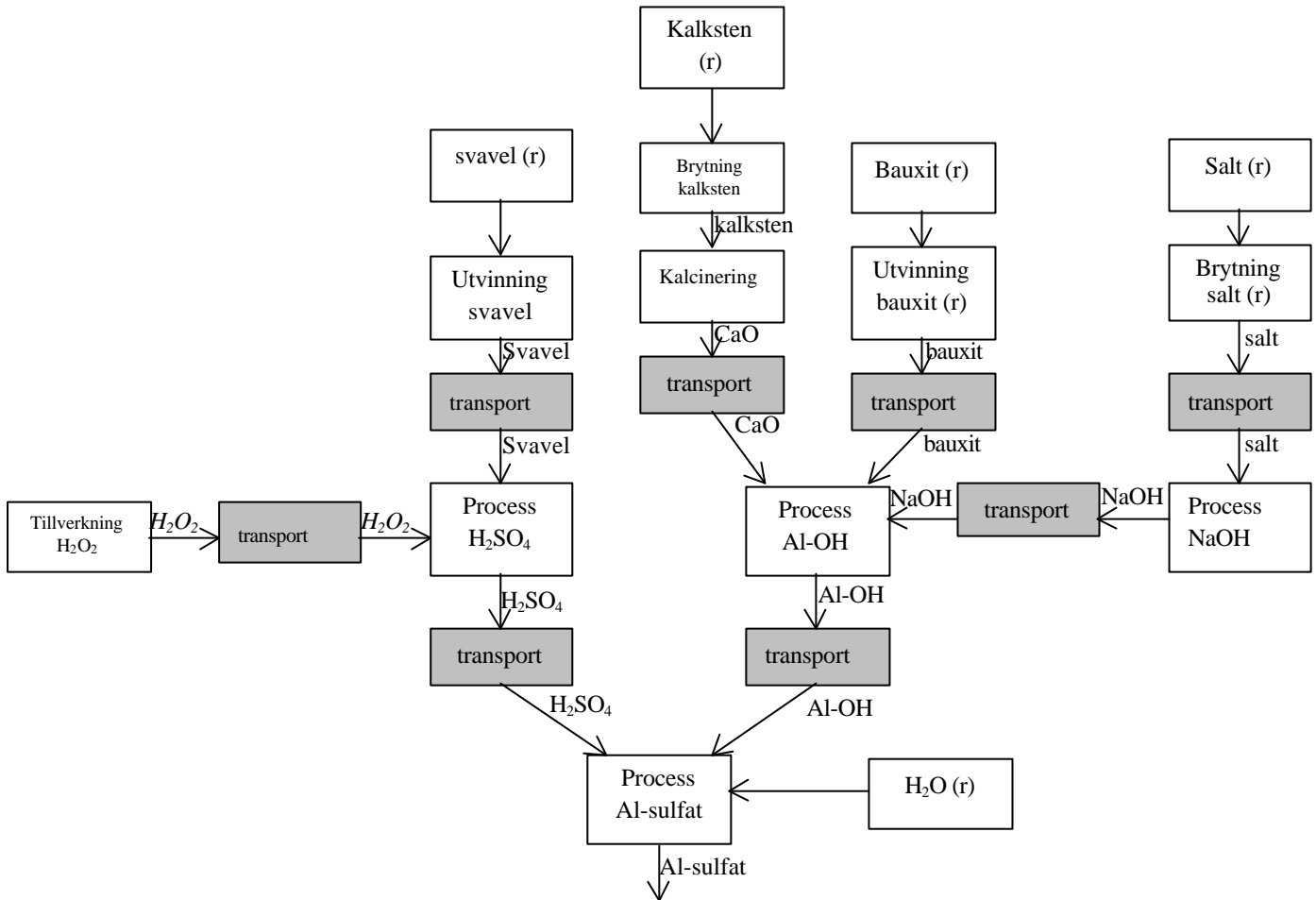
Anläggningspecifika data för kalcineringsanläggningen i Köping används [Montan (1994)]. Antagandet har gjorts att miljöpåverkan från produktionen på Gotland är densamma som för Köping. Under 1999 ska ett elektrofilter installeras vid enheten i Köping för reducering av framförallt kalkdamm [Lindeblad (1998)]. De emissioner som uppkommer vid uppvärmning av ugn för kalcinering återfinns tillsammans med övriga processemissioner för kalcinering. Därför är energianvändningen redovisad utan emissionsfaktorer (no EF). Även frigöringen av CO₂ vid kalcineringen av kalksten har beaktats. Förloppet beskrivs enligt reaktionsformeln:



Vid kalcinering av två kilo kalksten (CaCO₃) frigörs 880 gram CO₂.

3.3.1.2. Aluminiumsulfat

Aluminiumsulfaten tillverkas av Kemira Kemi i Helsingborg och transporteras till vattenverken med bulkbil. Genom att blanda svavelsyra och aluminiumhydroxid erhålls aluminiumsulfat.



Figur 3e: Flödesschema för tillverkning av aluminiumsulfat.

Data för tillverkning av aluminiumhydroxid antas vara samma som för aluminiumoxid och litteraturdata används. För tillverkning av svavelsyra används anläggningsspecifika data från Kemira, Helsingborg [Tillman et al (1995:b)]. Inga större processförändringar har gjorts sedan 1995 [Vinge (1998)].

Data för tillverkning av aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) är inte uppdelat på de olika delprocesserna utan återfinns sammanslaget för hela processen, dvs från uttag av råvara till färdig produkt. De olika delprocesserna för tillverkning av aluminiumhydroxid och svavelsyra finns beskrivna. För separat redovisning av processerna hänvisas till Tillman et al (1995).

Miljöpåverkan från transporter vid produktion av aluminiumsulfat är inkluderad i emissioner och använd energi. Detta gäller dock ej transporten av färdig produkt från Kemira till Lackarebäck som finns redovisad separat.

Tillverkning av aluminiumhydroxid

Allt aluminium som används antas vara jungfrulig råvara, så kallat primärt aluminium. Återvunnet, sekundärt aluminium används främst vid tillverkning av förpackningar. Framställning av primärt aluminium sker i två steg; extraktion av aluminiumoxid ur bauxit följt av elektrolys. Bauxit är ett mineral rikt på aluminiumoxider och hydroxider. Störst förekomst finns i Australien och Guinea och där sker den största brytningen.

Extraktion av aluminiumoxid ur bauxit sker med lut vid förhöjd temperatur och tryck. Aluminiumföreningarna löses och kan fällas ut som hydroxider. Även bränd kalk används i processen.

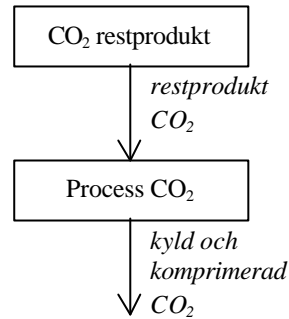
Tillverkning av svavelsyra

Tillverkning av svavelsyra sker vid Kemiras anläggning i Helsingborg. Svavelsyraanläggningen fungerar även som energileverantör och tillgodoser bland annat vissa interna processer med el och ånga samt levererar fjärrvärme till Helsingborgs kommun.

Råvaran, elementärt svavel, utgörs till 60 % av nyutvunnet svavel från Polen och till 40 % av svavel som biprodukt från ett raffinaderi. Biprodukten antas inte utgöra någon miljöbelastning. Väteperoxiden tillverkas i Helsingborg. Dock följs inte flödet av väteperoxid bakåt till produktionsfasen då en mycket liten del förbrukas.

3.3.1.3. Koldioxid

AGA tar hand om CO₂ som är en restgas från Akzo Nobel. Transport av CO₂ från Akzo till AGA sker via ledning, då båda företagen ligger inom Stenungsunds industriområde.

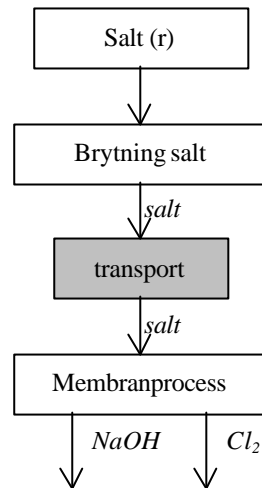


Figur 3f: Flödesschema för tillverkning av kyld och komprimerad CO₂.

Gasen renas från kolväten med hjälp av katalysator och utsläppen från anläggningen med avseende på kolväten är i princip noll. Efter reningen kyls och komprimeras gasen. Koldioxiden är av fossilt ursprung men belastas inte för förbrukningen av fossila resurser då det rör sig om en biprodukt från annan process. Data som använts är litteratordata [Tillman et al (1995)]. Enligt [Joheden (1998)] är data representativa om hänsyn tages till installation av katalysatorn som installerades efter 1995.

3.3.1.4. Lut och klor

Lut (NaOH) och klor köps in från Akzo Nobel, Skoghall. I Skoghall används membranprocessen för tillverkning av lut och klor. Anläggningsspecifika litteraturvärden används [Halldin et al (1995)].



Figur 3g: Flödesschema för tillverkning av NaOH och klorgas.

Utvinning av NaCl

Natriumkloriden som används för framställning av klor och lut bryts i Holland. Genom upplösning av bergssalt i färskvatten, följt av rening och indunstning, framställs salt av tillräckligt hög renhetsgrad. Vid indunstningen används vattenånga, producerad genom förbränning av naturgas.

Produktion av klor och lut

Vid tillverkning av klor och lut (NaOH) används membranprocessen. Membranprocessen är en elektrokemisk process och energiförbrukningen är hög. Över membrancellen, som är uppdelad i två kammare av ett jonselektivt membran, läggs en spänning vilket gör att natriumkloridlösningen som leds in i anodrummet elektrolyseras. Kloridjonerna oxideras till klorgas som stiger till ytan och tas ut, natriumjonerna leder strömmen genom membranet. Vatten reagerar på katoden till vätgas och hydroxidjoner. Vatten förs in i katodrummet och lut med en halt av 30 % kan tas ut [Gevert (1996)].

Vid produktionen 1995 användes 104760 ton NaCl för att producera 60552 ton Cl₂ (100%), 212656 ton NaOH (32%) och 1701 ton (H₂) [Halldin et al (1995)]. I processen förbrukas en stor mängd vattenånga som produceras genom förbränning av olja och vätgas. Alla förbrukningstal är allokerade på de olika produkterna utifrån vikt.

3.3.1.5 Natriumklorit

Natriumkloriten (NaClO₂) tillverkas av Caffaro, Brechia, norra Italien och köps in av va-verket via MB Sveda. Energianvändningen har antagits vara lika stor som för produktionen av natriumklorat:

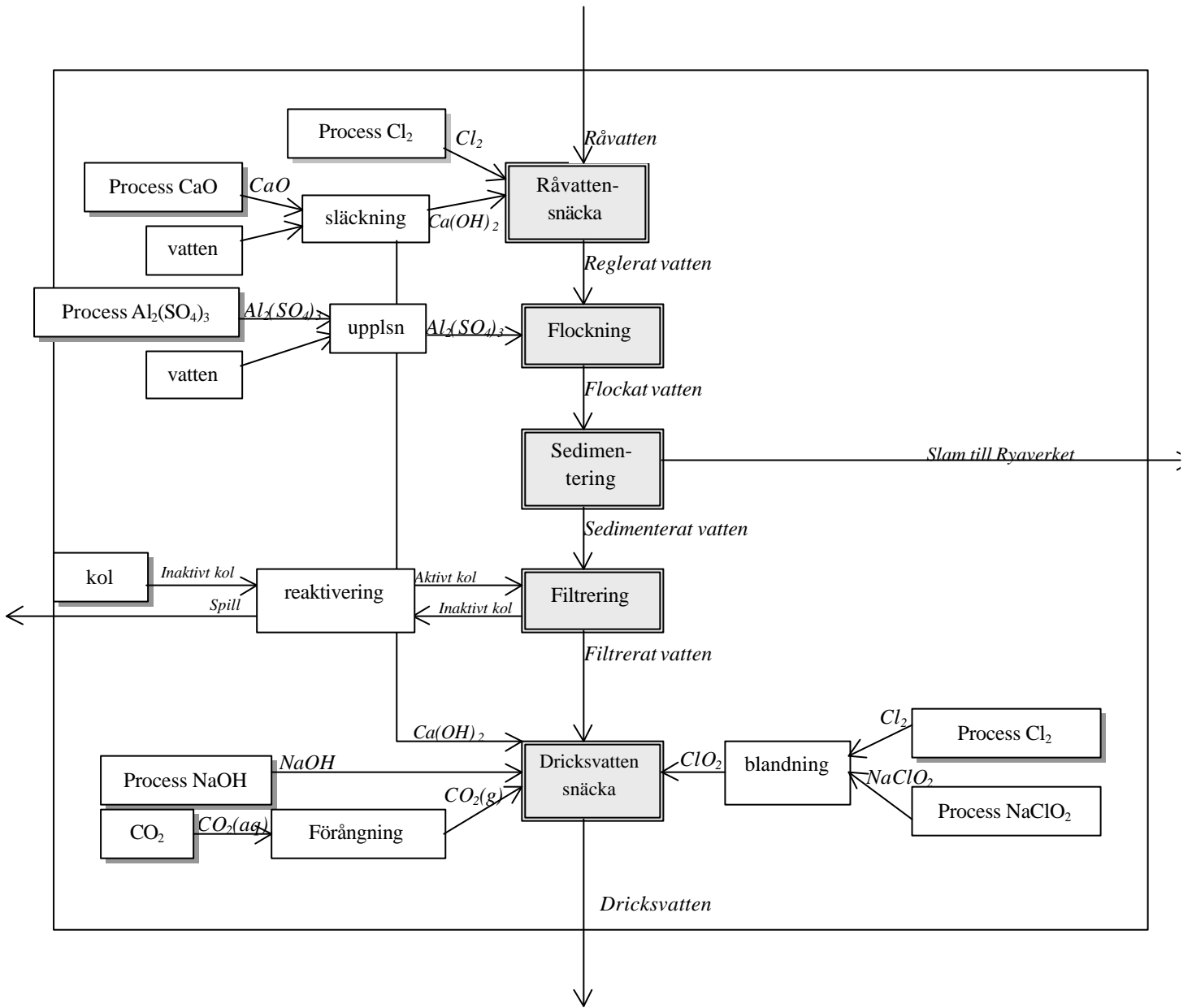
25,2 MJ/kg produkt [Tillman et al (1996)]. Transporten från Italien till va-verket sker med lastbil [Frohagen (1998)].

3.3.1.6. Aktivt kol

En reaktiveringsanläggning för aktivt kol finns på Alelyckan. Reaktivering sker både av kol från Göteborgs vattenverk och från vattenverk i övriga Sverige. Mindre vattenverk som inte har mer än ett fåtal kolfilter kan inte vänta på kolet vid reaktivering utan måste med en gång ersätta det med nytt. Va-verket i Göteborg köper in det begagnade kolet och reaktiverar det istället för att det deponeras, vilket annars skulle vara det troligaste alternativet. Följaktligen köps inte något nytt kol in av Göteborgs va-verket. Reaktiveringsanläggningen är i drift halvårsvis, främst under den kallare delen av året då Alelyckeverket värms upp med överskottsvärme från anläggningen.

Energimängden som går åt vid reaktivering är 8892 MJ/m^3 kol [Gustafsson (1999)]. Densiteten för kolet är uppskattningsvis 450 kg/m^3 , vilket gör att energianvändningen relaterad till den funktionella enheten blir $71,94 \text{ kJ/m}^3$. Reaktiveringsanläggningen drivs med gas från naturgasnätet. Även om anläggningen under vintertid värmer upp Alelyckeverket och på så sätt sparar in på uppvärmningen antas reaktiveringsanläggningen stå för hela energianvändningen.

Ingen miljöbelastning kommer att läggas på Lackarebäck, utom den för transport av begagnat kol från andra vattenverk och för själva energianvändningen vid reaktivering. Transport av kolet sker främst från vattenverk i kranskommuner. Medelsträckan uppskattas till 20 mil. Kolet transporteras med lastbil.



Figur 3h: Principiellt flödesschema för dricksvattenproduktion. De olika processtegen inom vattenverket illustreras med grå boxar. De skuggade boxarna har separata flödesscheman.

3.3.2. Dricksvattenproduktion

Volymen dricksvatten producerad under 1997 av de två vattenverken i Göteborg uppgick till totalt 61 Mm³. Lackarebäck stod för 50,6 % av produktionen, dvs 30,9 Mm³. Av den totala mängden producerat dricksvatten levereras 47,2 Mm³ till hushåll och industri. Resterande mängd förbrukas dels av vattenverken internt (1,5 Mm³), dels genom läckage (12,3 Mm³). En person använder i snitt 181 liter dricksvatten/dygn, beräknat på totala antalet invånare i kommunen [va-verket (1997)].

I figur 3h illustreras reningsprocesserna på Lackarebäck. De grå boxarna med dubbla kantlinjer representerar de reningsprocesser som finns på verket och är beskrivna i avsnitt 3.2. ”Teknisk beskrivning av Lackarebäck”. Processboxarna representerar produktion av kemikalier och finns beskrivna under avsnittet kemikalieproduktion.

Inventeringen av dricksvattenproduktionen är uppdelad i två huvuddelar; kemikalieförbrukning och energianvändning. Resultatet är redovisat per producerad m³ dricksvatten (30,9 Mm³ från Lackarebäck, 61 Mm³ totalt från de båda verken).

3.3.2.1. Kemikalieförbrukning

Kemikalieförbrukningen på Lackarebäck redovisas i tabell 3a, undantaget reaktiverat kol. Förbrukningen är ett årsmedelvärde för 1997 [va-verket (1997)]. Alelyckeverket finns endast med som en jämförelse, ingen ytterligare inventering av verket är gjord i analysen. I figur 3h framgår det var i vattnets väg som respektive kemikalie tillsätts.

Tabell 3a: Kemikalieförbrukningen för respektive vattenverk [va-verket (1997)].

Kemikalier	Lackarebäckverket (g/m ³ dricksvatten)	Alelyckeverket (g/m ³ dricksvatten)
Bränd kalk	17	32,4
Aluminiumsulfat	33,5	35,6
Klor	0,7	1,13
Natriumklorit	1,4	1,34
Koldioxid	31,4	33,9
Natriumhydroxid	61,9	6,1

Mängden kol som varje år behöver reaktiveras uppgår för Lackarebäck till cirka 250 m³. Kolfiltren reaktiveras ungefär vart fjärde år. Under en fyra års cykel, inklusive reaktivering, försvinner ungefär 5% av kolet. Läckaget beror bland annat på att partiklarna slits och blir mindre och försvinner ut i avloppet vid spolning samt att en del förbränns vid reaktiveringen. På Lackarebäck finns 16 stycken kolfiltar innehållande 50 m³ aktivt kol styck. Per producerad mängd dricksvatten blir mängden reaktiverat kol $8,09 \cdot 10^{-6}$ m³/m³ dricksvatten vilket ger med en densitet på 450 kg/m³ förbrukningen 3,64 g/m³ dricksvatten för Lackarebäck [Carlsson (1998)].

3.3.2.2. Energianvändning

Data för energianvändningen har hämtats ur va-verkets rapport ”Energibalans 1997”. Enligt rapporten har Lackarebäckverket delats upp i de två förbrukningsgrupperna uppvärmning, samt process och övrigt. Användningen anges som ett medelvärde för 1997.

Uppvärmning av verket sker med hjälp av ett vattenburet system som via en värmepump får värme från det inkommande råvattnet. Som komplement till värmepumpen finns dels en elpanna och dels tre oljeeldade pannor. I tabell 3b redovisas energianvändningen vid uppvärmning, totalt och uppdelat på de olika användningsposterna.

I posten process och övrigt ingår mindre system som till exempel elmotorer, styr- och reglersystem med mera.

Tabell 3b: *Energianvändning under 1997 inom Lackarebäckverket samt energislag [Energibalans, va-verket, (1997)].*

	Energianvändning (kWh)	Energislag	Kommentar
Uppvärmning, totalt	3141266	olja/el	
<i>Värmepump</i>	276122	el	
<i>Elpanna</i>	212364	el	
<i>Olja</i>	2652780	olja	Eldningsolja (9880 kWh/m ³)
Process och övrigt	2300474	el	

3.3.3. Dricksvattennät

Avsnittet dricksvattennät behandlar vattnets väg från råvatten till vattenverk samt från vattenverk till konsument. En uppdelning har gjorts mellan drift och underhåll av vattennätet. Med drift menas den dagliga drift som gör att dricksvattnet levereras till konsumenten. Till underhåll räknas den typ av arbete som gör det möjligt att erhålla en jämn drift och därmed leverans av vatten. I avsnittet om drift kommer pumpning av vatten till och från verken att behandlas, transporter utförda av hela organisationen och övrig energianvändning. I det andra avsnittet, underhåll av dricksvattennät, behandlas distributionsnätet.

3.3.3.1. Drift av dricksvattennät

I drift ingår pumpning av vatten till och från verken, transporter samt övrig energianvändning. Transporterna som beaktas härrör från dricksvattenproduktionen, och de flesta av va-verkets avdelningar bidrar. Det har inte tagits hänsyn till varför transporterna utförts, det vill säga att transporter som till exempel är utförda i samband med expansion av römnätet är inkluderade. Data återfinns sammanslaget och ingen uppdelning mellan bränsleförbrukning för de olika avdelningarna har gjorts i brist på uppgifter.

Vad det gäller laboratoriet har inte någon analys varit möjlig pga det stora antalet kemikalier som används. Övrig energianvändning som återfinns är silbyggnaden i Lärjeholm, Ringöns kontor, förråd och verkstad samt mätarverkstaden.

Pumpning

Pumpning är den dominerande energianvändningsposten inom va-verket. Förutom pumpdriften används energi till kringutrustning. Data har hämtats ur va-verkets rapport Energibalans 1997.

Pumpning av råvatten sker via tre pumpstationer varav en är placerad vid Alelyckan, en under Härlanda tjärn och en vid Rådasjön. Pumpstationen vid Härlanda tjärn pumpar upp råvattnet till Delsjöarna och pumpstationen vid Rådasjön pumpar vatten från reservvattentäkten Rådasjön till Delsjöarna. I tabell 3c visas energianvändningen vid pumpning av råvatten, uppdelat på de tre pumpstationerna samt som en total post.

Pumpning av dricksvatten ut på nätet sker dels från Alelyckan och dels från Lackarebäck. I tabell 3c visas energianvändningen för pumpningen ut från vattenverken

Tabell 3c: *Energianvändning vid pumpning av råvatten till vattenverken och dricksvatten från vattenverken ut på dricksvattennätet [Energibalans va-verket (1997)].*

	Volym (Mm ³)	Användning (MWh)	energislag
<i>Alelyckan råvatten</i>	33,44	2670	el
<i>Härlanda tjärn</i>	38,82	8332	el
<i>Rådasjön</i>	5,63	696	el
Råvatten, totalt	77,90	11698	
<i>Alelyckan dricksvatten</i>	30,16	7346	el
<i>Lackarebäck</i>	30,84	1319	el
Dricksvatten, totalt	61,00	8665	
Pumpning vattenverken, totalt	138,90	20363	

På dricksvattennätet finns fem stycken dricksvattenpumpar. Totalt finns det tre stycken hävertstationer: Lärjeholm, Brattekleve och Kotången. Energianvändningen avser inte bara vakuumpumpen utan även ljus och uppvärmning av lokal, dvs den totala användningen. En katastrofbrunn för kontaminerat vatten finns vid Boråsvägen. Kontinuerlig tömning av dagvatten ur brunnen sker. Övriga anläggningar som använder el är reservoarer, tunnlar, katodiska skydd, värmekablar och brandposter. I tabell 3d redovisas data för energianvändningen.

Tabell 3d: *Övrig energianvändning vid distribution av dricksvatten och råvatten [Energibalans va-verket (1997)].*

	Energianvändning (MWh)	energislag
<i>Hävertstationer</i>	46,5	el
<i>Katastrofbrunn</i>	10,5	el
<i>Dricksvattenpumpar på nätet</i>	11282,0	el
<i>Övriga anläggningar</i>	513,2	el
Övrigt, totalt	11852,3	

Transporter

Inom va-verkets avdelningar sker en mängd olika transporter. De som direkt härrör till dricksvattenproduktionen är rörnätsservice vatten (RSV), halva rörnätsservice rör (RSR), rörnätsservice mätare (RSM), produktion Alelyckan (PNA), produktion Lackarebäck (PNL), halva projekteringsavdelningen (PJ), 1/3 av bygg och underhåll (BY) och halva laboratoriet [Energibalans va-verket (1997)]. Nämda transporter redovisas för i tabell 3e. I bränsleförbrukningen är va-verkets fordon, egen bil i tjänsten och diverse motordrivna apparater inkluderade. Alla transporter är inkluderade, även transporter för nyläggning av rör, i samband med servisarbeta och rörbrott, poster som försumrats under rubriken ”distributionsnätet”.

Tabell 3e: Bränsleförbrukning av transporter inom va-verket relaterade till dricksvattenproduktion (9880 kWh/m³ diesel; 8720 kWh/m³ bensin) [Energibalans va-verket (1997)].

Avdelning	Bensin (m ³)	Bensin (MWh)	Diesel (m ³)	Diesel (MWh)
BY	9,8		8,2	
RSV	55,5		0	
RSR	13,2		0	
RSM	8,1		1,9	
PNA	9,5		0	
PNL	2,8		0	
PJ	2,8		0	
lab	1,5		0	
Summa transporter inom va-verket relaterade till dricksvatten	103,2	899,9	10,1	99,8

Provtagningar

Va-verkets laboratorium ligger på Lackarebäck. Labbet sköter dels alla interna analyser samt utför en del analysarbete externt. År 1997 producerade labbet 207 000 analysenheter, varav 23 600 såldes externt och 12 400 till Göta Älvs vattenvårdförbund. De senare kan betraktas som sålda externt. Laboratoriet är ackrediterat enligt SWEDAC för såväl fysikalisk-kemiska som mikrobiologiska analyser.

Miljöbelastning från laboratoriet beträffande kemikalieförbrukning har inte kunnat analyseras pga det stora antalet olika kemikalier som används.

Vad det gäller transporter i samband med regelbunden provtagning tas det varje år i snitt 1000 vattenprover ute på dricksvattnenätet som analyseras i laboratoriet. Utöver dessa 1000 tillkommer vattenprover som inhämtas och analyseras på konsumentens begäran. De sistnämnda proverna ingår i kontinuerligt kvalitetsarbete och har därför beaktats i analysen. Ett litet antal prover hämtas in från avloppsledningsnätet, men detta antal är så litet att det kan försummas. Då prover ofta inhämtas samtidigt som andra typer av arbeten utförs försummas miljöpåverkan från transporter vid provinsamling.

Övrig energianvändning

I övrig energianvändning återfinns silbyggnaden i Lärjeholm, Ringöns kontor, förråd och verkstad samt mätarverkstaden. Endast hälften av Ringöns energianvändning belastar dricksvattenproduktionen enligt tabell 3f.

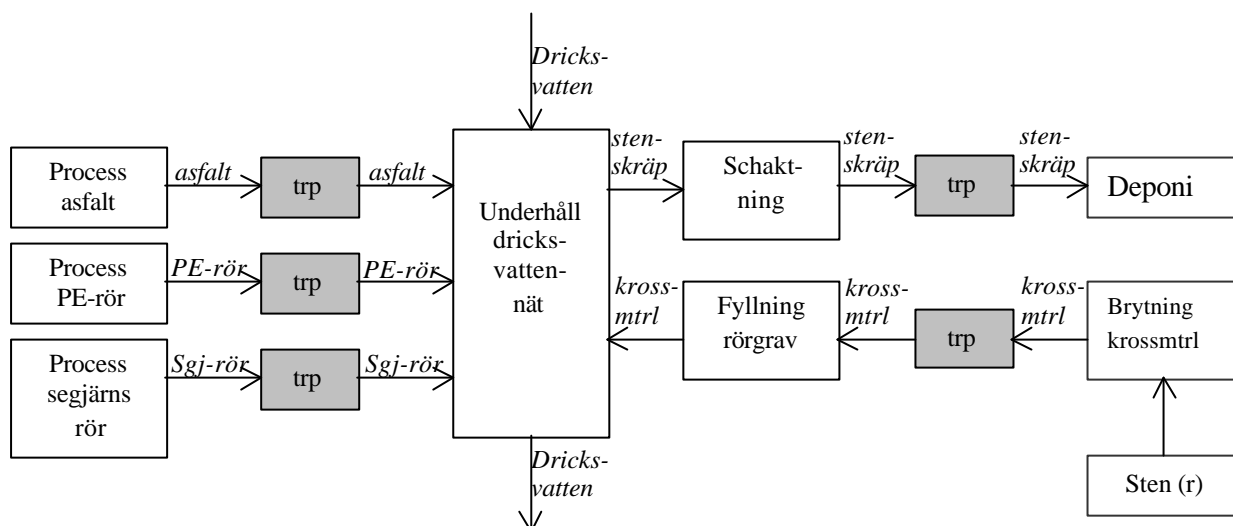
Tabell 3f: Övrig energianvändning [Energibalans va-verket (1997)].

	kWh el	kJ/m ³ vatten
Lärjeholm	104942	6,2
Ringön	870678	51,4
mätarverkstaden	224790	13,3
summa övrig energianvändning	1200410	70,9

3.3.3.2. Underhåll av dricksvattennät

Underhåll av dricksvattennätet som inventerats är regelbundet, utfört för en kontinuerligt drift. Underhåll som är mindre och ej regelbundna, exempelvis målning av bassänger och andra liknande aktiviteter, behandlas ej. Främst är det underhållet av dricksvattennätet som har inventerats och produktionen av underhållsmaterial.

I figur 3g illustreras underhåll av dricksvattennätet med ett principalschema. Inventering har utförts av materialen asfalt, PE-rör (polyeten), segjärnsrör och krossmaterial för att möjliggöra bestämning av miljöpåverkan per funktionell enhet.



Figur 3g: Principschema för underhåll av dricksvattennät.

Produktion av underhållsmaterial

Underhållsmaterial som produceras till underhåll av dricksvattenledningsnätet är främst material som förbrukas vid omläggning av rör för dricksvattendistribution såsom rör, stenmaterial och asfalt. Med underhållsmaterial menas inte mindre enheter såsom pumpar trots att dessa har en begränsad livstid.

PE – rör

Hårda polyetenrör är den slags rör som används till störst del vid omläggning och nyläggning av dricksvattenledningar [va-verket (1997)]. Fördelar med plaströren i jämförelse med segjärnsrören är exempelvis vikt, elasticitet och livslängd. Nackdelar med plaströren kan bland annat vara att hälsofarliga ämnen från omgivningen diffunderar in genom rören till dricksvattnet samt att de har sämre skadestatistik.

Steg som inventeras är tillverkning av plastgranulat från råvara till färdig produkt, energianvändningen under tillverkningsfasen av rören samt transporter. Rören består inte endast av plastgranulat, utan även i varierande omfattning av exempelvis fyllnadsmedel, förstärkare med mera. Alla material i rören,

förutom plastgranulaten, har dock försumrats i denna rapport. Återvinning förekommer inte då rören oftast lämnas i marken eller schaktas bort till deponi tillsammans med schaktmassorna.

Själva tillverkningen av rören sker för va-verkets räkning på två olika företag; dels på SWE-pipe i Ulricehamn och dels på Uponor i Borås. Produktion av PE-rör från plastgranulat kan uppskattas förbruka 4 MJ/kg färdigt plaströr [Tillman et al (1996)].

Råmaterialet till rören som tillverkas vid Uponor levereras av Borealis, Stenungsund [Nöjd (1999)]. Dock tillverkas plastgranulaten på flertalet olika anläggningar, bland annat i Stenungsund, Finland och Norge. Genom raffinering av råolja erhålles bland annat nafta och propan som i sin tur sönderdelas till i huvudsak eten och propen genom upphettning vid våtgaskrackningen. Vid våtgaskrackning tillsätts vattenånga. I Stenungsund transporteras etenet via rörledning till Borealis, som sedan tillverkar plastgranulaten. Data för tillverkning av polyeten är litteraturdata, baserade på medeldata från Europas plastindustri [Boustead (1993) (Citerad i Tillman et al (1996))].

Beroende på plastgranulatens egenskaper sker tillverkningen antingen i Stenungsund, Finland eller Norge. Antagandet har gjorts att all plastgranulat levereras från anläggningen i Stenungsund till rörtillverkarna i Borås och Ulricehamn. Avståndet har uppskattats till 100 km. Transport från respektive företag till va-verkets mellanlager på Ringön, Göteborg, sker med lastbil.

Segjärnsrör

Segjärnsrören köps in från Österrike. I analysen har litteraturdata använts [Tillman et al (1996)]. Transport sker med lastbil och avståndet har uppskattats till 1800 km. Data finns redovisat i bilaga A.

Stenmaterial

Stenmaterial används dels i rörgraven och dels vid tillverkning av asfalt. Materialet som används är borrarad, sprängd sten, tillverkat av Sabema. Berget sprängs och sprängstenen transporteras med en dieseldriven arbetsmaskin till en stenkross. I energiförbrukningen ingår all drift för anläggningen och elanvändningen grundar sig på svensk genomsnittsel. Tillverkning och förbrukning av sprängämnen ingår ej [Stripple (1995)].

Asfalt

Vid tillverkning av varm asfalt blandas varm bitumen med uppvärmt stenmaterial. Blandningen kallas beläggingsmassa och tillverkningen sker vid ett så kallat varmasfaltverk. Eventuell klistering av underlaget för att öka vidhäftningen vid vägbeläggningen med asfalt försummas.

Data för bitumentillverkning är litteraturdata. Råoljan för bitumentillverkningen utvinns i Venezuela och transporteras med tankbåt till Nynäshamn för raffinering. Vid raffinering utvinns bitumendelen ur råoljan och de lättare produkterna går vidare till förädling. Allokeringen av energianvändningen och emissionerna från raffinaderiet till de olika produkterna har skett på viktsbasis och med en allokering fördelning på 40 % för bitumen respektive 60 % för de lättare produkterna. Det finns i Sverige 12 stycken depåer för lagring av bitumen; i Göteborg och i Nynäshamn ligger depåerna i anslutning till ett raffinaderi. Alltså sker det ingen transport av bitumen till depån i Göteborg. Lagring av bitumen sker i varmhållna cisterner. Uppvärmningen sker dels genom användning av el (90%) och dels genom eldningsolja 1.

Resultaten från de olika stegen vid framställning av bitumen, från råoljeutvinning till lagring i lokal depå, inkluderande påfyllning av tankbil för leverans till kund, presenteras aggregerat under processen Produktion av bitumen. Se bilaga A.

3.3.3.2.2. Underhållsarbete

Varje år sker omläggning, nyläggning och renovering av vattenledningsnätet. Endast omläggning och renovering behandlas, då expansion av ledningsnätet ligger utanför analysens ramar. Även omläggning av serviser försummas, då antalet är få och sträckorna generellt sett korta. I tabell 3g redovisas längden på de arbeten som utförts under 1997 på dricksvattennätet samt rörtyper och omläggningsmetod.

Tabell 3g: Underhåll på dricksvattennätet; underhållsmetod, längd och typ av rör (PEH = polyeten hård) [va-verket (1997)].

	<i>Segjärn(m)</i>	<i>PEH(m)</i> (PE80)	<i>Gjutjärn(m)</i>
Renoverad	-	-	779
Omlagd	2177	12707	-
<i>genom</i>			
Schakt	2177	9486	-
Rörspräckning	-	2502	-
Rörinfodring	-	719	-
Cementinfodring	-	-	779

Renovering av gjutjärnrör betyder att dessa cementbruksisolerar. Omläggning av rör sker genom schaktning, rörspräckning eller rörinfodring. Vid schaktning schaktas en rörgrav upp för nedläggning av röret. Rörgraven kan antingen sammanfalla med det gamla rörets sträckning eller utgöra en helt ny sträcka. Funktionsmässigt ska dock omlagda ledningar ersätta sådana som slopas. Utförligare beskrivning finns i avsnitt 3.2. ”Teknisk beskrivning av Lackarebäck”.

Rören som läggs om är av olika diameter. Ett medelvärde på diametern och vikten per längdenhet har uppskattats för de två olika rörtyperna. För att relatera till den funktionella enheten redovisas även längden och vikten omlagda rör per m³ producerat dricksvatten. Se tabell 3h.

Tabell 3h: Data för PE-rör och segjärnrör samt förbrukning per funktionell enhet.

	Diameter (mm)	Vikt / l.e. (kg/m)	mm rör/m³ dricksvatten	g rör/m³ dricksvatten
PE	200	1,5	0,2028	0,312
Segjärn	250	19,0	0,0357	0,678

Massan som schaktas upp används till hälften vid fyllnad av den nya rörgraven och resten transporteras bort med lastbil till närmaste deponi. Nytt material i rörgraven utgörs av krossmaterial inköpt från Sabema. Densiteten för krossad sten kan uppskattas med 1620 kg/m³ [Stripple (1995)]. Då har värdet för lös volym använts. Lös volym representerar den volym materialet upptar då det grävs upp ur marken.

Alla segjärnrör måste läggas om med traditionell schaktning. Tabell 3g visar även att den största delen av polyetenrören läggs om med schaktning. Vid rörspräckning och rörfodring behöver endast en schakt läggas i snitt var 20:e meter, och på detta sätt minskar mängden schaktmassa och nylagd asfalt betydligt [Nyman (1998)]. Det är främst vid servisledningar och skarpa böjar som schakter behöver läggas, och även så klart i början och slut på arbetet. Ungefär 50% av schaktmassorna byts ut mot nytt krossmaterial. Tabell 3i visar skillnader i schaktmassor, förbrukning av nytt stenmaterial och asfalt vid val av schaktning eller rörfodring/rörspräckning.

Tabell 3i: Skillnader i förbrukning av schaktmassa, nytt stenmaterial och asfalt beroende på omläggningssmetod.

	<i>Schaktmassa (m³/m rör)</i>	<i>Nytt stenmaterial (m³/m rör)</i>	<i>Asfalt (m²/m rör)</i>
<i>Schaktning</i>	2,25	1,125	2,0
<i>Rörfodring/spräckning</i>	0,5	0,25	0,4

För arbetet vid schaktning har litteraturdata enligt schaktbarhetsklass 2 använts [Stripple (1995)]. Exempel på material från schaktbarhetsklass 2 är packad jord, hård lera och grus. Mindre än 25 % är sten. Själva energianvändningen vid nedläggning av rören i rörgraven försummas.

4. Inventeringsresultat

Resultatet av de beräkningar som utförts i inventeringsdelen redovisas här. En uppdelning är gjord mellan de tre olika parametrarna energi, emissioner och resursuttag. Målsättningen är att redovisa resultat som är representativa för frågeställningen. För fullständiga resultat se bilaga D.

4.1. Redovisning inventeringsresultat

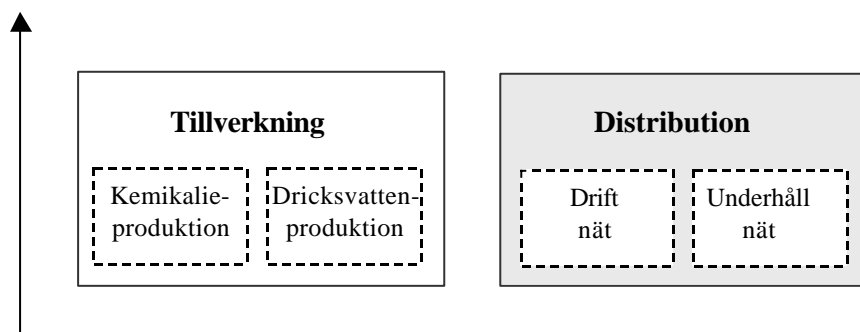
För att ta hänsyn till det specifika läckage av dricksvatten som sker vid Göteborgs vattenverk måste resultatet från inventeringen korrigeras med en faktor. I inventeringsdelen beräknades resultatet per producerad mängd dricksvatten, utan hänsyn till läckaget från dricksvattennätet.

Totalt producerad mängd dricksvatten från de två vattenverken är 61 Mm³ [va-verket (1997)]. Vattenverkens egna förbrukning står för 1,5 Mm³ och läckaget på nätet för 12,3 Mm³. Totalt kvar som kan levereras till kund är således 47,2 Mm³.

Alltså måste 1,29 m³ dricksvatten produceras för att 1,0 m³ ska nå kund, om hänsyn tas till läckage och interna förbrukning.

Viktigt att notera är att resultaten från inventeringen har multiplicerats med faktorn 1,29 för att ta hänsyn till intern förbrukning på vattenverken samt läckage på dricksvattennätet.

Vid redovisning av resultat har en uppdelning enligt målformuleringen mellan tillverkning och distribution gjorts.



Figur 4a: Illustration av hur resultatet för det totala systemet är redovisat i diagramform, uppdelat mellan de i målformuleringen definierade delsystemen. Inom delsystemen har en ytterligare uppdelning gjorts enligt figur.

I figur 4a visas hur inventeringsresultaten är redovisade. Inom tillverkningen är resultatet för kemikalieproduktionen och dricksvattenproduktionen redovisade separat. Anledningen är att ge

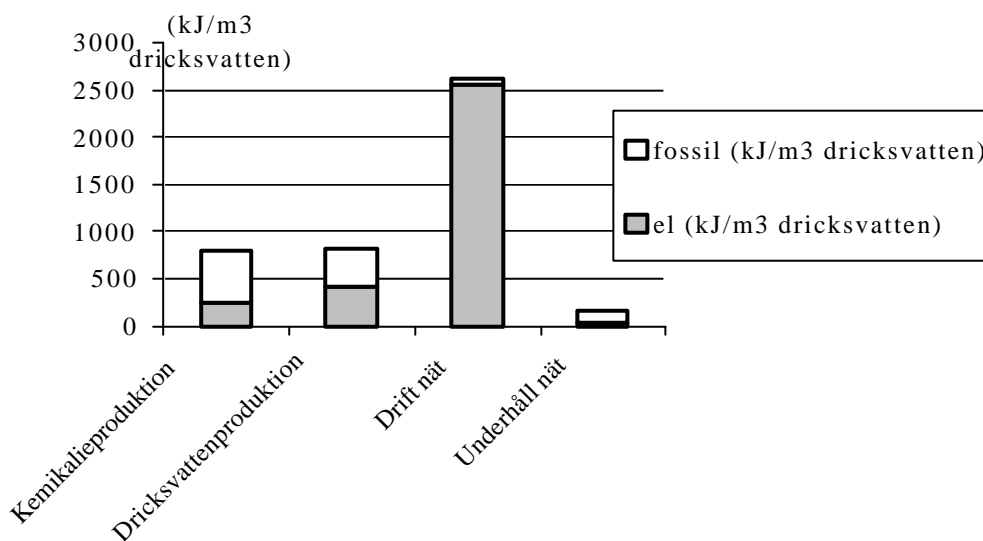
tydligare och mer specifika resultat för de olika stegen. För distributionen är dricksvattnenätet uppdelat mellan drift och underhåll. Driften av nätet representeras i princip av pumpningen av råvatten och dricksvatten. En särskiljning underlättar förståelsen för distributionens inventeringsresultat.

4.2. Användning av energi

Energianvändningen vid produktion av dricksvatten uppgår till totalt 4,39 MJ/m³ dricksvatten. Fördelningen mellan de olika posterna framgår av figur 4b. En uppdelning mellan användning av fossil energi och elektricitet har gjorts. Transporter ingår i fossil energi.

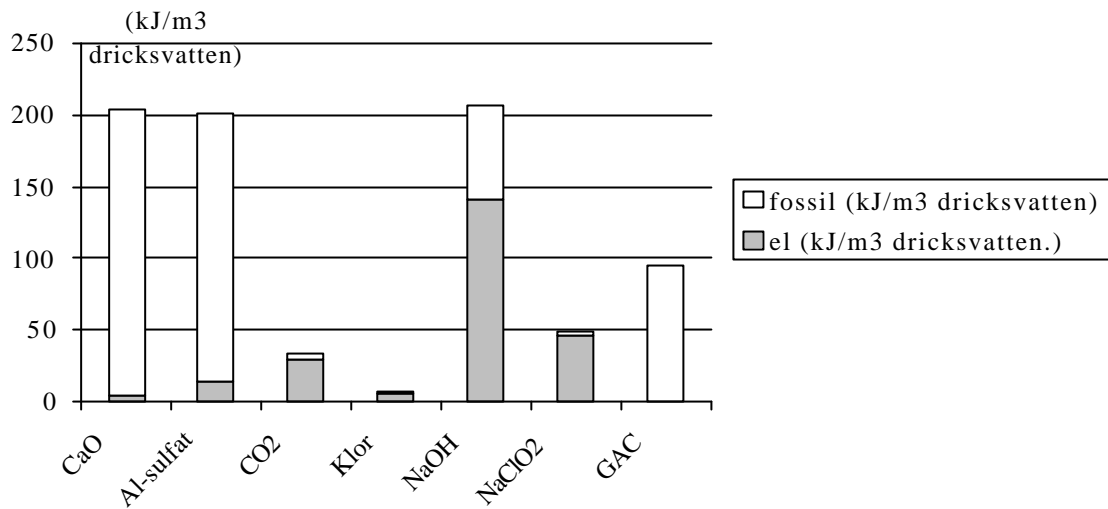
Vid tillverkningen har kemikalieproduktionen och dricksvattenproduktionen ungefär lika stor energianvändning. Den fossila energi som används till dricksvattenproduktionen utgörs av olja som används för uppvärmning av Lackarebäck. Elanvändningen sker främst inom processerna. En närmare beskrivning av energianvändningen vid produktion av kemikalierna finns i figur 4c och 4d.

Enligt figur 4b är det drift nät som står för den största energianvändningen. Driften av nätet innefattar pumpning av råvatten till vattenverket och dricksvatten ut på nätet, samt transporter inom organisationen. Energianvändningen vid pumpning uppgår till 2,55 MJ/m³ dricksvatten vilket utgör cirka 60% av den totala energianvändningen. I posten underhåll av nät är det främst transporter av material som står för användningen av energi.



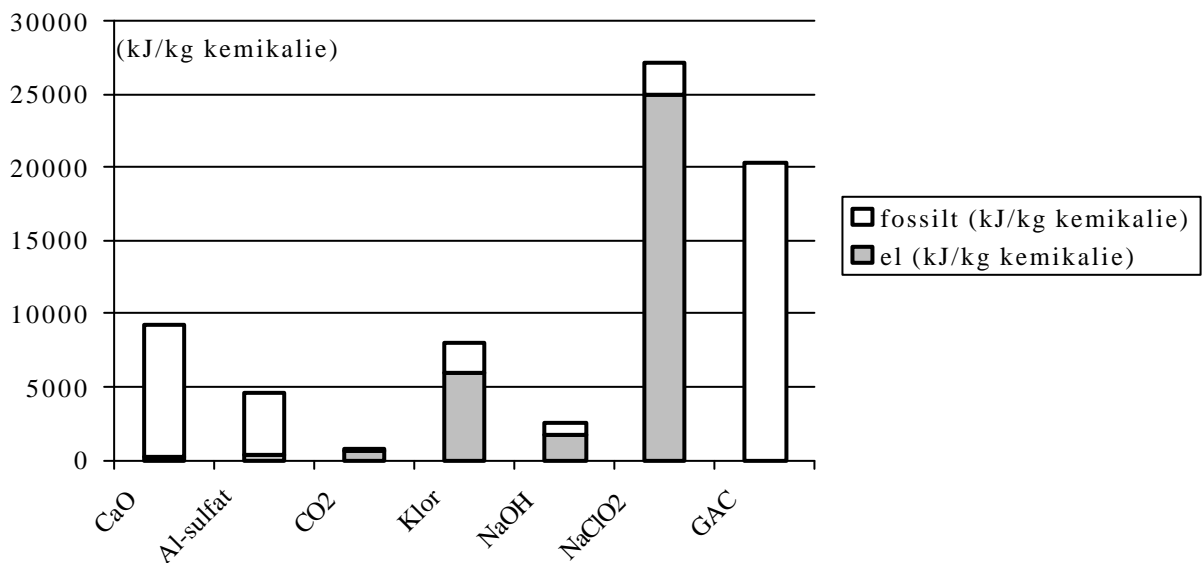
Figur 4b: Energianvändning vid dricksvattenframställning, uppdelat mellan fossil energi och el. Indelningen av resultatet förklaras i figur 4a.

I figur 4c och 4d redovisas energianvändningen vid kemikalieproduktion uppdelat på de olika kemikalier som används för dricksvattenframställning. I figur 4c är energianvändningen relaterad till den funktionella enheten; i figur 4d redovisas energianvändningen per kg producerad kemikalie.



Figur 4c: Energianvändning vid kemikalieproduktion, uppdelat mellan fossil energi och el samt relaterad till den funktionella enheten.

Natriumhydroxid är den kemikalie som förbrukas i störst mängd vid Lackarebäck (se tabell 3a), följd av aluminiumsulfat och CO₂. Enligt figur 4c är energianvändningen ungefär lika för framställning av den brända kalken, aluminiumsulfaten och natriumhydroxiden, relaterat till den funktionella enheten.



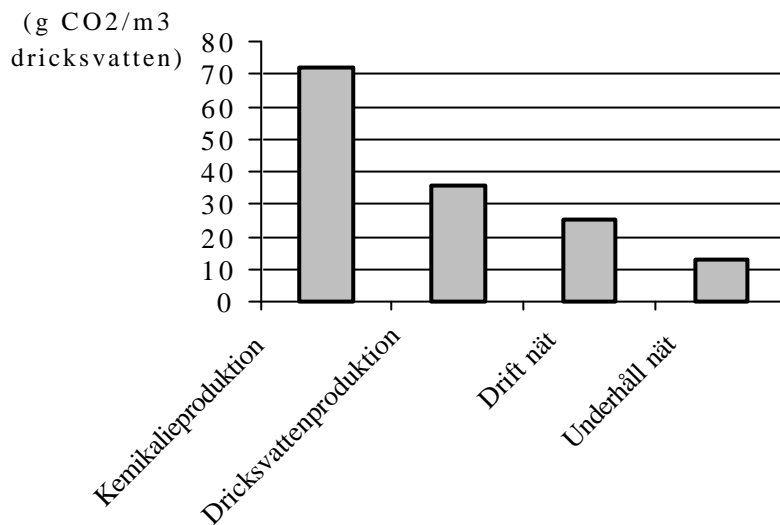
Figur 4d: Energianvändningen vid kemikalieproduktion per producerad kilo kemikalie. Särskiljning mellan fossil energi och el.

Energianvändningen per kilo kemikalie visas i figur 4d. NaClO_2 är den kemikalie som tilldelats störst energianvändning. Störst fossil energianvändning per kilo producerad kemikalie står reaktivering av den granulerade kolen (GAC) för, följt av kalcineringen av kalksten. I figur 4g som visar emissioner av CO_2 per kg producerad kemikalie är förhållandet mellan CaO och GAC motsatt; här är det CaO som står för de största CO_2 -utsläppen. Det är valet av fossil energikälla som är resultatet till detta; vid reaktivering av granulerat kol används naturgas och vid kalcinering kolpulver. I bilaga B redovisas emissionsfaktorerna för respektive bränsle.

4.3. Emissioner till luft

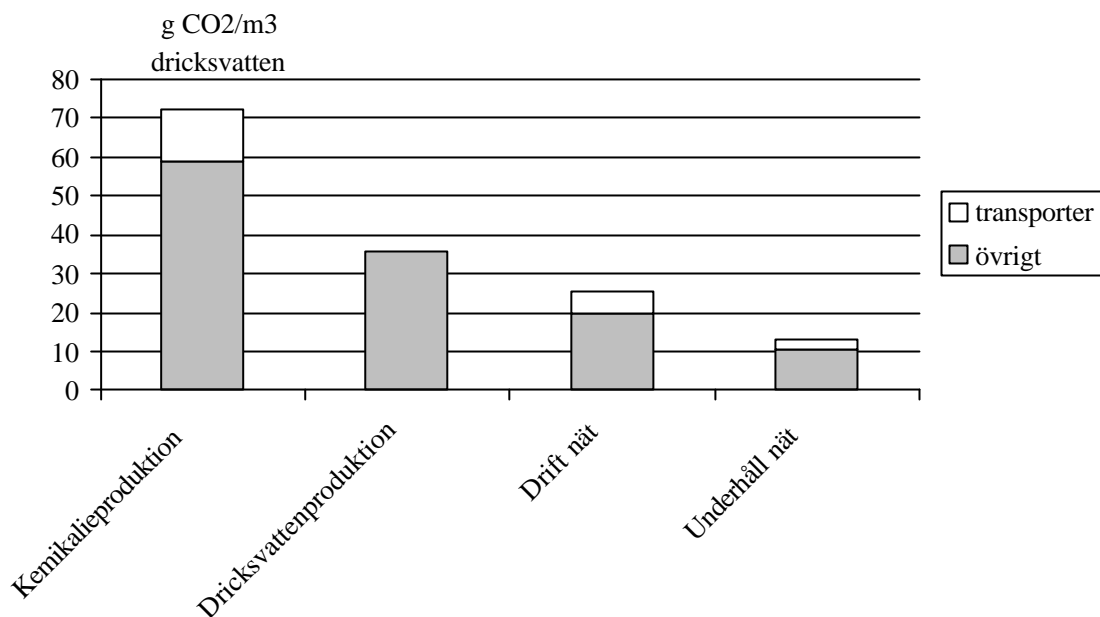
De emissioner som uppkommer vid framställning av dricksvatten är främst emissioner till luft. Dominerande bland emissionerna till luft är CO₂ följt av NO_x, SO₂, partiklar, CO och HC i nämnd ordning. Emissionerna härstammar främst från förbränning av fossila material. De emissioner till luft som uppkommer vid produktion av el är inkluderade i resultatet.

I figur 4e redovisas emissionen av CO₂ för de olika delposterna vid dricksvattenframställning. Enligt figur 4b är det kemikalieproduktionen som har den största fossila energianvändningen och får därför även störst andel emissioner till luft.



Figur 4e: Emission av CO₂ till luft relaterad till den funktionella enheten. Indelningen av resultatet förklaras i figur 4a.

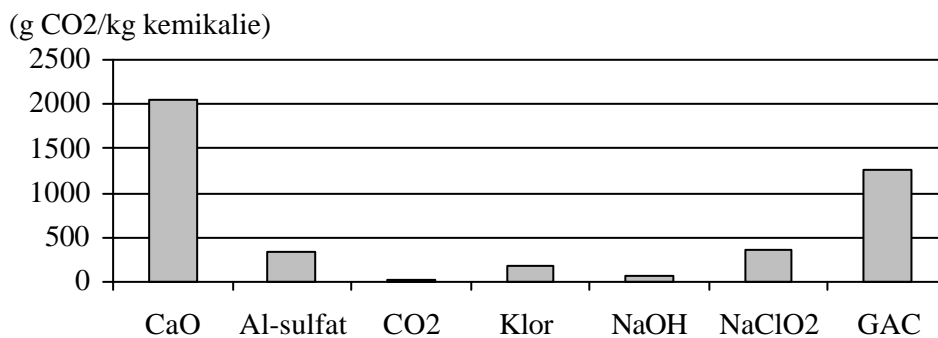
I figur 4f visas hur stor del av CO₂-emissionerna som transporterna står för vid tillverkning av en m³ dricksvatten.



Figur 4f: Emission av CO₂ till luft relaterad till den funktionella enheten. Emissioner från transporter är utskiljda från den totala emissionen. Indelningen av resultatet förklaras i figur 4a.

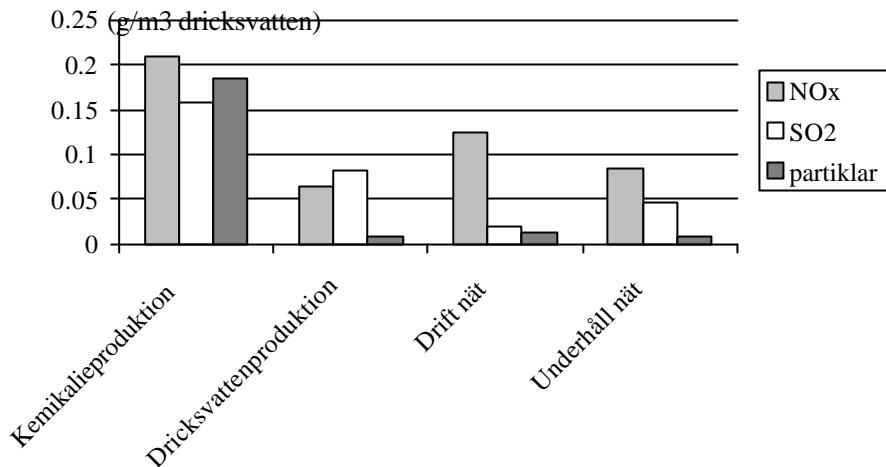
Dominerande bidrag till CO₂-emissionerna vid kemikalieproduktion enligt figur 4f har produktion av CaO (62%) och aluminiumsulfat (20%), följt av NaOH och aktivt kol (ca 8%). Produktion av CO₂, klor och NaClO₂ står för mindre än 1% av CO₂-emissionerna.

I figur 4g visas emissionen av CO₂ vid produktionen av ett kilo av respektive kemikalie. Vid kalcinering av kalksten eldas kalcineringsugnen med kolpulver och vid reaktivering av granulerat kol används naturgas, därav CO₂-emissionerna.



Figur 4g: Emissioner av CO₂ till luft per kg producerad kemikalie.

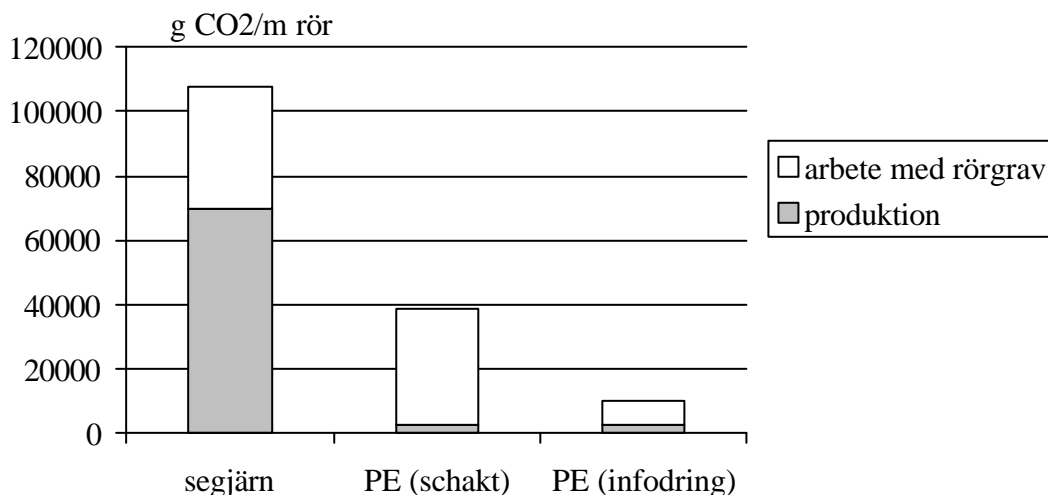
I figur 4h visas de största emissionerna till luft, utom CO₂. Att driften av nätet orsakar näst störst utsläpp av NO_x beror på förbränning av diesel, som har ett i förhållande till andra bränslen högt NO_x-innehåll. Utsläppet orsakas av va-verkets interna transporter, se tabell 3e. Viktigt att påpeka är att drivmedlet inte till största delen utgörs av diesel, utan av bensin.



Figur 4h: Emissioner till luft, utom CO₂. Indelningen av resultatet förklaras i figur A.

I figur 4i visas emissioner av CO₂ uppdelat på de olika sätten att lägga rör. För PE-rören är miljöpåverkan inte störst för tillverkningsfasen utan för kringarbetet vid omläggningen.

Viktigt att notera är att ingen hänsyn har tagits till segjärnsrörens större vikt vid beräkning av emissioner från omläggning. Utsläppen av CO₂ borde vara större från arbetsmaskinerna vid arbete med järnrören.



Figur 4i: Emissioner av CO₂ per meter omlagt rör. Jämförelse mellan de olika rörtyperna och principerna för omläggning. Särskiljning mellan produktionsfasen av rormaterialet och arbetet med omläggningen.

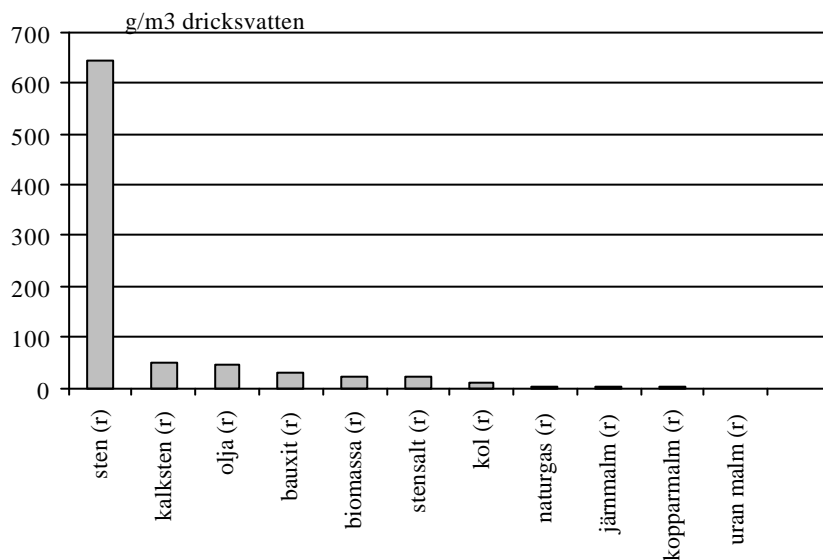
4.4. Övriga emissioner

Emissioner till vatten domineras av COD, BOD, suspenderat material och N-tot i nämnd ordning. Halterna är små. Alla uppgifter finns redovisade i bilaga D.

Utsläppen till mark är försumbara. Även för de respektive produktionskedjorna för kemikalierna är det mycket små utsläpp till mark. Det avfall som placeras på deponi antas vara utan läckage till omgivningen. Vattenverksslammet antas utgöra så liten del av den totala mängden slam från reningsverket att denna bit kan försummas.

4.5. Resursförbrukning

De resurser som används vid tillverkning av 1 m³ dricksvatten redovisas i figur 4j. Förbrukningen av sten kommer från arbetet med nya rörgravar vid underhåll av dricksvattennätet. Vattenanvändningen ingår ej. Resurser som används vid tillverkning av el är inkluderade i resursförbrukningen enligt figur 4j.



Figur 4j: Resursförbrukning vid framställning av 1 m³ dricksvatten.

Förbrukningen av biomassa kommer från den svenska genomsnittselen [Brännström-Norberg et al (1996)].

4.6. Sammanfattning inventeringsresultat

För att ge ett överskådligt resultat för framställningen av 1 m³ dricksvatten levererat till konsument redovisas en sammanfattning av inventeringsresultatet i tabellen nedan. Hänsyn har tagits till läckage på dricksvattnenätet samt intern förbrukning enligt 4.1. ”Redovisning inventeringsresultat”. Elproduktionen har i tabellen lagts utanför systemet.

Tabell 4a: Sammanfattning av inventeringsresultatet.

		(per m ³ dricksvatten, levererat till kund)	
Energi (kJ)	fossil	<i>totalt</i>	1169,0
		<i>olja</i>	547,8
		<i>kol</i>	242,6
		<i>diesel</i>	242,4
		<i>naturgas</i>	136,3
	el		3237,2
Emissioner till luft (g)	CO ₂		121,4
	NO _x		0,45
	SO ₂		0,27
	CO		0,08
	partiklar		0,21
	HC		0,05
Emissioner till vatten (g)	COD		0,23
	BOD		0,01
Resursförbrukning (g)	kalksten		39,0
	bauxit		23,7
	stensalt		16,8
	olja		1,5
	järnmalm		1,0

Emissioner och energiåtgång vid brytning och förädling av de fossila bränslena har inte beaktats. De emissioner som uppkommer vid förbränning av de fossila bränslena finns inkluderade bland emissionerna i tabellen.

För tillverkningen av elen har inte några flöden bakåt i systemet följts. Alltså finns varken resursförbrukning eller emissioner för elproduktion redovisade i tabellen.

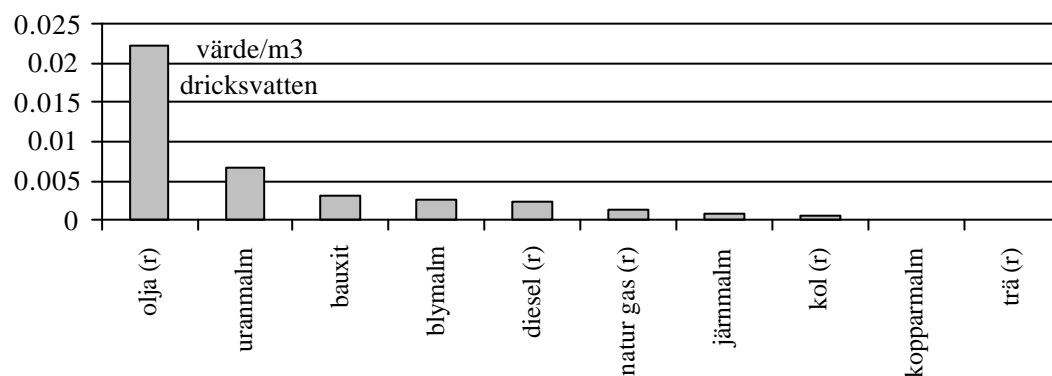
5. Värdering

Värdering med hjälp av viktningmetoder ger ett resultat i vilket hänsyn tagits till hur skadliga olika typer av miljöpåverkan är i förhållande till varandra. I den här rapporten är det emissioner och resursförbrukning som viktas. Tre olika typer av viktningmetoder behandlas; EPS-metoden, effektkategorimetoden och ekonapphetsmetoden. Beskrivning av de tre metoderna finns under rubriken "Vad är LCA?". Index för metoderna redovisas i bilaga C.

Resultatet vid utvärdering med hjälp av de tre olika viktning metoderna redovisas i diagramform. Hela livscykeln beaktas och det är de största posterna som redovisas, oavsett om de avser resursuttag eller emissioner. För redovisning av fullständiga resultat, se bilaga C. Viktigt att notera är att resultaten från effektkategorierna har multiplicerats med faktorn 1,292 för att ta hänsyn till intern förbrukning på vattenverken samt läckage på dricksvattnätet.

5.1. EPS-metoden

EPS-metoden är den av de tre viktning metoderna som tar störst hänsyn till förbrukning av resurser. I figur 5a redovisas resultatet vid resursförbrukning enligt EPS. Alla resurser som har ett index enligt EPS-metoden redovisas.



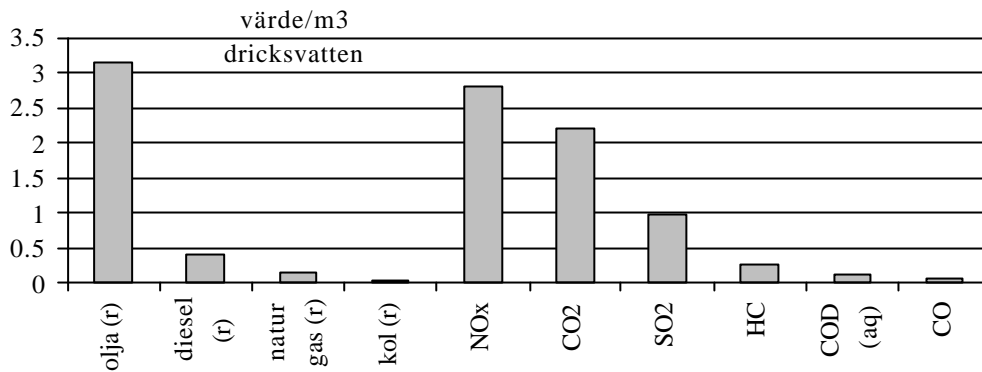
Figur 5a: Värdering enligt EPS-metoden av resursförbrukning, totalt för tillverkning och distribution.

Järn- och blymalm har beräknats på ett 100% mineralinnehåll, vilket ger ett större resultat än vad som är riktigt. Uranmalms uraninnehåll har beräknats innehålla 1% uran, vilket är i största laget. Värderingen kan därför ses som ett slags maxvärde. Aluminiuminnehållet i bauxiten har beräknats vara 25%.

Av emissionerna är det endast CO₂ som får något utslag; 0,009 ELU/m³ dricksvatten är resultatet.

5.2. Effektkategorimetoden

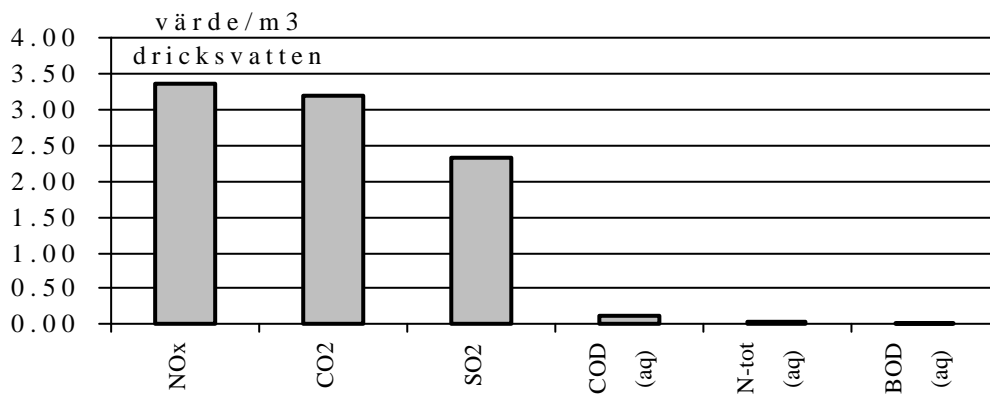
Effektkategorimetoden tar hänsyn till emissioner till luft och vatten samt förbrukning av energiresurser. I figur 5b visas resultatet vid utvärdering enligt effektkategorimetoden.



Figur 5b: Värdering enligt effektkategorimetoden, totalt för tillverkning och distribution. Index för resurser samt emissioner till luft och vatten (aq) är redovisade.

5.3. Ekknapphetsmetoden

I ekknapphetsmetoden tas ingen hänsyn till resursförbrukning. I figur 5c visas resultatet vid utvärdering med ekknapphetsmetoden.



Figur 5c: Värdering enligt ekknapphetsmetoden, gällande totalt för både tillverkning och distribution. Dominerande emissioner till luft och vatten (aq) redovisas.

De dominerande emissionerna till vatten och luft redovisas i figur 5c.

5.4. Jämförelse av resultat med olika värderingsmetoder

Enligt figur 5b och 5c ger effektkategorimetoden och ekoknapphetsmetoden liknande värderingsresultat för emissioner till luft och vatten; NO_x har störst miljöpåverkan, följt av CO₂ och SO₂. Vad det gäller EPS-metoden värderas emissionerna väldigt lågt i förhållande till resursförbrukningen, och det är i princip endast CO₂ som får något genomslag. I bilaga C visas det totala resultatet för värderingen.

Ekoknapphetsmetoden har inte några index för resursförbrukning. Både EPS-metoden och effektkategorimetoden har index för förbrukning av energiresurser. Vid jämförelse av de två metoderna enligt figur 5a och 5b är värderingsresultatet lika; olja har tilldelats störst miljöbelastning, följt av diesel, naturgas och kol. Värderingsresultatet följer mängden använd energiresurs per m³ dricksvatten.

EPS-metoden är den metod med flest index för resursförbrukning. I figur 5a redovisas värderingen av resursförbrukningen enligt EPS-metoden.

6. Diskussion

Avsnitt i resultatdelen som är speciellt intressanta eller som kan behöva en förklaring diskuteras. I avsnitten om tillverkning och distribution förklaras en del företeelser från resultatdelen. I avsnittet om systemgränser diskuteras hur valet av systemgränser påverkar resultatet.

Diskussion om metodvalet finns dels i avsnittet om LCA och dels i avsnittet om värderingsmetoder.

6.1. Tillverkning

Valet av elmix har stor påverkan på resultatet. I studien har svensk genomsnittsel valts enligt målformuleringen. Då vald elmix till största delen består av vattenkraft och kärnkraft blir emissionerna från produktionen av el små. Exempelvis är energianvändningen vid tillverkningen i princip lika stor för de två posterna kemikalieproduktion och dricksvattenproduktion (figur 4b). Ändå tilldelas kemikalieproduktionen i figur 4e nästan dubbelt så stora CO₂-emissioner som dricksvattenproduktionen. Skillnaden beror alltså på kemikalieproduktionens större användning av fossila bränslen i förhållande till dricksvattenproduktionen. Tydligast blir det vid jämförelse med driften av nätet, som är i särklass högst vad det gäller energianvändning men näst minst bland CO₂-posterna (figur 4e).

Vid kemikalieproduktionen är det NaClO₂ som har störst energianvändning per kilo. Data för NaClO₂ har inte påträffats i litteraturen och kunde inte heller erhållas av leverantör. Istället har energianvändningen uppskattats vara i samma storleksklass som för produktion av NaClO₃ [Tillman et al (1996)]. Dessa data är ursprungligen från 1984. Eftersom produktionsanläggningen för NaClO₂ är nybyggd [Frohagen (1998)] och data förhållandevis gamla kan ett så kallat "värsta fall" anses vara beskrivet. Energinvändningen vid produktion av NaClO₂ är antagligen mindre.

De kemikalier som bidrar mest till energianvändningen vid kemikalieproduktion för tillverkning av dricksvatten är enligt figur 4c CaO, aluminiumsulfat och NaOH. Alla tre kemikalierna har energikrävande processer; kalcinering av kalksten vid en temperatur av 1300°C, samt elektrolys som är en mycket energikrävande operation vilken används för både tillverkning av aluminiumsulfat och NaOH.

Det är tillverkningen som står för den största fossila energianvändningen och främst är det produktionen av kemikalierna som bidrar. Emissioner till luft blir följaktligen störst från kemikalieproduktionen. Av kemikalierna är det tillverkning av bränd kalk och aluminiumsulfat som står för de största emissionerna till luft vad det gäller CO₂ enligt figur 4g. Att bränd kalk tilldelas så stora CO₂ utsläpp beror dels på fossil energianvändning vid kalcinering och dels på att CO₂ frigörs från kalkstenen. Vid kalcinering av två kilo kalksten frigörs 880 gram CO₂, se stycke 3.3.1.1.

6.2. Distribution

Distributionen står för den största energianvändningen. Framförallt är det pumpningen av vattnet som har den största posten.

Den typ av rör som har minst miljöpåverkan är PE-rören. I figur 4i visas CO₂ emissionerna för de olika rörtyperna och för de två olika sätt som PE-rör kan läggas om på. Att miljöpåverkan är mindre vid infodring/spräckning än för konventionell schakt är ganska självklart. Minskad asfaltläggning och

mindre arbete med schaktmassor är några av fördelarna. För PE-rören kommer inte den största miljöpåverkan från produktionen av rören utan av kringarbetet.

Användningsområdena för PE-rör och segjärnsrör är olika och därför kan inte en jämförelse av de båda rörtyperna göras på ett rättvisande sätt. I stycket 3.3.2.2. "Underhåll av dricksvattennät" ges en bakgrund till användningen av de båda rörtyperna.

6.3. LCA

LCA är en metod som kan ge en förenklad bild av miljöpåverkan från komplicerade tekniska system men som aldrig ger en fullständig bild av det studerade systemet. Parametrar som mänsklig hälsa och kvalitetsaspekter är exempel på vad som kan falla utanför en livscykelanalys ramar.

Att ett dricksvatten ska bli välsmakande och ur hälsosynpunkt riskfritt är ganska självklart. För vattenverken medför detta en noggrann kontroll och reglering av vattnet och därmed en förbrukning av kemikalier. Miljöbelastningen kommer alltså att öka för vattenverket medan hälsan och det mänskliga välbefinnandet hos konsumenten blir större. I en LCA är det mycket svårt att kvantifiera begreppet "mänskligt välbefinnande" och det kommer alltså att falla utanför analysens ramar. Begreppet "hälsa" finns beskrivet i olika värderingsmetoder, men det är svårt att avgöra hur hälsa påverkas av en försämrad dricksvattenkvalitet. I den här analysen har inte någon hänsyn tagits till varken begrepp som mänsklig hälsa eller kvalitet på dricksvatten. För tydlighetens skull ska det kanske tilläggas att det i den funktionella enheten 1 m³ dricksvatten redan ligger vissa kvalitetskrav.

Vattenverken jobbar för att minimera sin klorförbrukning vid desinfektion och olika alternativa desinfektionssätt prövas. Exempelvis har en ozoneringsanläggning tagits i bruk på Alelyckans vattenverk, Göteborg, för att kunna minimera kloranvändningen. I den här analysen står inte kloranvändningen för någon stor miljöpåverkan, varken vid inventeringsanalysen eller i värderingen. Emissionerna är väldigt små och inte någon av de använda värderingsmetoderna har något index för klor. För att få ett rättvisande resultat som tar hänsyn till klorens egenskaper borde t ex en riskanalys utföras. På så sätt hade hot mot både mänsklig hälsa och naturens system beaktats.

6.4. Systemgränser

I avsnittet "mål och omfattning" definierades systemets gränser. Här fastslogs att tillverkning av produktionsutrustning, rening av avloppsvatten och energianvändning i hushållen ligger utanför analysens ramar. Inte heller användningen av dricksvattnet anses ligga inom systemet. Begränsningen av systemet påverkar givetvis resultatet.

Produktionsutrustning som används för tillverkning av dricksvatten är t ex pumpar, rör, byggnader och bassänger. Alla enheter har en begränsad livstid och kräver ett visst underhåll. I tidigare studier som gjorts [Tillman et al (1996)] har det konstaterats att det i huvudsak är driften av utrustningen som står för den största miljöpåverkan. Miljöbelastningen vid investering i produktionssystemen är dock inte försumbar.

Ett av skälen till uteslutningen är alltså att miljöbelastningen är mindre för tillverkning av produktionsutrustning än för driften. Det andra skälet är att systemet skulle bli alltför stort och komplicerat för att rymmas inom analysens ramar. Vid jämförelse med andra vattenverks

miljöpåverkan kan det antas att begränsningen inte kommer att ha någon påverkan på resultatet, förutsatt att samma systemgränser sätts upp.

Att lägga reningen av avloppsvatten utanför systemgränsen motiveras i ”mål och omfattning” med att det inte är själva dricksvattnet som behöver renas. Avgränsningen beror även här till viss del på att studien skulle bli för komplex. Ett ytterligare skäl är att det finns flera studier utförda på avloppssidan. Om vattnets cykel från råvatten via vattenverk och avloppsrening vill följas kan den här analysen kompletteras med en analys som behandlar avloppsbiten. Om en översiktlig jämförelse av energianvändningen görs mellan dricksvattentillverkning och avloppsreningen visar det att avloppsreningsbiten använder storleksordningen 3 ggr mer energi [Lindfors et al (1995)] per behandlad volymenhet.

Energianvändningen i hushållet för uppvärmning av dricksvatten är i storleksordningen 4330 MJ/person och år och energianvändningen för tillverkning av dricksvatten är 290 MJ/person och år. Hushållets energianvändning är alltså ca 15 gånger större än va-verkets, relaterat till den funktionella enheten. Då hushållen i Göteborg till största delen värms upp med fjärrvärme kan det antas att miljöbelastningen från uppvärmningen inte behöver vara så stor. Fjärrvärmens levereras från processer där själva värmeproduktionen inte är det primära, och fjärrvärmens kan betraktas som en biprodukt.

Jämförelsen av energianvändningen i hushållet och för dricksvattenproduktion ligger utanför systemet, men vore intressant att studera närmare. En livscykelanalys på fjärrvärmenätet i Göteborg skulle kunna ge svar på hur de olika energianvändarnas miljöbelastning kan relateras till varandra.

Användningsfasen är enligt målformuleringen inte något som ligger inom systemets gränser. Främsta orsaken är att studien behandlar dricksvatten och dess framställning. Efter användning är vattnet oftast inte att betrakta som dricksvatten, givetvis beroende på vad som tillsätts. Ändå är användningsfasen intressant att diskutera; det är främst i den här fasen som vattnets fortsatta egenskaper bestäms. Efter användning kan vattnet vara att betrakta som antingen råvara till nytt dricksvatten eller förorenat och svårt att rena.

6.5. Värderingsmetoder

Användningen av värderingsmetoder i en utredande analys kan diskuteras. Indexen som fås fram för de olika emissionerna och resursuttagen vid värderingen säger inte så mycket i sig, utan främst vid jämförelse mellan olika produkter eller system. Då är en värdering kraftfull. I resultaten inkluderas parametrar som är svåra att jämföra från emissionerna eller resursförbrukningen. Exempelvis är det svårt att uppskatta den försurande effekten från svaveldioxid. Med hjälp av värderingsmetoderna kan ett överskådligare resultat beräknas.

I den här analysen har effektbedömningen utförts dels för att göra en jämförelse med inventeringsresultatet och dels för att jämföra de olika värderingsmetoderna.

Resursförbrukning av vatten är en parameter som inte någon av de i analysen använda metoderna har något index för. EPS-metoden har ett index för resursuttag av färskvatten i länder med torra; 0,003 ELU/kg, vilket inte precis är aktuellt för Sverige [Lindfors et al (1995)]. Sötvattnet av god kvalitet betraktas ofta som en outsiders resurs men kommer kanske att få större vikt i framtiden.

Resursuttaget beträffande vatten är förhållandevis litet i Göteborg; av Göta Älvs totala flöde står vattenverkens intag för mindre än 1% [Lundin et al (1999)].

Vad det gäller en jämförelse mellan metoderna är det EPS-metoden som värderar flest resurser. Effektkategorimetoden har dock index för resursuttag av energiresurser som olja och kol.

6.6. Förbättringsanalys

En regelrätt förbättringsanalys har inte utförts inom studien. Istället diskuteras några eventuella alternativ kvalitativt.

Tillverkning av bränd kalk har störst emission CO₂ per producerat kilo kemikalie och tredje störst energianvändning. Kalcium är viktigt för att uppfylla krav på hårdhet. Ett alternativ till tillsatts av bränd kalk är tillsatts av krita (CaCO₃). Försök i fullskala med krita och kolsyra har utförts vid Öxsjöverket i Lerums kommun och resultatet blev mycket bra [Göthe et al (1995)].

Ett alternativ till fällning med aluminiumsulfat är fällning med järnklorid. Livscykelanalys utförd på produktionen av järnbaserade fällningskemikalier finns [Frohagen (1997)].

Genom användning av infiltration i reningsprocessen kan helt den kemiska fällningen undvikas och därmed förbrukningen av fällningskemikalie. Dock ska de naturliga förutsättningarna finnas.

6.7. Valet av studie och förslag till utvidgad analys

Valet av studie föregicks av en diskussion om vilka intressanta alternativ som finns och hur tillämpbar LCA - metodiken är i sammanhanget. Förslag på studier som diskuterades var:

1. Att utföra en så fullständig LCA som möjligt av va-verkets dricksvattenproduktion för att sedan undersöka de steg med störst miljöpåverkan och eventuellt göra en förbättringsanalys.
2. Betrakta behovet dricksvatten och jämföra miljöbelastningen vid framställning av dricksvatten vid Göteborgs va-verk med tillverkning av dricksvatten tappat på flaska.
3. Betrakta olika råvattentäkter och undersöka skillnader i miljöbelastning.
4. Undersöka vad skillnad i processval gör i termer av miljöpåverkan.

Studien som utförts följer förslag nummer ett. Förslag två grundas på att en LCA av dricksvattenproduktion utförts och är i princip en komplettering till den här studien. I förslaget om råvattentäkter är det frågan om just livscykelanalys är den bästa metodiken. Att undersöka skillnader i processval med livscykelanalys (förslag 3) skulle vara intressant och ett konkret förslag från va-verket, Göteborg, var att jämföra infiltration av vatten från sjön Mjörn genom grusås med konventionell rening. Även det här förslaget bygger på att en analys enligt förslag ett blir utförd.

7. Slutsats

Målet med studien var dels att sammanställa data för ett konventionellt reningsverk samt dels att identifiera var i produktionskedjan den största miljöpåverkan finns.

Vad det beträffar framtagandet av data för ett konventionellt reningsverk kan målet anses vara uppnått.

Störst miljöpåverkan har kartlagts framförallt för energianvändning och för emissioner till luft. Störst energianvändning står distributionen för, vilken utgörs framförallt av pumpning av råvatten och dricksvatten. Det energislag som här används mest är el, i studien beräknad på den svenska genomsnittselen, vilket gör att emissionerna blir små.

Störst emissioner till luft har kemikalieproduktionen. Framförallt är det produktionen av bränd kalk och aluminiumsulfat som bidrar.

8. Referenser

- Andersson, K. (1998): "LCA of food products and production systems", Departement of food science, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Almgren, R., Granqvist, G., Midenstam, S. (1996): "Miljörevision", andra omarbetade utgåvan, Industriförbundet, Stockholm.
- Bengtsson, M. (1998): "Värderingsmetoder i LCA – metoder för viktning av olika slags miljöpåverkan - en översikt", CPM, rapport 1998:1, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bengtsson, M., Lundin, M., Molander, S. (1997): "LCA of wastewater systems", rapport 1997:9, Teknisk miljöplanering, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bergstedt, O. (1998). Muntlig kontakt med Olof Bergstedt, va-verket, Göteborg.
- Boustead, I. (1993): "Ecoprofile report 3", PWMI – Ecoprofiles of the European plastics industry, Brussels.
- Brännström-Norberg B-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C., Tunbrant, S., (1996): "LCA för Vattenfalls elproduktion", sammanfattande rapport, Vattenfall.
- Carlsson, M. (1998). Muntlig kontakt med Mikael Carlsson, Lackarebäck, va-verket, Göteborg.
- Frohagen, J. (1997): "Livscykelanalys på tre järnbaserade fällningskemikalier", rapport 1997:10, Teknisk miljöplanering, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Frohagen, J. (1998). Muntlig kontakt med Johan Frohagen, MB Sveda, Göteborg.
- Gevert, B., Järås, S. (1996) "Kemisk teknologi - teknisk kemi", kursbok Teknisk Kemi, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Gustafsson, P. (1999). Muntlig kontakt med Pär Gustafsson, Alelyckeverket, va-verket Göteborg.
- Göthe, D., Israelsson, B. (1995): "Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, VA-forsk rapport nr 1995-07.
- Halldin, P., Sundqvist, J. (1995): "LCA på klor", examensarbete kemiekonomilinjen, Karlstad, 1995.
- Hellström, D., Kärman, E. (1996): "Exergy analysis and nutrient flows of various sewerage systems" Water Science and Technology, 35 (9) 135-144.
- Joheden, M. (1998). Muntlig kontakt med Magnus Joheden, AGA Gas, Stockholm.

- Jolliet, O., Cuanillon, J-M., Orlando, S. (1997): "LCA of drinking water management and domestic use of rain water", presentation summary, LCA Case Studies Symposium, Brussels.
- Lindeblad, B. (1998). Muntlig kontakt med Bertil Lindeblad, Nordkalk Kalcium AB, Malmö.
- Lindfors et al (1995): "Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment", Nord 1995:20.
- Lundin, M., Molander, S., Morrison, G.M. (1999): A set of indicators for the assessment of temporal variations in the sustainability of sanitary systems", Water Science and Technology, vol. 39, No. 5.
- Montan, L (1994): "Miljöinformation Köpingkalk", Nordkalk Kalcium AB.
- Nordén, L., Engdahl, M. (1995): "Vattenverksslammets bidrag till föroreningshalterna i Ryaverkets slam.", Gryaab, rapport 1995:3.
- Normin, M. (1999). Muntlig kontakt med Margaretha Normin, Göteborgs energi AB, Göteborg.
- NV (1996): "Vägledning för livscykelanalyser – sammanfattning av LCA-Norden", Naturvårdsverket, Rapport 4537, Stockholm.
- Nyman, R. (1998). Muntlig kontakt med Roland Nyman, BU, va-verket, Göteborg.
- Nöjd, N-B. (1999). Muntlig kontakt med Nils-Bertil Nöjd, Uponor, Borås.
- Sombekke, H.D.M., Voorhoeve, D.K., Hiemestra, P. (1997): "Environmental impact assessment of groundwater treatment with nanofiltration", Desalination 113, Elsevier.
- Stripple, H. (1995): "LCA av väg – en modellstudie för inventering", IVL Rapport B 1210, Göteborg.
- Tillman, A-M., Baumann, H., Eriksson, E., Rydberg, T. (1991): "Livscykelanalyser för förpackningsmaterial – beräkning av miljöbelastning", SOU 1991:77, bilagedel, Chalmers Industriteknik, Göteborg.
- Tillman, A-M. (1994): "Godstransporter i livscykelanalys. Schablonvärden för energianvändning och emissioner", Rapport 1994:1, Teknisk miljöplanering, Chalmers, Göteborg.
- Tillman, A-M., Lundström, H., Svingby M. (1996): "Livscykelanalys av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgersund, Delrapport från Ecoguide-projektet", TMP, Chalmers, rapport 1996:1.
- Tillman, A-M., Lundström, H., Svingby, M. (1996): "LCA av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgersund", databilaga, avdelningen för teknisk miljöplanering, Chalmers, rapport 1996:1b.

Van Tilburg, J. (1997): "Environmental analysis for choosing between a single or double domestic water supply", presentation summary, LCA Case Studies Symposium, Brussels.

Vinge, L. (1998). Muntlig kontakt med Lars Vinge, Kemira Kemi, Helsingborg.

VAV (1996): "Dricksvattenteknik, efterbehandling, distribution". VAV-publikation P73, Stockholm

VAV (1992): "Dricksvattenteknik – ytvatten". VAV-publikation P72, Stockholm.

"Energibalans 1997", va-verket, Göteborg.

"Årsberättelse 1997", va-verket, Göteborg.

Databilaga

Bilaga A: Inventeringsdata	s. II
Bilaga B: Transportdata och emissionsfaktorer	s. XIII
Bilaga C: Värderingsindex och resultat vid värdering	s. XVIII
Bilaga D: Resultat från inventeringen	s. XX

Bilaga A: Inventeringsdata

Förkortningen no EF (no emission factor) betyder att emissionerna från förbränning av energislaget redan är inkluderade bland emissioner.

Tillverkning av CaO:

Process		
Brytning av kalksten		
Produkt	Mängd	Referens
Kalksten	1,0 kg	[Tillman et al (1991)]
Använd energi		
El, svensk	7,92 kJ	
Olja	20,0 kJ	
Resurser		
Kalksten (r) från Gotland	1,0 kg	

Transport		
Transport kalksten från Norge till Köping		
Transportsätt	Avstånd	Referens
Båt	300 km	[Miljöinformation Köpingkalk (1994)]

Process		
Kalcinering		
Produkt	Mängd	Referens
Bränd kalk	1,0 kg	[Miljöinformation Köpingkalk (1994)]
Råmaterial		
Kalksten från Gotland	2,0 kg	
Vatten (r)	0,3 kg	
Använd energi		
Svensk el	0,158 MJ	
Kol, no EF	8,17 MJ	
Olja, EO5CS, no EF	0,4 MJ	
Emissioner		
CO	0,3 g	
SO ₂	0,86 g	
NO _x	2,5 g	
CO ₂	2000 g	
Stoft (efter rökgasreningen)	0,3 g	
Avfall		
Avfall	50,0 g	

Transport		
Transport bränd kalk från Gotland till mellanlager i Landskrona		
Transportsätt	Avstånd	Referens
Båt	500 km	uppskattat
Transport		
Transport bränd kalk till vattenverk		
Transportsätt	Avstånd	Referens
Bulkbil	300 km	uppskattat

Tillverkning av aluminiumsulfat:

Process		
Produktion av $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		
Produkt	Mängd	Referens
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1,0 kg	[Tillman et al (1991)]
Resurser		
Bauxit (r)	707,8 g	
Kalksten (r)	147,1 g	
Stensalt (r)	10,7 g	
Vatten (r)	399,1 g	
Råmaterial		
H_2O_2	0,021 g	Flöde ej följt till vaggan
Använd energi		
Diesel, no EF	1,31 MJ	
Olja, no EF	2,79 MJ	
El, svensk	0,317 MJ	
Emissioner		
CO_2	325,7 g	
CO	0,223 g	
HC	0,194 g	
Partiklar	3,96 g	
NOx	1,42 g	
SO_2	2,8 g	
Olja (aq)	1,64 mg	
Fenol	23,3 μg	
COD	5,363 g	
N-tot	0,78 mg	
BOD	0,223 g	
Pb (aq)	0,030 mg	
Cl_2	0,0061 g	
Avfall		
Avfall	12,92 g	
Miljöfarligt avfall	0,305 g	
Rödslam	493,5 g	
Aska	0,0195 g	

Transport

Transport av $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ från Helsingborg till Göteborg

Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	250 km	[Tillman et al (1991)]

Tillverkning av CO_2 :

Process

Kylning och komprimering av CO_2

Produkt	Mängd	Referens
Kyld och komprimerad CO_2	1,0 kg	[Tillman et al (1991)]

Råmaterial

CO_2 ,biprodukt	1,0 kg	Ingen miljöbelastning
--------------------------	--------	-----------------------

Använd energi

El, svensk	0,72 MJ
------------	---------

Transport

Transport CO_2 från AGA Gas i Stenungsund till vattenverken.

Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	50 km	uppskattad

Tillverkning av NaOH och Cl_2 :

Process

Utvinning av NaCl

Produkt	Mängd	Referens
NaCl	1,0 kg	[Halldin et al (1995)]

Använd energi

el, svensk	77,04 kJ
naturgas	1800 kJ

Resurser

Bergsalt	1,0 kg
Vatten (r)	3,6 kg

Transport

Transport av NaCl från Holland till Akzo Nobels hamn i Karlstad.

Transportsätt	Avstånd	Referens
Båt	1070 km	[Halldin et al (1995)]

Process

Produktion av NaOH

Produkt	Mängd	Referens
NaOH	1,0 kg	[Halldin et al (1995)]

Råmaterial

NaCl	0,257 kg
------	----------

Använd energi

El, svensk medel	1,75 MJ
olja	34,6 kJ
vätgas	65,0 kJ

Resurser

Vatten	0,784 kg
--------	----------

Avfall

Processavfall	0,020 g
---------------	---------

Process

Produktion av Cl₂

Produkt	Mängd	Referens
Cl ₂	1,0 kg	[Halldin et al (1995)]

Råmaterial

NaCl	0,804 kg
------	----------

Använd energi

El, svensk medel	5,95 MJ
olja	108,1 kJ
vätgas	203,2 kJ

Avfall

Processavfall	0,061 g
---------------	---------

Transport

Transport Cl₂ och NaOH från Skoghall till vattenverken.

Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	300 km	Uppskattad

Tillverkning av NaClO₂:

Transport

Transport NaClO₂ från Brechia, norra Italien, till vattenverken Göteborg

Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	2500 km	Uppskattat

Tillverkning av stenmaterial:

Process

Produktion stenmaterial

Produkt	Mängd	Referens
Stenmaterial	1,0 kg	[Stripple (1995)]

Använd energi

El, svensk genomsnitt	21,19 kJ
Diesel	16,99 kJ

Resurser

Berg	1,0 kg
------	--------

Tillverkning av asfalt:

Process

Produktion av bitumen inklusive transporter

Produkt	Mängd	Referens
Bitumen	1,0 kg	[Stripple (1995)]

Använd energi

El, svensk genomsnitt	252 kJ
Diesel	900 kJ

Resurser

Olja (r)	2,5 kg
----------	--------

Varm bitumen blandas med varmt stenmaterial, uppvärmt med en oljebrännare. Andelen bitumen i beläggningssmassan är cirka 6 %.

Process		
Produktion av asfalt		
Produkt	Mängd	Referens
Beläggningssmassa	1,0 kg	[Stripple (1995)]
Använd energi		
El, svensk genomsnitt	36 kJ	
Eldningsolja 3	285 kJ	
Råmaterial		
Bitumen	0,06 kg	
Stenmaterial	0,94 kg	

Tillverkning av segjärnsrör:

Process		
Produktion av segjärnsrör		
Produkt	Mängd	Referens
segjärnsrör	1,0 kg	[Tillman et al (1991)]
Resurser		
Kol (r)	56,7 MJ	
Kalksten (r)	38,0 g	
Järnmalm	1410 g	
Använd energi		
Kol	14,39 MJ	
El	1,752 MJ	
Olja	2,78 MJ	
Genererad energi	-2,89 MJ	
Naturgas	-0,26 MJ	
Emissioner		
CO ₂	2140 g	
CO	0,586 g	
HC	0,403 g	
Partiklar	1,372 g	
NO _x	1,447 g	
SO ₂	9,84 g	
PAH	0,000323	
Olja (aq)	0,0081 g	
Fenol	0,0001057 g	
COD	0,177 g	
N-tot	0,050 g	
Pb (aq)	0,000314 g	
As (aq)	0,000009 g	
Cd (aq)	0,000003 g	
CN-tot (aq)	0,000991 g	
Cr (aq)	0,000001 g	
Cu (aq)	0,000064 g	
Fe (aq)	0,00781 g	
Mn (aq)	0,00218 g	
Ni (aq)	0,00000621 g	
P-tot (aq)	0,000944 g	
Suspenderat material	0,122 g	
Avfall		
Avfall	475,71 g	
Aska	4,291 g	

Process

Produktion av HDPE

Produkt	Mängd	Referens
HDPE	1,0 kg	[Tillman et al (1991)]

Resurser

Bauxit	0,2 g
Lera	0,02 g
Kalksten (r)	0,2 g
Järnmalm	0,3 g
Naturgas	587 g
Olja (r)	790 g
Stensalt	4,0 g
Vatten	9500 g

Använd energi

Kol	2,19 MJ
El, svensk	1,68 MJ
Naturgas	10,53 MJ

Emissioner

CO ₂	940 g
CO	0,6 g
HC	21,0 g
NO _x	10,0 g
SO ₂	11,0 g
Partiklar	2,0 g
HCl	0,05 g
HF	0,001 g
Metaller till luft	0,001 g
Metaller till vatten	0,3 g
Olja (aq)	0,03 g
COD	0,20 g
BOD	0,1 g
N-tot	0,025 g
P-tot (aq)	0,01 g
Suspenderat material	30,0 g
Cl ⁻ (aq)	0,8 g
TOC (aq)	0,17 g
Upplösta ämnen	0,5 g

Avfall

Avfall	27 g
Aska	5 g
MFA	0,04 g

Arbete med rörgrav:

Process		
Arbete med rörgrav – schaktning och fyllnad		
Produkt	Mängd	Referens
Nylagd rörgrav	1,0 m ³	[Stripple (1995)]
Använd energi		
Dieselförbrukning vid arbete:		
Grävmaskin	5,56 MJ	
Råmaterial		
Stenmaterial	0,5 m ³ = 810 kg	[Nyman (1998)]
Avfall		
Schaktmassa	0,5 m ³	[Nyman (1998)]

Krossmaterialet transporteras från Sabema till arbetsplatsen. Avståndet är ett uppskattat medelavstånd.

Transport		
Krossmaterial till rörgrav		
Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	10 km	[Nyman (1998)]

Hälften av den uppgrävda schaktmassan transporteras till närmaste deponi. Avståndet är ett uppskattat medelavstånd.

Transport		
Schaktmassa till deponi		
Transportsätt	Avstånd	Referens
Lastbil	15 km	[Nyman (1998)]

För asfaltläggning har litteratordata ur använts [Stripple (1995)]. Vid val av maskinmodell har den minsta valts då det oftast är frågan om relativt små arbeten vid omläggning av vattenledningar. Arbetet med att lägga ny asfalt utförs av vägverket. Mängden asfalt per ytenhet kan uppskattas till 190 kg/m².

Process

Asfaltläggning		
Produkt	Mängd	<i>Referens</i>
Nylagd asfalt	1,0 m ²	[Nyman (1998)]
Använd energi		
Dieselförbrukning vid läggingsarbete:		
Jordpackning, vält	0,5322 MJ	(<i>Dynapac CA 151 D</i>)
Asfaltpackning, vält	0,3882 MJ	(<i>Dynapac CC 122</i>)
Asfaltläggare	0,7020 MJ	(<i>Dynapac F 12</i>)
Råmaterial		
Asfalt	380 kg	

Transport		
Asfalt till arbetsplats		
Transportsätt	Avstånd	<i>Referens</i>
Lastbil, asfalt	10 km	Uppskattad

Bilaga B: Transportdata och emissionsfaktorer

Emissionsfaktorer och energianvändning för transporter [Tillman (1994)].

	<i>Lastbil:</i>			<i>Båttransport</i>	
	Fjälltransport	Regional transport	Stadsdistribution	Kustsjöfart	Högsjöfart
Olja (MJ/ton, km)	0,9	1,7	2,2	0,47	0,18
SO ₂ (g/ton, km)	0,085	0,16	0,21	0,6	0,23
NO _x (g/ton, km)	0,81	1,53	1,98	1,18	0,45
CO (g/ton, km)	0,31	0,58	0,75	0,1	0,04
CO ₂ (g/ton, km)	66	125	161	34	13
HC (g/ton, km)	0,08	0,15	0,2	0,028	0,011
partiklar (g/ton, km)	0,09	0,17	0,22	0,05	0,02

Emissionsfaktorer:

Endast förbränningen är redovisad för de olika energislagen eftersom det är endast förbränningen som beaktats vid beräkningarna. Emissioner och energiåtgång vid brytning och förädling har inte beaktats.

Process		
Förbränning av kol		
Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]
Emissioner		
CO	0,017 g	
CO ₂	91,6 g	
HC	0,01 g	
NO _x	0,15 g	
Partiklar	0,013 g	
SO ₂	0,38 g	
Resurser		
Kol (r)	1,0 MJ	
Avfall		
Aska	0,3 g	

Process		
Förbränning av diesel		
Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]
Emissioner		
CO	0,30 g	
CO ₂	74,61 g	
HC	0,2 g	
NO _x	1,30 g	
Partiklar	0,10 g	
SO ₂	0,140 g	
Resurser		
diesel (r)	1,0 MJ	

Process

Förbränning av naturgas

Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]

Emissioner

CO	0,001 g
CO ₂	61,3 g
HC	0,000017 g
NO _x	0,17 g
Partiklar	0,014 g
SO ₂	0,002 g

Resurser

naturgas (r)	1,0 MJ
--------------	--------

Avfall

Aska	0,11 g
------	--------

Process

Förbränning av olja

Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]

Emissioner

CO	0,013 g
CO ₂	80,0 g
HC	0,018 g
NO _x	0,15 g
Partiklar	0,03 g
SO ₂	0,39 g

Resurser

Olja (r)	1,0 MJ
----------	--------

Avfall

Aska	0,007 g
------	---------

Process

Förbränning av olja, eo5

Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]

Emissioner

CO	0,013 g
CO2	81,0 g
HC	0,010 g
NOx	0,15 g
Partiklar	0,03 g
SO2	0,038 g

Resurser

Olja (r)	1,0 MJ
----------	--------

Avfall

Aska	0,007 g
------	---------

Process

Förbränning av olja, eo1

Produkt	Mängd	Referens
Energi	1,0 MJ	[Tillman et al (1991)]

Emissioner

CO	0,010 g
CO2	81,0 g
HC	0,01 g
NOx	0,15 g
Partiklar	0,02 g
SO2	0,2 g

Resurser

Olja (r)	1,0 MJ
----------	--------

Process

Produktion av svensk genomsnittsel

Produkt	Mängd	Referens
El, svensk medel	1,0 MJ	[Brännström-Norberg et al (1996)]

Emissioner

CO	0,0051 g
CO ₂	7,67 g
HC	0,0010 g
NO _x	0,010 g
Partiklar	0,0017 g
SO ₂	0,0123 g
N-tot (aq)	0,0034 g

Resurser

Bauxit	0,000018 g
Biomassa	7,30 g
Kopparmalm	0,29 g
Järnmalm	0,0092 g
Markanvändning	0,00126 m ²
Blymalm	0,0033 g
Olja (r)	0,0141 MJ
Uranmalm	0,167 g
Trä	0,000647 g

Råmaterial

H ₂ SO ₄	0,0225 g
HNO ₃	0,0010 g
NaOH	0,00073 g
NH ₃	0,00217 g

Avfall

Byggavfall	0,0092 g
Starkt radioaktivt avfall	0,0061 g
Svagt radioaktivt avfall	1,64e-9
Medium radioaktivt avfall	1,62e-9
Övrigt avfall	13,7 g
Radioaktivitet	13,8 Bq

Bilaga C: Värderingsindex och resultat vid värdering

Index för EPS-metoden [Steen (1998)], ET-metoden och ekoknapphetsmetoden [Lindfors et al (1995)].

		EPS-index (per kg)	ET-index (per kg)	ECO-index (per g)
Emission till luft:	CO ₂	0,0635	11	0,0159
	CO	0,191	333	-
	NO _x	0,395	3950	4,74
	SO ₂	0,0545	2420	5,74
	HCl	0,0203	2,12	10,50
	Damm, partiklar	0,00705	35,7	-
	PAH	8800	-	-
	HC	-	3140	-
Emission till vatten:	COD	0,006	400	0,4
	BOD	0,0075	400	1,28
	P-tot	0,075	71800	621
	N-tot	0,01	7180	29,10
	Ni	-	965000	44300
	Cr	-	472000	2180
	Cd	-	47200000	781000
	Pb	-	374000	8670
	Cu	-	3150000	5920
	olja	-	2,56	-
	Suspenderat material	-	0,036	-
Resurser:	Copper reserves[1]	57	-	
	Lead reserves [2]	240	-	
	Uranium reserves [3]	1260	-	
	Iron reserves [4]	0,68	-	
	Bauxite	0,42	-	
	Wood	0,025	-	
	Oil	0,0122 /MJ	1,34 /MJ	
	Natural gas	0,0103 /MJ	0,804 /MJ	
	Diesel	0,0094 /MJ	1,35 /MJ	
	coal	0,002 /MJ	0,161 /MJ	

[1] Kopparmalm beräknas innehålla 0,05 % koppar [Winnes (1999)].

[2] Blymalm antas innehålla 100 % bly [Winnes (1999)].

[3] Uranmalm beräknas innehålla 1 % uran.

[4] Järnmalm antas innehålla 100 % järn [Winnes (1999)].

Värderingsresultat för tillverkning och distribution av 1 m³ dricksvatten:

	EPS-metoden	ET-metoden	Ekoknapphetsmetoden
bauxite	0,0025	-	-
BOD	0,0000	0,0030	0,0096
Cd (aq)	-	0,0001	0,0016
CO	0,0000	0,0257	-
CO2	0,0072	1,2448	1,7993
coal (r)	0,0004	0,0302	-
COD	0,0000	0,0719	0,0719
Cr (aq)	-	0,0000	0,0000
Cu (aq)	-	0,0001	0,0003
copper ore	0,0000	-	-
diesel (r)	0,0018	0,2533	-
dust	0,0000	-	-
HC	-	0,1299	-
HCl	0,0000	0,0000	0,0002
iron ore	0,0007	-	-
lead ore	0,0020	-	-
natural gas (r)	0,0011	0,0847	-
Ni (aq)	-	0,0000	0,0002
NOx	0,0001	1,4729	1,7674
N-tot	0,0000	0,0066	0,0269
oil (aq)	-	0,0002	-
oil (r)	0,0173	1,8930	-
PAH	0,0000	-	-
Particles	-	0,0060	-
Pb (aq)	-	0,0005	0,0105
P-tot (aq)	0,0000	0,0001	0,0006
SO2	0,0000	0,5753	1,3645
uranium ore	0,0053	-	-
wood (r)	0,0000	-	-
Summa	0,0383	5,8035	5,0530

Bilaga D: Resultat från inventeringen

Kommentar till inventeringsresultatet:

Resultatet är redovisat per m³ dricksvatten, totalt producerat av vattenverken. För att ta hänsyn till vattenverkens interna förbrukning och läckaget på dricksvattennätet måste resultatet i denna bilaga **multiplieras med faktorn 1,292**. (Av totalt 61 Mm³ producerat dricksvatten når 47,2 Mm³ kund.)

Bilaga D: Inventeringsresultat för dricksvattenproduktion och kemikalieproduktion.

substance	dricksvattenproduktion	kemikalieproduktion	unit	resurs/emission
Cl2		0.0002	g	Air
CO	0.0048	0.0276	g	Air
CO2	27.5288	53.9349	g	Air
dust			g	Air
HC	0.0034	0.0104	g	Air
HCl			g	Air
HF			g	Air
metals (air)			g	Air
NOx	0.0496	0.1611	g	Air
PAH			g	Air
Particles	0.0067	0.1440	g	Air
SO2	0.0629	0.1234	g	Air
acid as H+			g	Water
As (aq)			g	Water
BOD		0.0075	g	Water
Cd (aq)			g	Water
Cl-(aq)			g	Water
CN-tot (aq)			g	Water
COD		0.1797	g	Water
Cr (aq)			g	Water
Cu (aq)			g	Water
dissolved solids			g	Water
Fe (aq)			g	Water
Metals (aq)			g	Water
Mn (aq)			g	Water
Ni (aq)			g	Water
N-tot	0.0001	0.0001	g	Water
oil (aq)		0.0001	g	Water
Pb (aq)		0.0000	g	Water
phenol		0.0000	g	Water
P-tot (aq)			g	Water
suspended material			g	Water
TOC (aq)			g	Water
H2O2		0.0007	g	Raw Material
NH3	0.0007	0.0004	g	Raw Material
NaOH	0.0002	0.0001	g	Raw Material
HNO3	0.0003	0.0002	g	Raw Material
H2SO4	0.0073	0.0039	g	Raw Material
Bauxite		23.7113	g	Resource
biomass	2.3743	1.2559	g	Resource
clay			g	Resource
CO2		31.4000	g	Resource
coal (r)		0.1389	MJ	Resource
copper ore	0.0930	0.0492	g	Resource

diesel (r)		0.0800	MJ	Resource
iron ore	0.0030	0.0016	g	Resource
land use	0.0004	0.0002	m2	Resource
limestone (r)		38.9279	g	Resource
natural gas (r)		0.1024	MJ	Resource
oil (r)	0.3137	0.1132	MJ	Resource
rock salt (r)		16.8296	g	Resource
uranium ore	0.0544	0.0288	g	Resource
water (r)		126.2954	g	Resource
wood	0.0002	0.0001	g	Resource
ashes		0.0119	g	Waste
building waste	0.0030	0.0016	g	Waste
highly rad.ac	0.0020	0.0011	g	Waste
MFA		0.0102	g	Waste
red mud		16.5323	g	Waste
waste		1.2841	g	Waste

Bilaga D: Inventeringsresultat från drift- och underhåll nät.

substance	drift nät	underhåll nät	unit	resurs/emission
Cl2			g	Air
CO	0.0278	0.0170	g	Air
CO2	19.5205	10.1764	g	Air
dust		0.0006	g	Air
HC	0.0139	0.0137	g	Air
HCl		0.0000	g	Air
HF		0.0000	g	Air
metals (air)		0.0000	g	Air
NOx	0.0964	0.0658	g	Air
PAH		0.0000	g	Air
Particles	0.0093	0.0073	g	Air
SO2	0.0150	0.0364	g	Air
acid as H+		0.0000	g	Water
As (aq)		0.0000	g	Water
BOD		0.0000	g	Water
Cd (aq)		0.0000	g	Water
Cl-(aq)		0.0002	g	Water
CN-tot (aq)		0.0000	g	Water
COD		0.0002	g	Water
Cr (aq)		0.0000	g	Water
Cu (aq)		0.0000	g	Water
dissolved solids		0.0002	g	Water
Fe (aq)		0.0000	g	Water
Metals (aq)		0.0001	g	Water
Mn (aq)		0.0000	g	Water
Ni (aq)		0.0000	g	Water
N-tot	0.0007	0.0001	g	Water
oil (aq)		0.0000	g	Water
Pb (aq)		0.0000	g	Water
phenol		0.0000	g	Water
P-tot (aq)		0.0000	g	Water
suspended material		0.0092	g	Water
TOC (aq)		0.0001	g	Water
generated energy		-0.0020	MJ	Energy
H2SO4	0.0443	0.0005	g	Raw Material
HNO3	0.0021	0.0000	g	Raw Material
NaOH	0.0014	0.0000	g	Raw Material
NH3	0.0043	0.0000	g	Raw Material
bauxite		0.0001	g	Resource
biomass	14.4066	0.1537	g	Resource
clay		0.0000	g	Resource
coal (r)		0.0489	MJ	Resource
copper ore	0.5642	0.0060	g	Resource
diesel (r)	0.0590	0.0487	MJ	Resource

iron ore	0.0182	0.9567	g	Resource
land use	0.0025	0.0000	m2	Resource
lead ore	0.0065	0.0001	g	Resource
limestone		0.0258	g	Resource
limestone (r)		0.0001	g	Resource
natural gas (r)		0.1786	g	Resource
natural gas (r)		0.0030	MJ	Resource
oil (r)		0.2403	g	Resource
oil (r)	0.0278	0.9620	MJ	Resource
rock		500.0304	g	Resource
rock salt (r)		0.0012	g	Resource
uranium ore	0.3303	0.0035	g	Resource
water (r)		2.8899	g	Resource
wood (r)	0.0013	0.0000	g	Resource
ashes		0.0082	g	Waste
building waste	0.0181	0.0002	g	Waste
highly rad.ac	0.0121	0.0001	g	Waste
MFA		0.0000	g	Waste
red mud			g	Waste
waste		360.1531	g	Waste

Bilaga D: Totalt inventeringsresultat för framställning av 1 m³ dricksvatten.

substance	totalt	unit	resurs/emission
Cl2	0.0002	g	Air
CO	0.0772	g	Air
CO2	113.1606	g	Air
dust	0.0006	g	Air
HC	0.0414	g	Air
HCl	0.0000	g	Air
HF	0.0000	g	Air
metals (air)	0.0000	g	Air
NOx	0.3729	g	Air
PAH	0.0000	g	Air
Particles	0.1673	g	Air
SO2	0.2377	g	Air
acid as H+	0.0000	g	Water
As (aq)	0.0000	g	Water
BOD	0.0075	g	Water
Cd (aq)	0.0000	g	Water
Cl-(aq)	0.0002	g	Water
CN-tot (aq)	0.0000	g	Water
COD	0.1798	g	Water
Cr (aq)	0.0000	g	Water
Cu (aq)	0.0000	g	Water
dissolved solids	0.0002	g	Water
Fe (aq)	0.0000	g	Water
Metals (aq)	0.0001	g	Water
Mn (aq)	0.0000	g	Water
Ni (aq)	0.0000	g	Water
N-tot	0.0009	g	Water
oil (aq)	0.0001	g	Water
Pb (aq)	0.0000	g	Water
phenol	0.0000	g	Water
P-tot (aq)	0.0000	g	Water
suspended material	0.0092	g	Water
TOC (aq)	0.0001	g	Water
generated energy	-0.0020	MJ	Energy
H2O2	0.0007	g	Raw Material
H2SO4	0.0560	g	Raw Material
HNO3	0.0026	g	Raw Material
NaOH	0.0018	g	Raw Material
NH3	0.0054	g	Raw Material
bauxite	23.7114	g	Resource
biomass	18,1905	g	Resource
clay	0.0000	g	Resource

CO2	31.4000	g	Resource
coal (r)	0.1878	MJ	Resource
copper ore	0.7124	g	Resource
diesel (r)	0.1876	MJ	Resource
iron ore	0.9795	g	Resource
land use	0.0031	g	Resource
limestone	0.0258	g	Resource
limestone (r)	38.9279	g	Resource
natural gas (r)	0.1786	g	Resource
natural gas (r)	0.1055	MJ	Resource
oil (r)	0.2403	g	Resource
oil (r)	1.4167	MJ	Resource
rock	500.0304	g	Resource
rock salt (r)	16.8308	g	Resource
water (r)	1129.1853	g	Resource
wood (r)	0.0016	g	Resource
ashes	0.0201	g	Waste
building waste	0.0228	g	Waste
highly rad.ac	0.0152	g	Waste
MFA	0.0102	g	Waste
red mud	16.5323	g	Waste
waste	361.4372	g	Waste

Bilaga D: Inventeringsresultat för dricksvattenproduktion och kemikalieproduktion, elektricitet redovisat separat.

substance	dricksvattenproduktion	kemikalieproduktion	unit	resurs/emission
Cl2		0.0002	g	Air
CO	0.0031	0.0268	g	Air
CO2	25.0371	54.6169	g	Air
dust			g	Air
HC	0.0031	0.0102	g	Air
HCl			g	Air
HF			g	Air
metals (air)			g	Air
NOx	0.0464	0.1594	g	Air
PAH			g	Air
Particles	0.0062	0.1437	g	Air
SO2	0.0618	0.1228	g	Air
acid as H+			g	Water
As (aq)			g	Water
BOD		0.0075	g	Water
Cd (aq)			g	Water
Cl-(aq)			g	Water
CN-tot (aq)			g	Water
COD		0.1797	g	Water
Cr (aq)			g	Water
Cu (aq)			g	Water
dissolved solids			g	Water
Fe (aq)			g	Water
Metals (aq)			g	Water
Mn (aq)			g	Water
Ni (aq)			g	Water
N-tot		0.0000	g	Water
oil (aq)		0.0001	g	Water
Pb (aq)		0.0000	g	Water
phenol		0.0000	g	Water
P-tot (aq)			g	Water
suspended material			g	Water
TOC (aq)			g	Water
generated energy			MJ	Energy
H2O2		0.0007	g	Raw Material
bauxite		23.7113	g	Resource
clay			g	Resource
CO2		31.4000	g	Resource
coal (r)		0.1389	MJ	Resource
diesel (r)		0.0800	MJ	Resource
electricity (r)	0.3250	0.1719	MJ	Resource
iron ore			g	Resource
limestone			g	Resource

limestone (r)		38.9279	g	Resource
natural gas (r)			g	Resource
natural gas (r)		0.1024	MJ	Resource
oil (r)			g	Resource
oil (r)	0.3091	0.1107	MJ	Resource
rock salt (r)		16.8296	g	Resource
water (r)		126.2954	g	Resource
ashes		0.0119	g	Waste
MFA		0.0102	g	Waste
red mud		16.5323	g	Waste
waste		1.2841	g	Waste

Bilaga D: Inventeringsresultat från drift- och underhåll nät, elektricitet redovisat separat.

substance	drift nät	underhåll nät	unit	resurs/emission
Cl2			g	Air
CO	0.0177	0.0169	g	Air
CO2	4.4019	10.0151	g	Air
dust		0.0006	g	Air
HC	0.0118	0.0137	g	Air
HCl		0.0000	g	Air
HF		0.0000	g	Air
metals (air)		0.0000	g	Air
NOx	0.0767	0.0656	g	Air
PAH		0.0000	g	Air
Particles	0.0059	0.0072	g	Air
SO2	0.0083	0.0363	g	Air
acid as H+		0.0000	g	Water
As (aq)		0.0000	g	Water
BOD		0.0000	g	Water
Cd (aq)		0.0000	g	Water
Cl-(aq)		0.0002	g	Water
CN-tot (aq)		0.0000	g	Water
COD		0.0002	g	Water
Cr (aq)		0.0000	g	Water
Cu (aq)		0.0000	g	Water
dissolved solids		0.0002	g	Water
Fe (aq)		0.0000	g	Water
Metals (aq)		0.0001	g	Water
Mn (aq)		0.0000	g	Water
Ni (aq)		0.0000	g	Water
N-tot		0.0000	g	Water
oil (aq)		0.0000	g	Water
Pb (aq)		0.0000	g	Water
phenol		0.0000	g	Water
P-tot (aq)		0.0000	g	Water
suspended material		0.0092	g	Water
TOC (aq)		0.0001	g	Water
generated energy		-0.0020	MJ	Energy
H2O2			g	Raw Material
bauxite		0.0001	g	Resource
clay		0.0000	g	Resource
CO2			g	Resource
coal (r)		0.0489	MJ	Resource
diesel (r)	0.0590	0.0487	MJ	Resource
electricity (r)	1.9720	0.0210	MJ	Resource
iron ore		0.9565	g	Resource
limestone		0.0258	g	Resource
limestone (r)		0.0001	g	Resource

natural gas (r)	0.1786	g	Resource
natural gas (r)	0.0030	MJ	Resource
oil (r)	0.2403	g	Resource
oil (r)	0.9617	MJ	Resource
rock	500.0304	g	Resource
rock salt (r)	0.0012	g	Resource
water (r)	2.8899	g	Resource
ashes	0.0082	g	Waste
MFA	0.0000	g	Waste
red mud		g	Waste
waste	360.1531	g	Waste

Bilaga D: Totalt inventeringsresultat för framställning av 1 m³ dricksvatten, elektricitet redovisat separat.

substance	totalt	unit	resurs/emission
Cl2	0.0002	g	Air
CO	0.0645	g	Air
CO2	94.0709	g	Air
dust	0.0006	g	Air
HC	0.0388	g	Air
HCl	0.0000	g	Air
HF	0.0000	g	Air
metals (air)	0.0000	g	Air
NOx	0.3480	g	Air
PAH	0.0000	g	Air
Particles	0.1630	g	Air
SO2	0.2292	g	Air
acid as H+	0.0000	g	Water
As (aq)	0.0000	g	Water
BOD	0.0075	g	Water
Cd (aq)	0.0000	g	Water
Cl-(aq)	0.0002	g	Water
CN-tot (aq)	0.0000	g	Water
COD	0.1798	g	Water
Cr (aq)	0.0000	g	Water
Cu (aq)	0.0000	g	Water
dissolved solids	0.0002	g	Water
Fe (aq)	0.0000	g	Water
Metals (aq)	0.0001	g	Water
Mn (aq)	0.0000	g	Water
Ni (aq)	0.0000	g	Water
N-tot	0.0001	g	Water
oil (aq)	0.0001	g	Water
Pb (aq)	0.0000	g	Water
phenol	0.0000	g	Water
P-tot (aq)	0.0000	g	Water
suspended material	0.0092	g	Water
TOC (aq)	0.0001	g	Water
generated energy	-0.0020	MJ	Energy
H2O2	0.0007	g	Raw Material
bauxite	23.7114	g	Resource
clay	0.0000	g	Resource
CO2	31.4000	g	Resource
coal (r)	0.1878	MJ	Resource
diesel (r)	0.1876	MJ	Resource
electricity (r)	2.4900	MJ	Resource

iron ore	0.9565	g	Resource
limestone	0.0258	g	Resource
limestone (r)	38.9279	g	Resource
natural gas (r)	0.1786	g	Resource
natural gas (r)	0.1055	MJ	Resource
oil (r)	0.2403	g	Resource
oil (r)	1.3815	MJ	Resource
rock	500.0304	g	Resource
rock salt (r)	16.8308	g	Resource
water (r)	1129.1853	g	Resource
ashes	0.0201	g	Waste
MFA	0.0102	g	Waste
red mud	16.5323	g	Waste
waste	361.4372	g	Waste

