



# **LCA AV DRICKSVATTENDESINFEKTION – en jämförelse av klor och UV-ljus**

LCA of tap water disinfection - a comparison of chlorine  
and UV-light

**Cecilia Ekvall**

---

**SLU**  
Institutionen för biometri och teknik

**Examensarbete 2004:02**

**SLU**  
Department of Biometry and Engineering

**Uppsala 2004**  
**ISSN 1652-3245**

---

## **FÖRORD**

Denna studie är ett 20 poängs examensarbete utfört som sista del av min magisterutbildning i teknologi, inriktning miljö- och naturresursteknik, vid Institutionen för lantbruksteknik på Sveriges lantbruksuniversitet.

Arbetet är utfört i samarbete med Stockholm Vatten AB, Processutvecklingsenheten vid Miljö- och utvecklingsavdelningen.Handledare har varit Johanna Blomberg på Stockholm Vatten AB och Håkan Jönsson på Institutionen för lantbruksteknik, SLU. Håkan Jönsson har även varit examinator.

Jag vill rikta ett stort tack till alla som har bidragit med information och data, trots att mina frågor ur deras synvinkel många gånger måste ha uppfattats som underliga. Jag vill även tacka alla delaktiga på Stockholm Vatten AB för ett gott samarbete och visat intresse för mitt arbete. Ett särskilt tack vill jag ge mina handledare, Johanna Blomberg och Håkan Jönsson, som delat med sig av sina kunskaper och erfarenheter samt bidragit med många värdefulla synpunkter. Till sist vill jag tacka mina nära och kära för allt stöd de ger.

Stockholm, augusti 2003

*Cecilia Ekvall*

## **SAMMANFATTNING**

Detta är en jämförande studie av desinfektionsmetoder för dricksvatten framställt vid Stockholm Vattens två vattenverk. Jämförelse sker mellan tre olika metoder; desinfektion med klorgas, desinfektion med natriumhypoklorit samt desinfektion med UV-ljus. Metodiken som används är livscykelanalys. Jämförelsen är gjord med avseende på miljöpåverkan och energianvändning för de tre olika desinfektionsmetoderna. Dessutom har även eventuella skillnader i hälsoeffekter samt arbetsmiljö undersökts.

En betydande nackdel med klorering är att det bildas oönskade biprodukter när det fria klorret reagerar med organiska föreningar. Dessa biprodukter, bl.a. trihalometaner har visats vara cancerogena. Detta var en av faktorerna som bidrog till en övergång till UV-desinfektion på en av de två utgående linjerna från Lovö vattenverk. UV-desinfektion möjliggör en halvering av klordosen vilket leder till att mängden THM i utgående dricksvatten kan minskas med hela 90% i jämförelse med dagens klorerade dricksvatten (Blomberg m.fl., 2001).

UV-desinfektion medför även en större bakteriereduktion jämfört med klorering. En annan positiv aspekt är att hanteringen av klorgas undviks. Klorgas är en akut toxisk gas som är svårhanterlig ur arbetsmiljösynpunkt.

Resultaten av livscykelanalysen visar att desinfektion med UV-ljus och monokloramin är ca 45% mer energikrävande än de övriga alternativen. Den totala energianvändningen vid UV-desinfektion motsvarar ca 0,5-1% av den totala energin för att producera och distribuera dricksvatten. Vad gäller miljöpåverkan bidrar alternativet med UV-desinfektion med mest växthusemissioner. Emissioner bidragande till försurning och eutrofiering domineras av alternativet med hypokloritdesinfektion.

För jämförelse av humantoxiska risker har två olika metoder använts. Enligt den ena metoden, USES-LCA, föreligger den största humantoxiska risken vid desinfektion med hypoklorit och klorgas. Enligt den andra, EDIP-metoden, föreligger de största riskerna vid desinfektion med hypoklorit samt med UV-ljus.

De positiva följderna av en övergång till UV-desinfektion fås på bekostnad av en ökad energianvändning. Vilket alternativ som är att föredra avgörs av hur man lägger värderingen mellan de studerade delarna; energi- och miljöaspekter gentemot hälsoaspekter och arbetsmiljö.

## **ABSTRACT**

Disinfection methods for drinking-water produced at the two water works of Stockholm Water Co are compared in this study. Three different methods are compared; disinfection with chlorine gas, disinfection with sodium hypochlorite and disinfection with UV-light and monochloramine. The method used is Life cycle assessment, LCA. LCA is defined as the compilation and evaluation of the inputs, outputs and potential environmental impact of a product system throughout its life cycle. The environmental burden is compared for the three different disinfection methods. Potential health effects and the working environment are also included.

One disadvantage with chlorination is the production of unwanted by-products when the free chlorine reacts with organic matter. These by-products, e.g. trihalomethans, THM, have shown to be carcinogenic. This was one of the reasons that contributed to the changeover to disinfection with UV-light, at one of the two outgoing lines at Lovö water works. The UV-disinfection makes it possible to use half of the ordinary dose of chlorine, it also lowers the amount of THM in the drinking water with 90%. (Blomberg et al. 2001)

UV-disinfection also led to increased bacterial reduction compared to chlorination. Another positive aspect is that the risks with handling of chlorine gas are reduced. Chlorine gas is an acute toxic gas that is hard to handle with regard to the working environment.

Results from the LCA show that disinfection with UV-light and monochloramin is about 45% more energy demanding than the other alternatives. The total use of energy with UV-disinfection is equal to 0.5-1% of the total energy required to produce and distribute the drinking water. Regarding to the environmental impacts the alternative with UV-disinfection contributes to the most amounts of greenhouse gases. The contribution of emissions that led to eutrofication and acidification dominates by the alternative with disinfection with hypochlorite.

To compare the human toxic risks two different methods has been used. According to the first method, USES-LCA, the biggest human toxic risks occurs with disinfection with hypochlorite and chlorine gas. With the other method, EDIP, the greatest risks occurs with disinfection with hypochlorite and disinfection with UV-light.

The positive effects of the changeover to UV-disinfection are received at the expense of higher energy consumption. Which alternative to prefer are decided by how the values are made between the studied parts; energy- and environmental aspects verses health aspects and the working environment.

## **PROJEKTBESKRIVNING**

Detta är en jämförande studie av desinfektionsmetoder för dricksvatten, framställt vid Stockholm Vattens två vattenverk. Jämförelse sker mellan tre olika metoder; desinfektion med klorgas, desinfektion med natriumhypoklorit samt desinfektion med UV-ljus. Metodiken som används är livscykelanalys.

## **LÄSANVISNINGAR**

I de två inledande kapitlen ges en beskrivning av bakgrunden till detta arbete samt en kort introduktion till Livscykelanalys som metod, vilken finns utförligare beskriven i bilaga 4. I kapitel 3 ges syfte, avgränsningar och metodbeskrivning. Därefter, i kapitel 4, följer en närmare beskrivning av inventeringen för de tre olika desinfektionsmetoder som jämförts. I kapitel 5 anges klassificering och karaktäriseringsindex. I kapitel 6 redovisas resultaten från livscykelanalysen, med tillhörande kommentarer. Där finns även en diskussion kring de tre alternativens skillnader i arbetsmiljö och effekter på människors hälsa. Slutligen, i kapitel 7, ges sammanfattande diskussion och slutsats.

## INNEHÅLL

<b>PROJEKT BESKRIVNING</b> .....	<b>4</b>
<b>LÄSANVISNINGAR</b> .....	<b>4</b>
<b>1. BAKGRUND</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1 Behandling av dricksvatten</b> .....	<b>9</b>
1.1.1 Vattenkvalitetsparametrar .....	9
1.1.2 Dagens desinfektionsmetod – desinfektion med klor .....	9
1.1.3 Hälsoeffekter av klororganiska föreningar.....	11
1.1.4 Alternativ behandling - desinfektion med UV-ljus .....	12
<b>2. VAD ÄR LCA?</b> .....	<b>12</b>
<b>3. LCA AV DRICKSVATTENDESINFEKTION VID SVAB</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Syfte</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 Målgrupp</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 Funktionell enhet (FU)</b> .....	<b>14</b>
<b>3.4 Systemgränser</b> .....	<b>15</b>
<b>3.5 Datakvalitet</b> .....	<b>16</b>
<b>3.6 Inventeringsparametrar</b> .....	<b>17</b>
<b>3.7 Värderingsmetoder</b> .....	<b>17</b>
<b>3.8 Beräkningar</b> .....	<b>17</b>
<b>3.9 Allokeringar</b> .....	<b>17</b>
<b>4. INVENTERING</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1 Desinfektion med Natriumhypoklorit</b> .....	<b>17</b>
4.1.1 Natriumklorid, NaCl .....	18
4.1.2 Natriumhypoklorit, NaClO .....	18
4.1.3 Ammoniumsulfat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	19
<b>4.2 Desinfektion med Klorgas</b> .....	<b>21</b>
4.2.1 Klorgas, Cl <sub>2</sub> .....	21
4.2.2 Ammoniumsulfat, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	22
<b>4.3 Desinfektion med UV-ljus och monokloramin</b> .....	<b>23</b>
4.3.1 UV-enheter.....	24
4.3.2 Monokloraminanläggning .....	28
<b>4.4 Transporter</b> .....	<b>30</b>
<b>4.5 Elektricitet</b> .....	<b>30</b>
<b>5. KLASSIFICERING OCH KARAKTÄRISERINGSINDEX</b> .....	<b>31</b>
5.1 Resursanvändning – Energi.....	31
5.2 Resursanvändning – Material.....	32
5.3 Växthuseffekt .....	32
5.4 Försurning.....	33
5.5 Eutrofiering.....	33
5.6 Humantoxiska effekter .....	34
<b>6. RESULTAT OCH DISKUSSION</b> .....	<b>38</b>
<b>6.1 Miljöpåverkan</b> .....	<b>38</b>
6.1.1 Resursanvändning – Energi.....	38
6.1.2 Resursförbrukning – Material .....	40
6.1.3 Växthuseffekt .....	41
6.1.4 Försurning .....	42
6.1.5 Eutrofiering .....	43
6.1.6 Humantoxiska effekter .....	44
6.1.7 Inlöden som ej följs från vaggan.....	45
6.1.8 Utlöden som ej följs till graven.....	46
<b>6.2 Normalisering</b> .....	<b>46</b>

<b>6.3 Hälsorisker .....</b>	<b>48</b>
6.3.1 Trihalometaner i dricksvatten från Stockholm Vatten .....	48
6.3.2 Bakteriereduktion.....	49
<b>6.4 Arbetsmiljörisker.....</b>	<b>50</b>
<b>7. SAMMANFATTANDE DISKUSSION.....</b>	<b>51</b>
<b>7.1 LCA.....</b>	<b>51</b>
7.1.1 Energianvändning och miljöpåverkan.....	51
7.1.2 Systemgränser .....	52
7.1.3 Förbättringsanalys.....	53
<b>7.2 Hälsorisker .....</b>	<b>53</b>
7.2.1 Trihalometaner.....	53
7.2.2 Bakteriereduktion.....	53
7.2.3 Arbetsmiljö .....	54
<b>8. SLUTSATS .....</b>	<b>54</b>
<b>9. REFERENSER.....</b>	<b>55</b>
Publicerade referenser .....	55
Opublicerade referenser .....	57
<b>BILAGA 2. VATTENKVALITET VID LOVÖ OCH NORSBORGS VATTENVERK SAMT GRÄNSVÄRDEN FÖR DRICKSVATTEN.....</b>	<b>61</b>
<b>BILAGA 3. DESINFEKTION AV DRICKSVATTEN.....</b>	<b>62</b>
Bakteriedödande verkan av klor.....	62
Bakteriedödande verkan av UV-ljus .....	62
Kloreringskemi .....	62
Definitioner.....	62
Bildning av trihalometaner.....	63
<b>BILAGA 4. LIVSCYKEL ANALYS .....</b>	<b>64</b>
Livscykelanalys - Bakgrund och metodik .....	64
Inledning .....	64
Livscykelanalysens grunder .....	64
Användning.....	64
Metod.....	65
<b>BILAGA 5. PROCESSHEMAN .....</b>	<b>70</b>
Processschema För monokloraminframställning.....	70
Processschema för caprolactam produktion.....	70
<b>BILAGA 6. TRANSPORTER.....</b>	<b>72</b>
<b>BILAGA 7. KARAKTÄRISERINGSINDEX FÖR KATEGORIN – HUMANTOXITET .....</b>	<b>75</b>
<b>BILAGA 8A. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED NATRIUMHYPOKLORIT .....</b>	<b>77</b>
<b>BILAGA 8B. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED KLORGAS</b>	<b>84</b>
<b>BILAGA 8C. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED UV-LJUS OCH MONOKLORAMIN (KOLUMN A-H).....</b>	<b>91</b>
<b>BILAGA 8C. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED UV-LJUS OCH MONOKLORAMIN (KOLUMN I-M) .....</b>	<b>104</b>
<b>BILAGA 8D. FRAMSTÄLLNING AV KEMIKALIER .....</b>	<b>114</b>
<b>BILAGA 9A. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT – ENERGIANVÄNDNING (ANGES I KJ/FU).....</b>	<b>121</b>

<b>BILAGA 9B. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT - MILJÖPÅVERKAN .....</b>	<b>122</b>
<b>BILAGA 9C. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT - HUMANTOXISKA EFFEKTER</b>	
<b>.....</b>	<b>124</b>





## **1. BAKGRUND**

Stockholm Vatten AB ansvarar för produktion av dricksvatten samt rening av avloppsvatten i Stockholmsområdet. De ansvarar dessutom för ledningsnäten för vatten och avlopp med pumpstationer och vattenreservoarer. Dricksvattnet produceras vid två vattenverk, Norsborg och Lovö. Tillsammans producerar de ca 350 000 m<sup>3</sup> dricksvatten per dygn till ca 1 miljon människor. Norsborgs vattenverk svarar för ca 60% av Stockholm Vattens dricksvattenproduktion medan Lovö vattenverk står för resterande 40%.

### **1.1 Behandling av dricksvatten**

Råvattentäkt för båda vattenverken är sjön Mälaren. Vattnet genomgår en reningsprocess innan det levereras som dricksvatten. Reningen består av tre huvudmoment: kemisk rening, mekanisk avskiljning och biologisk efterbehandling. Processschema för Lovö respektive Norsborgs vattenverk finns i bilaga 1. I det första steget tillsätts aluminiumsulfat som får lerpartiklar, organiska växtrester och bakterier från vattenfasen att klumpa ihop sig så att de sedimenterar och avskiljs. Slammet förs bort med hjälp av hydraulskrapor och slamsug. I det andra steget sker mekanisk rening i snabbfilter där restflockar från fällningen filtreras bort i sand. Slutligen passerar vattnet genom långsamfilter. Även dessa utgörs av sand men med en bredare kornstorlek än i snabbfiltren. Här avlägsnas lukt- och smakstörande ämnen samt bakterier. Innan det färdiga dricksvattnet lämnar vattenverket tillsätts en liten mängd klor och kalk för att garantera vattenkvaliteten ända fram till konsumenterna.

Syftet med klortillsatsen, desinfektionen, är att avdöda mikroorganismer så att spridning av vattenburna sjukdomar förhindras. Desinfektionssteget är en extra säkerhetsåtgärd eftersom bakterier och protozoer till stor del redan avlägsnats i samband med kemisk fällning och filtrering.

#### ***1.1.1 Vattenkvalitetsparametrar***

För att kontrollera dricksvattnets kvalitet görs provtagningar på det utgående dricksvattnet. Kontinuerliga on-line mätningar görs på pH, kloröverskott och turbiditet. Turbiditet är ett mått på mängden partiklar i vattnet, vilket avgör vattnets grumlighet. Det ackrediterade laboratoriet tar vattenprover tre gånger. Dessa analyseras för bakterieförekomst samt andra kvalitetsparametrar som färgtal, alkalinitet, turbiditet, pH och förekomst av aluminium. De gränsvärden som i dagsläget gäller för dricksvatten vid vattenverk anges av livsmedelsverkets dricksvattenkungörelse SLV FS 1993:35. Stockholm Vattens dricksvatten ligger på samtliga punkter under gällande gränsvärden. En specifikation av vattenkvaliteten vid Lovö och Norsborgs vattenverk finns i bilaga 2.

#### ***1.1.2 Dagens desinfektionsmetod – desinfektion med klor***

Dricksvatten började i den industrialiserande världen kloreras redan i början av seklet, sedan man förstått att smitta kan spridas via vatten. Detta anses ha räddat miljoner människor från att drabbas av vattenburen smitta som kolera och tyfoidfieber. Sedan dess har klorering blivit en desinfektionsmetod som används i många länder (Thureson, 1996).

Stockholm Vattens båda vattenverk har sedan drygt 50 år tillämpat desinfektion med kloraminmetoden. Denna innebär att små mängder klor tillsätts vattnet, vid Norsborg i form av klorgas och vid Lovö i form av natriumhypoklorit. För att bevara desinfektionseffekten ute

i ledningsnätet tillsätts också ammoniumsulfat vilket reagerar med klorret och bildar kloramin. Kloramin är en stabilare klorförening än fritt klor, vilket medför att klor finns med i vattnet även långt ut i ledningsnätet. Själva desinfektionen sker när fritt klor reagerar med bakterier och organiska föreningar i vattnet. En närmare beskrivning av desinfektion med klor finns i bilaga 3.

En betydande nackdel med klorering är att det bildas oönskade biprodukter när det fria klorret reagerar med organiska föreningar. Dessa biprodukter, så kallade klororganiska föreningar, utgörs bl. a. av klorättiksyra och trihalometaner, THM. Trihalometaner är ett samlingsnamn för kloroform, bromdiklormetan, dibromklormetan och bromoform (Fawell m.fl., 1986). De fyra ovan nämnda föreningarna har påvisats vara cancerogena vid höga doser, men det finns forskning som hävdar att negativa hälsoeffekter även kan uppstå vid lång exponering av låga doser av vissa klorerade biprodukter (Koivusalo, 1998).

Risken för bildning av klororganiska föreningar är större då vattnet tas från en ytvattentäkt än en grundvattentäkt. Detta förklaras av att ytvatten oftast innehåller större mängder organiskt material som kan reagera med klorret och bilda de oönskade biprodukterna. I Stockholm Vattens fall är sjön Mälaren dricksvattentäkten, så för att undvika bildning av biprodukter så långt som möjligt tillämpas slutdesinfektion. Detta innebär att klorret tillsätts vattnet som ett sista steg i reningsprocessen då största delen av det organiska materialet renats bort.

I USA har de potentiella riskerna med de oönskade biprodukterna diskuterats mer än i Sverige. Detta förklaras bl. a. av att man i USA tillsätter betydligt större mängder klor till dricksvattnet än i Sverige. Den tillåtna dosen är ca fyra gånger så hög som i Sverige (IARC, 1991). Detta resulterar i att förekomsten av klororganiska föreningar är större och därmed även risken för hälsoproblem. På senare tid har dock ämnet även diskuterats på andra håll vilket lett till att tankarna på att hitta en alternativ desinfektionsmetod ökat.

Klor ger även upphov till andra kvalitetsbrister hos dricksvattnet. Mätningar visar att mängden lättillgängligt organiskt kol (AOC) ökar vid klorering och därmed ökar även risken för mikrobiella problem i ledningsnätet (Blomberg m.fl., 2001). Vidare kan det hos konsumenterna uppstå lukt som orsakas av kloreringen.

Det dricksvatten som Stockholm Vatten levererar i dag innehåller låga halter av THM, klart under uppsatta gränsvärden (Blomberg m.fl., 2001). Så länge klor används vid dricksvattenberedning kommer metoden troligen att utsättas för kritik och ovissheten kring kloreringsbiprodukterna lär kvarstå. Därför har Stockholm Vatten som målsättning att minska användningen av kemikalier, inklusive klor, i beredningsprocesserna.

Förutom potentiella hälsorisker påverkar biprodukterna även avloppsslammet negativt. Kloreringen bidrar med ca 30% av uppmätta halter av adsorberbara organiska halogener, AOX, i avloppsslammet (Blomberg m.fl., 2001). En annan nackdel med klorering är arbetsskaderisken som föreligger vid hantering av klorgas. Klorgas är en toxisk gas som måste hanteras med stor varsamhet för att inte orsaka olyckor som kan leda till svåra hälsoproblem eller i värsta fall döden.

Det bör dock klargöras att hälsoriskerna med de klororganiska föreningarna är betydligt mindre än riskerna med de bakterier som skulle kunna spridas om ingen desinfektion tillämpades.

### 1.1.3 Hälsoeffekter av klororganiska föreningar

Bildningen av kloreringsbiprodukter är en stor nackdel med förfarandet att desinficera dricksvatten med klor. Under 1970-talet började resultat publiceras från undersökningar där man ur cancerförekomst jämfört klorerat och oklorerat vatten, ytvatten och grundvatten samt vatten med olika halter av trihalometaner.

En indirekt epidemiologisk undersökning som bygger på cancerdödlighetsdata (1950-1969) har genomförts för staten Louisiana, där Mississippifloden utgör huvudsaklig dricksvattentäkt (Page m.fl., 1976). Statistiskt signifikanta korrelationer kunde påvisas mellan vatten från Mississippifloden och cancer i mag-tarmkanalen samt urinorganen för två av de fyra etniska grupper som ingick i studien. I studien togs hänsyn till inkomst, urbaniseringsgrad och anställning i petroleum-, kemi- och gruvindustri.

Ett år senare kontrollerades samma material igen (De Rouen m.fl., 1977) där det påpekades att kulturella skillnader förelåg, samt att det bara var södra Louisiana som enbart använde Mississippifloden som dricksvattentäkt, vilket hade förbisetts i den tidigare undersökningen. De förut signifikanta korrelationerna eliminerades då hänsyn även togs till regionala skillnader och skillnader i fabriksjobb. Enligt Harris m.fl. (1977) kan dock inte enbart kulturella skillnader (diet etc.) vara avgörande för skillnader i cancerfrekvens, utan det måste röra sig om en dricksvatteneffekt också.

Även i jämförelsen mellan ytvatten och grundvatten har en signifikant förhöjning av cancerdödlighet kunnat påvisas i de län i Ohio som huvudsakligen har ytvattentäkter (Kuzma m.fl., 1977).

Cantor m. fl. (1978) genomförde en undersökning där cancermortalitet relaterades till mängden trihalometaner i dricksvatten. Vad gäller urinblåsecancer kunde tendenser till samband med trihalometaner ses efter justering för sociala, industriella och demografiska variabler. För halten trihalometaner minus kloroform var sambandet signifikant för kvinnor och nära signifikant för män. Hogan m.fl. (1979) gjorde en liknande undersökning för kloroform. Resultaten visade signifikanta korrelationer mellan kloroformhalt i dricksvatten och cancer i tarmen hos både kvinnor och män samt urinblåsa hos kvinnor.

Stora osäkerheter förknippas med dessa studier. Man kan t.ex. aldrig påvisa orsak-verkan samband då informationen tas från stora populationer och inte från individer. Ytterligare osäkerheter finns då:

- korrelationerna är beräknade utifrån cancerdödlighet i stället för antal insjuknande i cancer.
- de flesta cancertyper har lång latenstid och resultaten i undersökningarna visar därmed ett samband med vattenkvaliteten sådan den var för 20-40 år sedan. Vattenkvaliteten kan ha förändrats betydligt under dessa år.
- ingen undersökning har justerat för tex. rökning, trots att de flesta undersökningarna tagit hänsyn till sociala och demografiska variabler har. Rökning antas ge ökad risk för cancer i urinblåsan.
- olika statistiska metoder kan ge olika resultat.

På grund av de svårigheter som föreligger vid denna typ av undersökning fanns 1980 inga entydiga bevis för att klororganiska föreningar var cancerogena för människor. Däremot tyder resultaten på att organiska och halogenerade föreningar i dricksvatten *möjligen* kan ha effekt på cancer i tarm och urinblåsa (IARC, 1991).

### **1.1.4 Alternativ behandling - desinfektion med UV-ljus**

Ett av flera alternativ till klorering är desinfektion med UV-ljus, som har en effektiv bakteriedödande verkan. UV-ljuset utlöser en fotokemisk reaktion i DNA-molekylen som förorsakar ett flertal skador på denna. Detta leder till att celledelning och näringsupptag förhindras varvid mikroorganismerna inaktiveras och oskadliggörs (Thuresson, 1996). En mer detaljerad beskrivning av förloppet ges i bilaga 3.

UV-ljusets bakteriedödande verkan är momentan och därmed föreligger en risk för att bakterierna återväxer i ledningsnätet. För att undvika detta är det lämpligt att kombinera UV-ljus med en kemikalie som har en kvardröjande desinfekterande verkan i ledningsnätet. Tillsats av färdigberedd monokloramin ger den önskade desinfekterande verkan i ledningsnätet. Samtidigt kan ammoniumöverskottet och mängden fritt klor minskas i jämförelse med om klorgas eller hypoklorit och ammoniumsulfat skulle tillsättas vattnet liksom idag. I dagens metod, där klor och en ammoniumförening tillförs vattnet för att kloramin spontant ska bildas är det svårt att styra processen så att den önskvärda monokloraminen bildas.

Att desinfektera dricksvattnet med UV-ljus i kombination med färdigberedd monokloramin möjliggör en halvering av klordosen och därmed minskade negativa bieffekter (Blomberg m.fl., 2001). Under hösten 1998 gjorde SVAB en studie av desinfektion med UV-ljus i en pilotanläggning på Lovö vattenverk, där fyra olika UV-aggregat testades. Studien visade att dagens desinfektionsmetod med fritt klor är signifikant sämre än desinfektion med UV-ljus, med avseende på reduktion av bakterier (Blomberg m.fl., 2001). Dessutom minskas bildningen av trihalometaner, THM, liksom av adsorberbara organiska halogener, AOX, markant. En minskad klordos vid vattenverken kommer med största sannolikhet att också sänka halten AOX i avloppsslammet. Dock råder dock oklarheter kring bildning av klorättiksyra vid användning av monokloramin. Resultaten skiljer sig från resultat i litteraturen. Då analysen endast genomförts vid ett tillfälle bör den upprepas, för att utesluta analysfel, innan några slutsatser dras (Blomberg m.fl., 2001). I jämförelse med fritt klor minskar bildningen av lättillgängligt kol avsevärt då UV-ljus används. Någon avvikande lukt kunde inte påvisas efter UV-behandling.

För att förbättra beslutsunderlaget till vilken desinfektionsmetod som är att föredra ur energi- och miljösynpunkt genomförs denna jämförande LCA-studie.

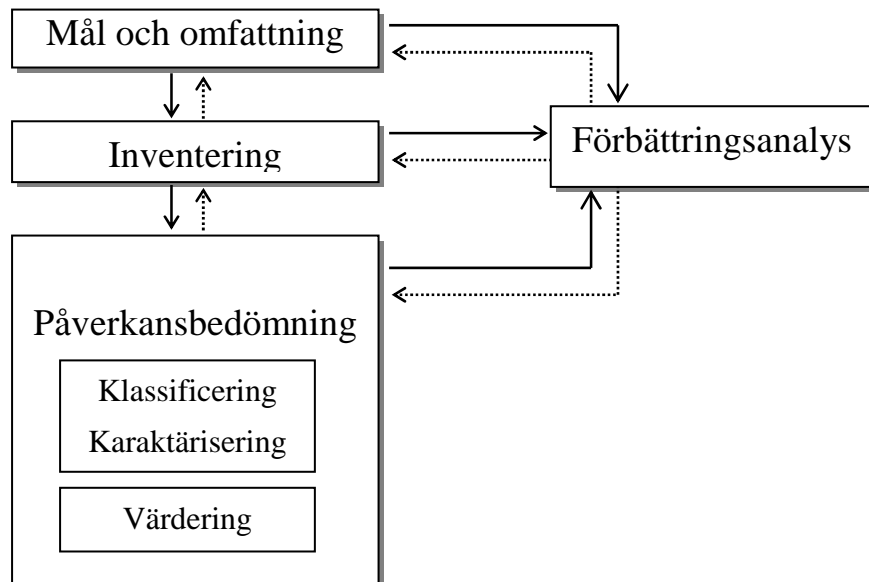
## **2. VAD ÄR LCA?**

För att underlätta förståelsen av resultaten ges här en kort introduktion av vad en livscykelanalys är. En livscykelanalys är ett verktyg för att bedöma den resurs- och miljöbelastning som en produkt eller tjänst orsakar under hela sin livscykel, från vaggan till graven. Helhetsperspektivet innebär att allt ifrån utvinning av råmaterial eller energibärare, tillverkning, distribution och användning till eventuell återanvändning och återvinning samt slutlig avfallshantering bör beaktas. Dessutom ska alla transporter i produktkedjan inkluderas. (Lindfors m.fl., 1995)

Enligt SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) och ISO (International Standards Organisation) ska en LCA innehålla fyra huvudmoment; definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning samt tolkning av resultat. Strukturen ges i figur 1. En LCA är en iterativ process som upprepas tills målet är nått. Arbetsgången kan i korthet sammanfattas på följande sätt:

- Studiens mål och omfattning definieras

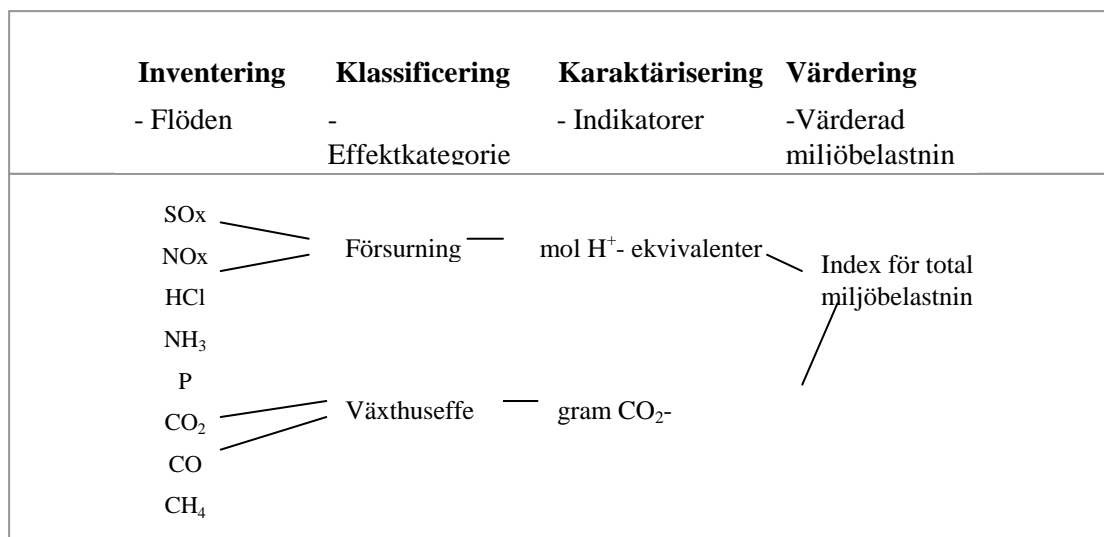
- Sammanställning av en inventering av relevanta inflöden och utflöden av material och energi för ett produktsystem.
- Värdering av de potentiella miljöeffekterna förknippade med dessa inflöden och utflöden
- Förbättringsanalys genomförs genom tolkning av resultaten från inventerings- och miljöpåverkansfaserna i förhållande till studiens målsättning.



Figur 1. Livscykelanalysens struktur. De streckade pilarna i figuren symboliserar de itereringar som kan komma att krävas (efter SETAC, 1993).

I påverkansbedömningen relateras olika slag av miljöbelastning i form av emissioner och resursförbrukning till olika effektkategorier. Av dessa görs en karaktärisering inom varje kategori. Därefter kan kategorierna värderas i förhållande till varandra för att få ut ett totalt miljöindex för det studerade systemet, se

figur 2. Det sista värderingssteget är dock frivilligt.



Figur 2. Schematisk bild över gången i påverkansbedömningen.

En mer ingående beskrivning av Livscykelanalysens bakgrund och metodik ges i bilaga 4.

### 3. LCA AV DRICKSVATTENDESINFEKTION VID SVAB

#### 3.1 Syfte

Syftet med denna livscykelanalys är att jämföra miljöpåverkan och energianvändning för tre olika desinfektionsmetoder för dricksvatten. Desinfektionsmetoderna är de som tillämpas i dag (2001) i Stockholm Vattens vattenverk, slutdesinfektion med kloramin (baserat på klorgas respektive natriumhypoklorit) samt en alternativ metod där UV-ljus i kombination med färdigberedd monokloramin används.

Dessutom avser studien att klargöra var i produktionskedjan den största energiåtgången finns samt varifrån den största miljöpåverkan härstammar. Förutom dessa punkter ska även eventuella skillnader i hälsoeffekter i samband med förtäring av vattnet samt arbetsmiljö kartläggas.

#### 3.2 Målgrupp

Livscykelanalysen kommer att användas för internt bruk, vid planering av investeringar på vattenverket. Arbetet kommer därmed att vara en del av det beslutsunderlag som avgör om en fortsatt utbyggnad av UV-metoden på Lovö och Norsborgs vattenverk kommer att ske.

Målgruppen är personer på Stockholm Vatten som arbetar med strategiska utvecklingsfrågor samt chefer och övrig personal på vattenverken. Vidare skall resultatet och angreppssättet kunna användas av andra i VA-branschen.

#### 3.3 Funktionell enhet (FU)

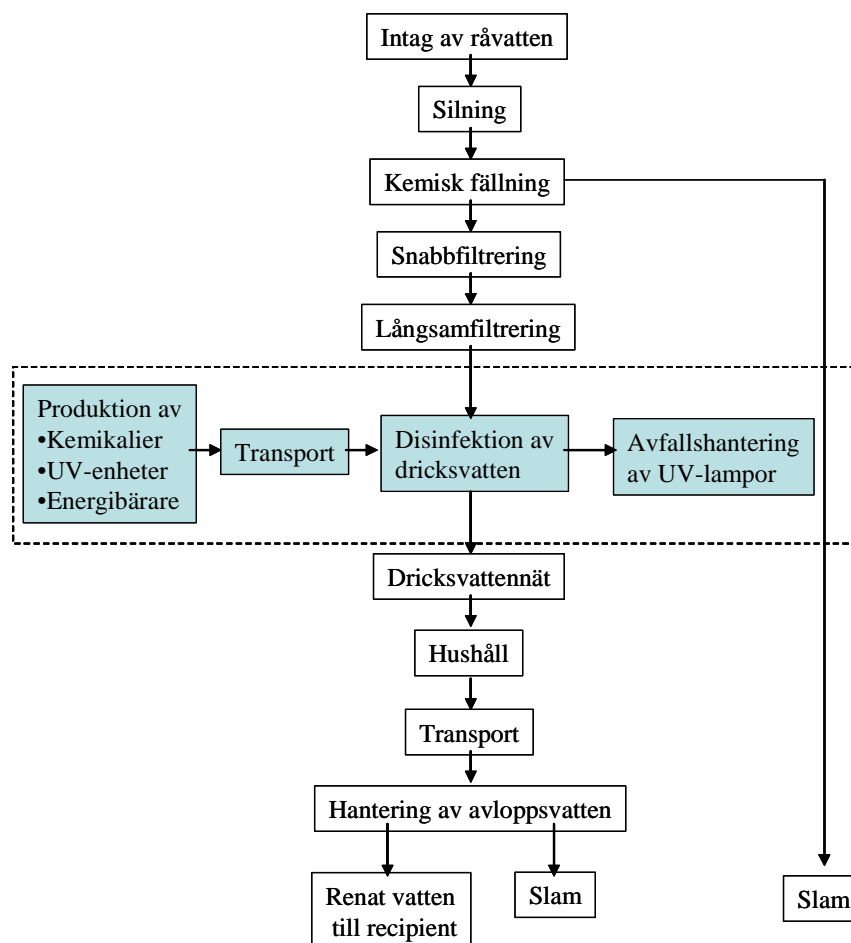
Eftersom det är tre olika beredningssystem för samma produkt som ska jämföras bör den funktionella enheten vara produktrelaterad. Både massa och volym kan anses lämpliga att utgöra bas då det gäller vatten, men eftersom man i dricksvattensammanhang oftast anger

produktionen i en viss volym per tidsenhet, bör också den funktionella enheten relateras till en mätbar volym.

Den funktionella enheten i studien fastställs således till **1 m<sup>3</sup> dricksvatten**, denna kommer att utgöra räknebas i hela studien. Med dricksvatten avses här dricksvatten som lämnar Lovö eller Norsborgs vattenverk och som uppfyller kvalitetskraven för dricksvatten enligt Livsmedelsverket (SLV FS 1993:35).

### 3.4 Systemgränser

Livscykelanalysen spänner enbart över reningsprocessens desinfektionssteg. Studien är därmed avgränsad till funktionen att desinficera 1 m<sup>3</sup> dricksvatten. Denna avgränsning motiveras av att de tre systemen är identiska utanför denna gräns. Vaggan i systemet är produktion av de resurser som används; kemikalier, UV-lampor och energibärare. Graven ligger i avfallshandlingen av UV-lamporna. Systemet illustreras i figur 3.



Figur 3. Principiellt flödesschema över processen för dricksvattenberedning. De delar som innefattas av denna livscykelanalys återfinns inom de streckade linjerna.

Inom dessa systemgränser omfattar studien emissioner och energiförbrukning från aktiviteter och transporter som krävs för att desinficera vattnet med ovan nämnda metoder. Dessutom innefattar studien arbetsmiljöaspekter och hälsoeffekter av klororganiska föreningar. Då det finns ont om beprövade metoder för hantering av arbetsmiljöfrågor i LCA sammanhang kommer dessa att belysas i ett eget avsnitt. Vidare kommer klororganiska föreningar och deras hälsoeffekter belysas i ett eget avsnitt, avskilt från livscykelanalysen. De kommer även att



hanteras som emissioner till vatten och ingå i livscykelanalysens kategori för humantoxiska effekter.

#### Avgränsning geografiskt

Vad gäller elkonsumention så kommer denna att relateras till de primärenergikällor som används i det land där elektriciteten konsumeras.

Hänsyn tas inte till att vissa emissioner med främst lokal verkan uppstår långt ifrån de studerade systemen, utan alla emissioner inkluderas.

#### Avgränsning mot andra produkters livscykler

Desinfektionen är en kemikalieintensiv process och därmed innefattar studien tillverkning av de aktuella kemikalierna. Energiförbrukning och emissioner i samband med framställning ligger inom systemgränserna, däremot exkluderas alla föregående delsteg t.ex. tillverkning av maskiner som används i framställningsprocesserna. Detsamma gäller för UV-systemet.

#### Avgränsning mot maskiner och personer

I de två systemen där kloraminmetoden tillämpas finns i dagsläget erforderlig utrustning tillgänglig vid vattenverken. När det gäller UV-metoden däremot måste hela systemet köpas in och transporteras från tillverkningsplats till vattenverket. För att få jämförbarhet i studien kommer trots detta inga data för tillverkning eller transporter av produktionsutrustning att inkluderas. Endast förbrukningsvaror, produkter som måste bytas ut vart tionde år eller oftare, ligger inom systemgränserna. Miljöeffekter till följd av personalens transporter, boende etc. ligger också utanför studien.

### **3.5 Datakvalitet**

I så stor utsträckning som möjligt kommer anläggningsspecifika data att användas. Detta avser främst data från vattenverken gällande kemikalieförbrukning och användning av energi, men även data som avser tillverkning av UV-lampan. För kemikalieproduktionen är målet att använda anläggningsspecifika data men om svårigheter uppstår kommer litteraturdata att användas. Intentionen är att inga litteraturdata äldre än tio år skall behöva användas.

Vad gäller elektricitet, kan man använda sig av genomsnittsel eller marginalet.

Genomsnittseln representerar den del av elproduktionen som utgör baslasten, främst vatten- och kärnkraft. Marginalet utgörs av topplasten, främst fossila bränslen som kol och olja. Att välja genomsnittsel i LCA-sammanhang ger förhållandevis små luftföroreningar jämfört med marginalet. Att räkna på genomsnittsel då elanvändningen för en process ökar, t.ex. i samband med processförändringar, ger därmed en förskönad bild. Detta eftersom den extra el som då skulle behöva produceras sannolikt kommer från kol- eller oljekondenskraftverk vilka har stora utsläpp och dålig verkningsgrad.

Att välja genomsnittsel istället för marginalet innebär dock att inga uppskattningar och förutsägelser behöver göras av hur marginalet kommer att se ut i framtiden. (Bengtsson m.fl., 1997). Därför används här genomsnittsel.

### 3.6 Inventeringsparametrar

Det är viktigt att valet av effektkategorier väl stämmer överens med den fastställda målbeskrivningen. De kategorier som är aktuella för denna livscykelanalys redovisas i tabell 1.

*Tabell 1. Aktuella effektkategorier*

---

#### Effektkategori

---

Resursförbrukning - Energi och material

Hälsoeffekter - Toxiska effekter

Växthuseffekt

Försurning

Eutrofiering

Inflöden som ej följs från "vaggan"

Utflöden som ej följs till "graven"

---

Övriga kategorier uteslutes på grund av att det allmänt råder osäkerhet om hur de ska hanteras eller att de inte anses viktiga för att kunna uppnå studiens mål. Det huvudsakliga syftet är att få en jämförelse av energianvändningen och de i dagsläget mest omdiskuterade miljöeffekterna, växthuseffekt, försurning respektive eutrofiering. En noggrannare beskrivning av kategorierna i tabell 1 samt deras karaktäriseringsindex ingår i kapitel 5.

### 3.7 Värderingsmetoder

Någon samlad värdering görs inte i denna studie, med motiveringen att det i dagsläget inte finns någon värderingsmetod som inkluderar arbetsmiljö eller hälsoeffekter. Därmed kommer även värdering av övriga delar i studien att utgå.

### 3.8 Beräkningar

Beräkningarna är till största del genomförda i den svenska versionen av programvaran Excel version 3.1, utvecklad av Microsoft. Huvudsakliga operativsystem som använts är Windows NT och Windows 2000.

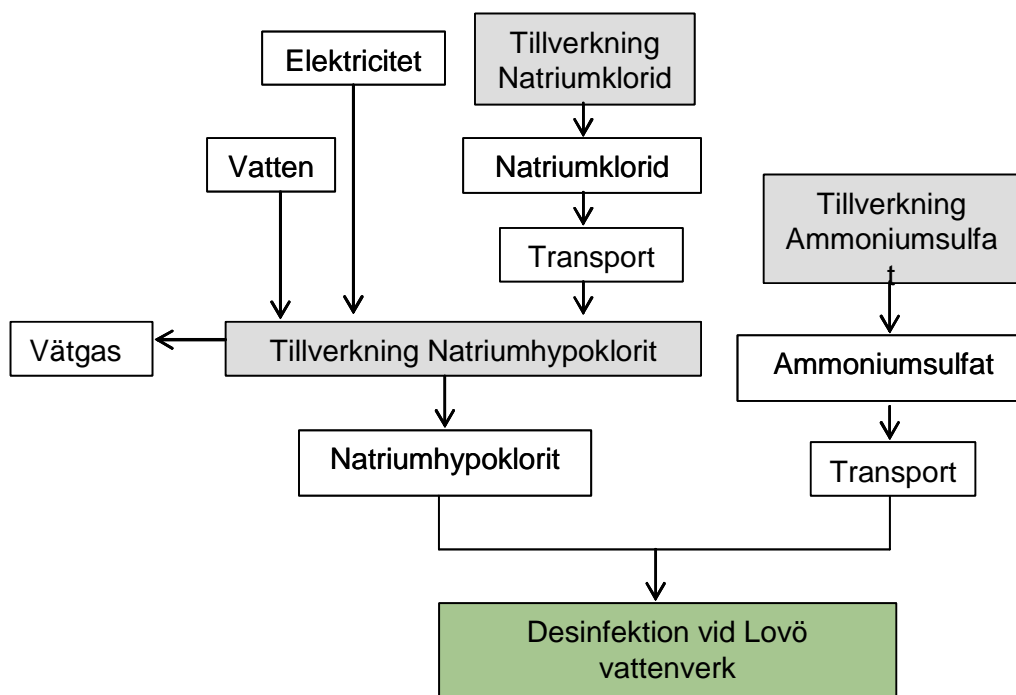
### 3.9 Allokeringar

Några allokeringar inom de olika desinfektionsmetoderna har inte behövt göras. Däremot har det i samband med kemikalietillverkning krävts att ansvaret för emissioner och resursförbrukning behövt fördelas proportionerligt mellan produkter och processer. I samtliga fall då allokering krävts har det gjorts på ekonomisk basis, vilket innebär att det ekonomiska värdet på produkten har legat till grund för fördelningen.

## 4. INVENTERING

### 4.1 Desinfektion med Natriumhypoklorit

Vid Lovö vattenverk desinficeras vattnet enligt kloraminmetoden med hjälp av natriumhypoklorit och ammoniumsulfat och flödesschemat visas i figur 4.



Figur 4. Flödesschema för desinfektion med kloraminmetoden vid Lovö vattenverk.

#### 4.1.1 Natriumklorid, NaCl

Natriumklorid, koksalt, används som råvara vid tillverkning av natriumhypoklorit. Saltet, som levereras av AB Hanson & Möhring, framställs i Holland genom upplösning av bergssalt med färskvatten. Metoden är följande; två rör, ett grövre och ett smalare inuti, sänks ner i ett hål som borrats i berget. I det smalare röret pumpas färskvatten ner och löser upp saltavlagringar i berget. Ett övertryck skapas i röret då nytt vatten kontinuerligt pumpas ner. Detta gör att det salthaltiga vattnet pressas upp till ytan mellan de båda rören. Vattnet pumpas därefter i pipelines till fabriken för rening och indunstning. Föroreningar som tas bort är bl. a. sulfat-, kalcium- och magnesiumjoner. Natriumkloridhalten uppgår slutligen till drygt 99,95 %. Indunstning innebär att det salthaltiga vattnet förångas för att natriumkloriden ska fällas ut. Vid förångningen är naturgas det primära energislaget. För att sänka vattenhalten används också centrifugering. Slutprodukten innehåller 3 % vatten.

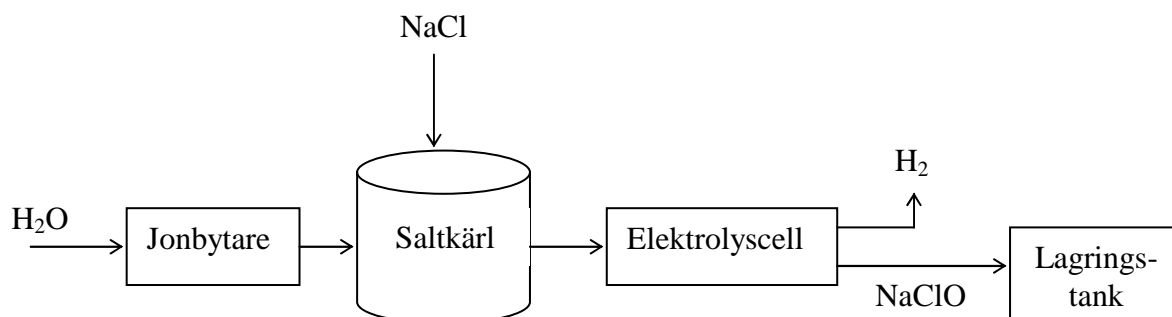
Transport av saltet från Delfzjl, Holland till södra Värta Hamnen, Stockholm sker med båt. Den slutliga transporten från AB Hanson & Möhring i Värta Hamnen till Lovö vattenverk sker med lastbil. Beräkningsdata som använts är anläggnings-specifika litteraturvärden (Halldin m.fl., 1995) för framställning av natriumklorid.

#### 4.1.2 Natriumhypoklorit, NaClO

Natriumhypokloriten framställs på plats på vattenverket från natriumklorid och vatten. För ett översiktligt flödesschema se figur 5.

Vattnet som används passerar en jonbytare innan det leds in i ett kärl innehållande natriumklorid. I kärlet löses saltet upp till en koncentrerad saltlake. Därefter pumpas

saltlösningen till en elektrolyscell där elektricitet förs igenom varpå natriumhypoklorit och vätgas bildas. Natriumhypokloriten förs till lagringstankar och vätgasen ventileras bort med hjälp av fläktar. Vätgasen är en ren restprodukt.



Figur 5. Översiktligt flödesschema för natriumhypokloritanläggningen.

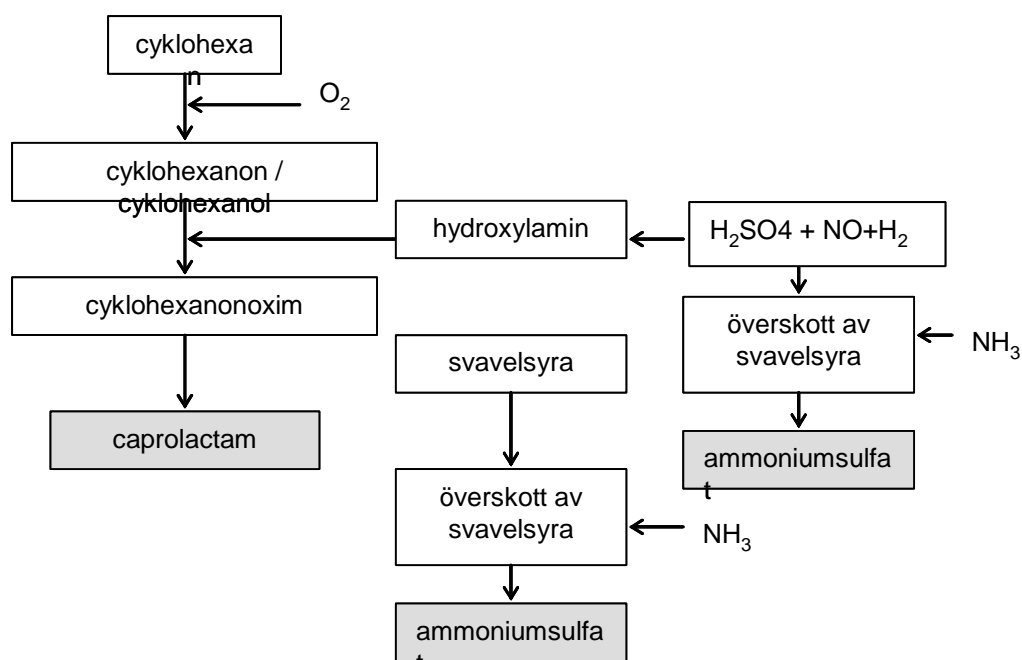
Jonbytarens anod och katod måste beläggas på nytt med en oxid av iridium och rutenium vart fjärde år. Energi- och materialanvändningen för detta ingår i studien.

#### 4.1.3 Ammoniumsulfat, $(NH_4)_2SO_4$

Ammoniumsulfat levereras av HCl Nordic AB som har sitt kontor i Täby utanför Stockholm. Tillverkningen sker av BASF i Ludwigshafen, Tyskland. Därifrån transporteras ammoniumsulfaten först till Göteborg med lastbil och sedan vidare med lastbil till vattenverket, via Frövi.

Ammoniumsulfat framställs som en biprodukt vid syntes av caprolactam ( $C_6H_{11}NO$ ), som i sin tur används vid framställning av nylon. Råmaterial i framställningsprocessen av caprolactam är cyklohexan. Denna oxideras med syre, som tas från luften, för att erhålla en blandning av cyklohexanon och cyklohexanol. Hydroxylamin tillsätts och ger då cyklohexanonoxim. Hydroxylaminen är syntetiserad från kväveoxid och vätgas i svavelsyra, överskottet av svavelsyra neutraliseras med ammoniak vilket ger ammoniumsulfat. Med hjälp av svavelsyra övergår sedan oximet till caprolactam. Även här neutraliseras överskottet av svavelsyra med ammoniak vilket ger ammoniumsulfat. Processschema visas i bilaga 5. Därmed framställs ammoniumsulfat i två steg i caprolactam processen; dels vid framställning av hydroxylamin samt dels vid framställning av caprolactam från cyklohexanonoxim. I figur 6 visas schematisk bild över processen.

Beräkningsdata som använts är anläggningsspecifika värden för BASF:s anläggning i Ludwigshafen. Inga allokeringar har genomförts mellan caprolactam och ammoniumsulfat. Istället har all energianvändning och alla emissioner som direkt kunnat relaterats till ammoniumsulfaten och dess processkedja, produktion av ammonium och svavelsyra, belastats ammoniumsulfaten. Övrig energi och emissioner har relaterats till huvudprodukten caprolactam.



Figur 6. Schematisk bild över framställning av ammoniumsulfat och caprolactam.

Tabell 2. Sammanfattning av inventering - Desinfektion med natriumhypoklorit.

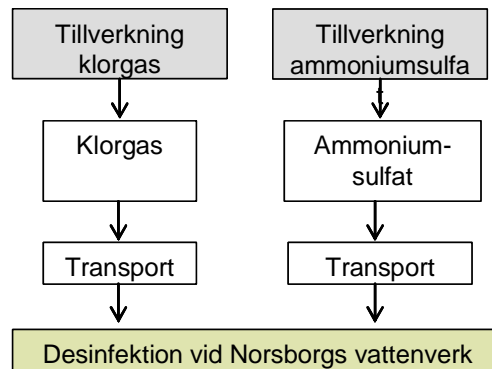
Inventeringsdel	Storlek	Enhet	Anmärkning	Relation	Referens
<i>Energianvändning</i>					
Elektricitet	$9,72 \times 10^{-6}$	MJ/F U	Vattenfalls genomsnittsel 1995		Brännström-Norberg (1996)
<i>Resursanv.</i>					
Natriumklorid	1,48	g/FU <sup>1</sup>	2,5 g salt ger 1 g natriumhypoklorit		SVAB <sup>2</sup> , 2001
Natriumhypoklorit	0,45	g/FU <sup>1</sup>	anges i gram aktivt klor		SVAB <sup>2</sup> , 2001
Ammoniumsulfat	0,18	g/FU <sup>1</sup>			SVAB <sup>2</sup> , 2001
<i>Transport av</i>					
Salt	2379	km	Båt	Delfzijl- Södra Värta Hamnen	Halldin m fl., 1996 / uppskattad sträcka
Salt	24	km	Medeltung lastbil, regional trafik	Värta Hamnen- Lovö	AB Hanson & Möhring, 2001
Ammoniumsulfat	1150	km	Tung Lastbil, fjärrtransport	Ludwigshafen- Göteborg	BASF, 2001 / uppskattad sträcka
Ammoniumsulfat	487	km	Medeltung lastbil, regional trafik	Göteborg - Lovö, via Frövi.	HCI Nordic, 2001

<sup>1</sup>FU= Funktionell Enhet, dvs. 1 m<sup>3</sup>. För definition av FU se avsnitt 4.1.3 sid. 13.

<sup>2</sup>SVAB= Stockholm Vatten AB

## 4.2 Desinfektion med Klorgas

Vid Norsborgs vattenverk används idag klorgas och ammoniumsulfat för desinfektion enligt kloraminmetoden, se figur 7.

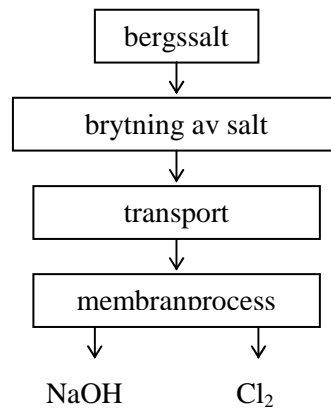


Figur 7. Flödesschema för desinfektion med kloraminmetoden vid Norsborgs vattenverk.

### 4.2.1 Klorgas, $Cl_2$

Akzo Nobels anläggning i Skoghall levererar klorgasen,  $Cl_2$  (g). Vid framställning används membranmetoden som är en renare metod än den tidigare ofta tillämpade kvicksilvermetoden. Framställningsprocessen visas schematiskt i

figur 8. Transporten av klor från Skoghall till Norsborgs vattenverk sker med lastbil.



Figur 8. Flödesschema för tillverkning av klorgas och natriumhydroxid.

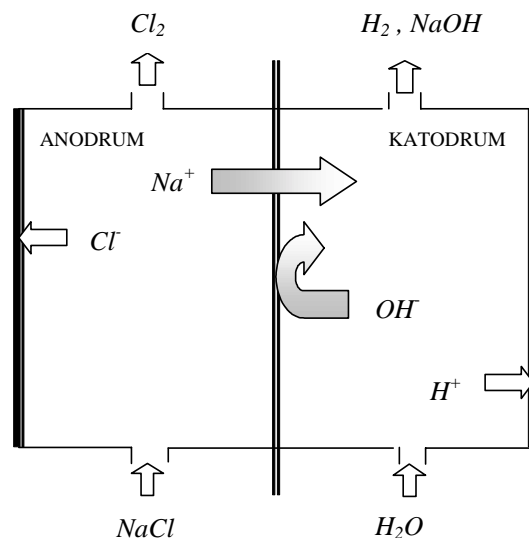
#### Utvinning av natriumklorid

Denna process är identisk med den ovan nämnda, nämligen att brytning av salt sker i Holland. Precis som ovan framställs natriumkloriden genom att bergssalt upplöses i färskvatten med återföljande rening och indunstning. Skillnaden ligger i transporten till Sverige.

Natriumkloriden transporteras här med båt från Delfzijl i Holland till Akzo Nobels anläggning i Skoghall.

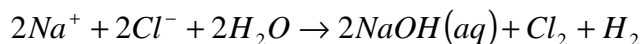
## Produktion av klorgas, $Cl_2$ , och natriumhydroxid, NaOH

Vid framställningen används membranmetoden som innebär att två elektrodrum skiljs åt med ett jonselektivt membran, figur 9. Till anodrummet, med den positiva elektroden, förs en mättad koksaltlösning (300 g NaCl per liter). Den negativa kloridjonen dras till den positiva anoden och avger där sin överskottselektron och en fri kloratom bildas som genast slår sig samman med en till och bildar klorgas,  $Cl_2$  (g). Den positiva natriumjonen passerar membranet och dras mot den negativa elektroden som finns i katodrummet. De positiva jonerna kan vandra igenom membranet som är tillverkat av ett teflonliknande material försett med teflonsyra- eller karboxylsyragrupper. Det bildas väteatomer vid katoden, i vattenmiljö reagerar dessa dock direkt och bildar vätgas, som i detta fall är en restprodukt. Biprodukt i processen är natriumhydroxid, (lut). (Akzonobel, www)



Figur 9. Principskiss för lut- och klorgasframställning enligt membranmetoden

Nettoreaktionen för processen blir:



I processen används stora mängder vattenånga som produceras med hjälp av energi från olja och naturgas. I beräkningarna har miljöbelastningen fördelats mellan klor och lut med ekonomisk allokering. Klorframställningen belastas med 17 % och lutframställningen med 83 % av miljöbelastningen. Lut är mer inkomstbringande vilket leder till att den tar en större del av miljöbelastningen.

Beräkningsdata som används är anläggnings-specifika litteraturvärden (Halldin m.fl., 1995).

### 4.2.2 Ammoniumsulfat, $(NH_4)_2SO_4$

HCI Nordic AB levererar ammoniumsulfat även till Norsborgs vattenverk.

Ammoniumsulfaten framställs av BASF, för beskrivning av processen samt transporter hänvisas till 4.1.3. Beräkningsdata som används är anläggnings-specifika värden tillhandahållna av BASF:s anläggningen i Ludwigshafen.

Tabell 3. Sammanfattning av inventering – Desinfektion med klorgas

Inventeringsdel	Storlek	Enhet	Anmärkning	Relation	Referens
<i>Energianvändning</i>					
Elektricitet	-	MJ			
<i>Resursanvändning</i>					
Klorgas	0,45	g/FU <sup>1</sup>	anges i gram aktivt klor		SVAB <sup>2</sup> , 2001
Ammoniumsulfat	0,225	g/FU <sup>1</sup>			SVAB <sup>2</sup> , 2001
<i>Transport av</i>					
Klorgas	287	km	Medeltung lastbil, regional trafik	Skoghall-Norsborg	Akzo Nobel, 2001/ uppskattad sträcka
Ammoniumsulfat	1150	km	Tung Lastbil, fjärrtransport	Ludwigshafen-Göteborg	BASF, 2001 / uppskattad sträcka
Ammoniumsulfat	521	km	Medeltung lastbil, regional trafik	Göteborg - Norsborg, via Frövi.	HCI Nordic, 2001

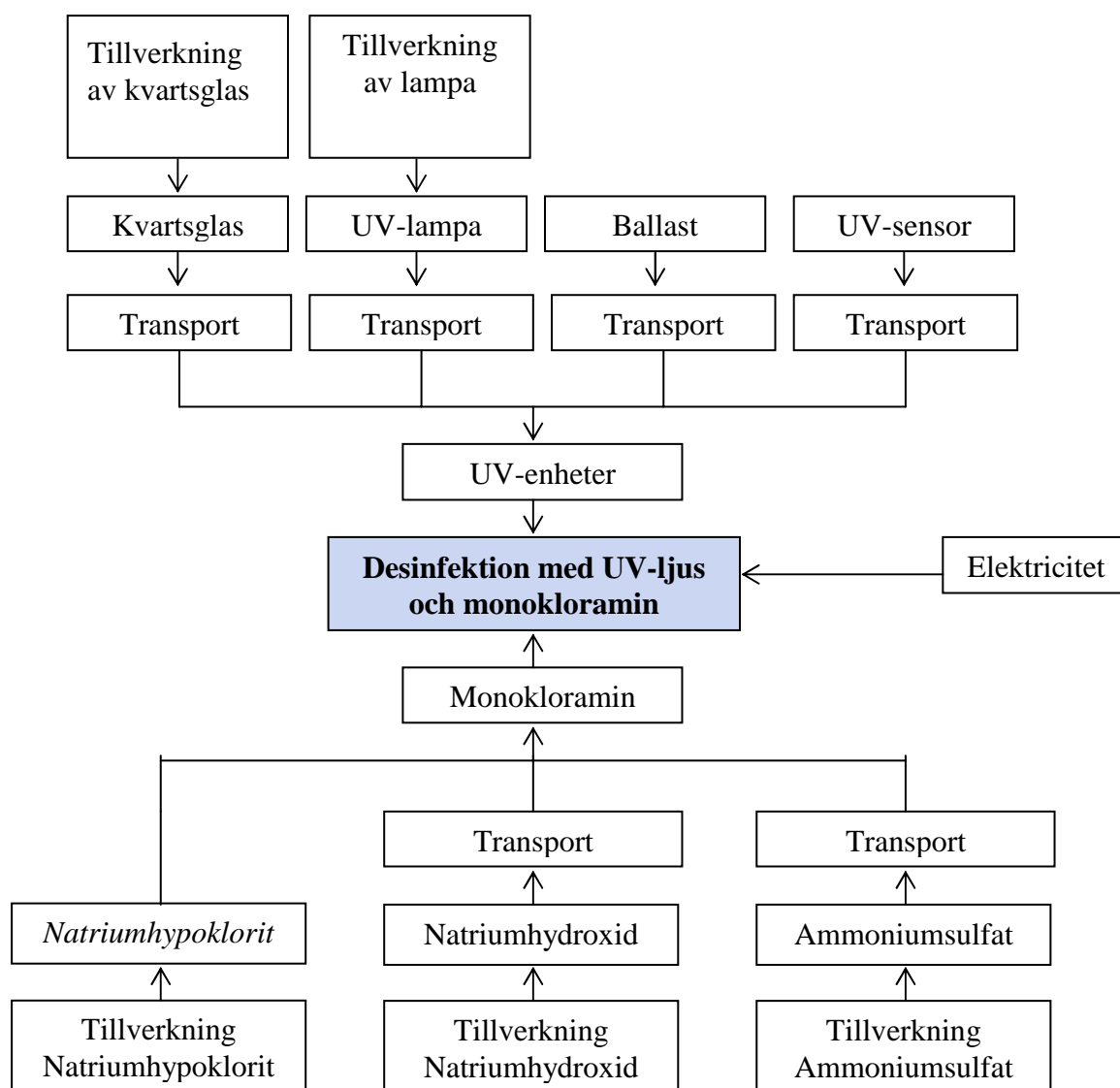
<sup>1</sup>FU= Funktionell Enhet, dvs. 1 m<sup>3</sup>. För definition av FU se avsnitt 4.1.3 sid. 13.

<sup>2</sup>SVAB= Stockholm Vatten AB

### 4.3 Desinfektion med UV-ljus och monokloramin

En desinfektionsanläggning vid Lovö Vattenverk där UV-ljus i kombination med färdigberedd monokloramin används installerades under hösten 2001, flödesschema visas i figur 10.





Figur 10. Flödesschema för desinfektion med UV-ljus och färdigberedd monokloramin

#### 4.3.1 UV-enheter

Tyska WEDECO AG levererar en systemlösning som inkluderar alla nödvändiga komponenter till UV-anläggningen. Systemet består i huvudsak av två UV-enheter med tillhörande ballast (styrenhet) och sensorer, se figur 11.

Anläggningen är dimensionerad för ett flöde på 6000 m<sup>3</sup> per timme, jämt fördelat mellan de två enheterna. Lovö vattenverk har två utgående linjer med renvatten varav de två UV-enheterna är installerade på den ena linjen. Varje enhet innehåller 108 stycken UV-lampor som är ordnade i 12 rader med 9 lampor i varje. Lamporna är placerade vinkelrätt mot flödesriktningen för att möjliggöra maximal kontakt mellan vattnet och UV-strålarna för att därmed få så effektiv bakterieavdödning som möjligt. Lampan omges av ett skyddande glasrör (kvartsrör). Detta gör att ingen direktkontakt mellan lampan och vattnet finns.



*Figur 11. Den vänstra bilden visar en UV-enhet med tillhörande ballast av den modell som ska användas vid Lovö. Bilden till höger visar de UV-enheter som är i drift i Helsingfors i Finland.*

### Lampa

Det bakterieavdödande UV-ljuset alstras av Indium-Amalgam lampor av lågtryckstyp. Lampan består av ett glasrör innehållande ädelgas, argon, samt en liten mängd amalgam (30% Cu, 70% Hg antages). I båda ändar av röret finns elektroder. När en elektrisk ström sänds genom lampan avges elektroner från katoden och rör sig mot motstående sida. I röret accelererar och kolliderar elektronerna med ädelgasatomerna. I samband med kollisionen exciteras eller joniseras atomen, när atomen sedan återgår till sin ursprungsform avges ett karakteristiskt ljus.

Då kvicksilver har en låg exciterings- och joniseringspotential i förhållande till argongasen är det främst kvicksilveratomerna som exciteras och avger ljus. Ljuset utgörs därmed främst av emittans från kvicksilver med en våglängd på 253,7 nm. Förutom UV-ljuset avger lamporna även energi i form av synligt ljus och värme. (Kanigowski, pers. med.)

För att tillfredställande emittans ska uppnås är det viktigt att lampan håller en jämn temperatur. Att använda amalgam i stället för rent kvicksilver möjliggör en jämn temperatur i lampan. Det är dock svårt att uppnå lika hög effektivitet med amalgam som med rentkvicksilver. Genom att tillsätta indium reduceras gastrycket så att samma effektivitet kan uppnås som om kvicksilver ensamt hade använts. (Kanigowski, pers. med.)

De huvudsakliga beståndsdelarna i UV-lampan redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Beståndsdelar i UV-lampa (Kanigowski, pers. med.)

Material	Mängd	Anmärkning
Glas	300 g	Glaset i lampen är mycket klart och utan föroreningar. Vid beräkning har LCA-data för jungfruligt glas använts (Tillman m.fl., 1991). Då glaset i lampen återanvänds har data för minskad energianvändning och minskade emissioner vid framställning av recirkulerat glas räknats som slupna emissioner.
Argon	7,5 mm <sup>3</sup>	I beräkningarna används information från AGA, leverantör av argongas i Sverige.
Amalgam	<100 mg	Amalgamet antages ha sammansättningen 70% Hg och 30% Cu (Petrucci, 1989). Vid beräkning ingår endast data för koppar respektive kvicksilver, ej legeringsprocessen (Sunér, 1996).
Lödmaterial	4 g	Antas att ett kopparbaserat (Cu 99%) lödmaterial används (Meltolit AB, www). Detta antagande bygger på att det är värmeresistent och används vid lödning i vakuum, vilket passar rådande förhållanden. I beräkningar inkluderas endast framställning av koppar (Sunér, 1996).
Indium	200 mg	
Molybden	200 mg	
Keramik	20g	

En lampa har en beräknad livslängd på mellan 8000 och 10 000 timmar. Det normala vattenflödet vid Lovö är ca 3000 m<sup>3</sup> per timme. Eftersom UV-anläggningen är fördelad på två linjer med en UV-enhet på varje, som vardera kan hantera 3000 m<sup>3</sup> per timme, fördelas flödet mellan de båda linjerna. Under tidsperioden ett år kommer belastningen på de två linjerna fördelas enligt tabell 5.

Tabell 5. Flödesfördelning mellan de två UV-enheterna under ett år (Eriksson, pers.)

Linje	50% av året	50% av året
Linje 1	Maximalt flöde	Inget flöde
Linje 2	Inget flöde	Maximalt flöde

Detta innebär att varje enskild lampa når sin beräknade maximala livslängd efter två år. Troliga inköpsrutiner för nya lampor blir att i snitt byta ut 216 lampor vart annat år på grund av förbrukad livslängd samt 6 lampor (uppskattat värde, Neitemeier, pers.) som reservdelar, totalt 222 lampor vart annat år. Hur lamporna fördelas mellan de olika enheterna, som innehåller 108 lampor i vardera enhet, beror av behovet. (Eriksson, pers.)

UV-lampa tillverkas av Advanced UV-Light som är ett dotterbolag till WEDECO AG. Tillverkning sker i Essen, varefter lamporna skickas till WEDECO:s kontor i Herford. Från Herford skickas sedan lamporna till Sverige. Leveransen går först till WEDECO:s svenske mellanhand, Bergman-Axab AB, i Årsta och sedan vidare till vattenverket. (Neitemeier, pers.)

Transporterna från Essen till Herford och från Herford till Årsta sker som samtransporter. Där har data för energi och emissioner per tonkilometer använts. Från Årsta till Lovö däremot transporteras enbart lamporna och hela transporten har därmed belastats UV-lamporna. Transport sker vart annat år och har hanterats som en tom bil, då lasten är relativt liten och torde påverka bränsleförbrukningen marginellt. Energi- och emissionsdata per förbrukad mängd bränsle har använts.

Det är i dagslägen inte fastställt vilken metod för avfallshantering som kommer att användas. Därför har två huvudprinciper jämförts, materialåtervinning samt förbränning med energiutnyttjande. Om alternativet med materialåtervinning tillämpas kommer lamporna troligtvis att skickas tillbaka till WEDECO där de i sin tur skickar lamporna till ett återvinningsföretag. Merparten av materialet i lamporna, så som glas och kvicksilver, återanvänds. Eventuella luftemissioner av kvicksilver samlas upp i ett filter. Materialet återanvänds till minst 95% medan resterande del deponeras i en gruva. Damm innehållande kvicksilver behandlas i en filtrationsanläggning där aktivtkol tillsätts. Kvicksilvret adsorberas till kolet och kan därefter avskiljas.

Alternativet med förbränning innebär att lamporna skickas till Sydkraft SAKAB:s anläggning för farligt avfall. Förbränning sker i anläggningens roterugn vid 1300-1400 °C tillsammans med flytande, gasformigt och annat fast avfall. Den slagg som bildas i ugnen behandlas genom metallseparering och använd sedan som konstruktionsmaterial i anläggningen. Metallen skickas till återvinning. Förbränningen fortsätter i efterbrännkammaren där rökgasernas energiinnehåll utnyttjas till ångproduktion. Den alstrade ångan används internt för uppvärmning samt för uppvärmning via fjärrvärmenät och för elproduktion i en mottrycksturbin. (SAKAB, 2000)

Rökgaserna leds sedan till en reaktor där kalkslurry tillsätts. Gasen kyls och gasformiga föreningar som halogener och svavelföreningar binds till kalken, som därefter följer med rökgaserna som torrt stoft. Aktivt kol tillsätts för adsorption av gasformigt kvicksilver och kolväteföreningar. Stoftet avskiljs sedan i ett slangfilter, där ett skikt av stoft, kalk och aktivt kol byggs upp. Detta skakas av från filtret och transporteras till en silo vartefter det deponeras i bolagets klass I deponi. Rökgaserna leds sedan till en skrubber där mängden sura föreningar reduceras och det kvicksilver som finns i rökgaserna omvandlas från metalliskt kvicksilver till vattenlösligt. Därefter släpps de renade rökgaserna ut i en 60 m hög skorsten. Vattnet från skrubbern behandlas i en särskild reningsanläggning där kvicksilvret avskiljs som kvicksilversulfid. I avvaktan på slutligt omhändertagande lagras kvicksilversulfiden. (SAKAB, 2000)

I beräkningarna har emissionsdata från SAKAB:s miljörapport från 2000 använts.

Vid jämförelsen av de båda avfallshanteringsmetoderna har inte transporten till WEDECO eller SAKAB inkluderats i studien. Anledningen till detta är att syftet varit att jämföra två huvudprinciper för avfallshantering och inte att jämföra två faktiska anläggningar för avfallshantering.

### Kvartsrör

Kvartsrören fungerar som skydd mellan vattnet och UV-lampan. Det totala antalet kvartsrör uppgår till 216 stycken, 108 stycken i varje enhet. Dessa är ingen förbrukningsvara som kontinuerligt måste bytas ut, men i samband med lampbyte måste röret avlägsnas och man räknar då med ett visst spill. Det uppskattade antalet kvartsrör som beräknas köpas in som

reservdelar är fem stycken per år. (Neitemeier, pers.) Vid inköp transporteras kvartsrören från WEDECO till vattenverket tillsammans med UV-lamporna.

### Ballast

Ballasten är UV-enheternas elektroniska styrsystem. Genom denna regleras effekten till varje enskild lampa och därmed även UV-intensiteten. En ballast hanterar två UV-lampor och det ingår därmed totalt 108 ballaster i systemet. Inte heller dessa är en förbrukningsvara. Man uppskattar dock att fem stycken per år kommer att behöva justeras på något sätt. Inget nytt material kommer dock att behöva tillföras varför endast transporten till och från WEDECO, där justering sker, omfattas av studien. (Neitemeier, pers.) Transporten sker som ovan tidigare nämnts.

### UV-sensor

För att ballasten ska veta hur UV-lampornas effekt skall regleras krävs en UV-sensor som mäter UV-intensiteten från lampan. Intensiteten mäts i  $W/m^2$ . Det ingår totalt 12 stycken UV-sensorer, 6 stycken per enhet.

Sensorerna måste kalibreras ibland, om än sällan. Uppskattningen har gjorts att tre sensorer under en tio års period behöver kalibreras. Denna sker vid WEDECO:s huvudkontor i Herford, Tyskland. Även här är endast transporten till och från WEDECO inkluderad i studien. (Neitemeier, pers.)

### **4.3.2 Monokloraminanläggning**

För att förhindra tillväxt av mikroorganismer i ledningsnätet tillsätts förtillverkad monokloramin. Kloraminlösningen tillsätts till renvattnet efter UV-behandlingen. Tillverkningen sker genom en blandning av natriumhypoklorit och ammoniumsulfat. Vid inblandning är koncentration, pH och förhållandet hypoklorit och ammonium viktiga parametrar. Natriumhypokloritlösningen pH-justeras med natriumhydroxid (lut) före blandning för att erhålla lämpligt pH-värde (Eriksson, pers.).

Utformningen av anläggningen samt förhållandet mellan hypoklorit, ammoniumsulfat, lut och vatten i blandningen ges i bilaga 5. För monokloraminframställning används anläggningsspecifika data från SVAB.

### Natriumhypoklorit

Vid tillverkning av monokloramin används den på vattenverket framställda natriumhypokloriten och beräkningsdata är därmed anläggningsspecifika.

### Ammoniumsulfat

HCI Nordic AB levererar som tidigare nämnt ammoniumsulfat till Lovö vattenverk vilket även kommer nyttjas i framställningen av monokloramin. Ammoniumsulfaten framställs av BASF. Beskrivningen av processen samt transporter finns i till 4.1.3.

Beräkningsdata som används är anläggningsspecifika värden från BASF:s anläggning i Ludwigshafen.

## Natriumhydroxid

Det är i dagsläget inte fastställt vilken leverantör av natriumhydroxid som ska anlitas. Data kommer därför att tas från Akzo Nobel som i dagsläget är klorleverantör och därför anses vara en potentiell leverantör av natriumhydroxid.

Vid beräkningar används anläggnings specifika litteraturvärden för natriumhydroxid (Halldin m fl., 1995).

Tabell 6. Sammanfattning av inventering – Desinfektion med UV-ljus.

Inventeringsdel	Omfattn.	Enhet	Anmärkning		Referens
<i>Energianvändning</i>					
Elektricitet till UV-anläggning	$5,13 \times 10^3$	kWh/FU	vid ett medelflöde på 26,23 Mm <sup>3</sup> /år		LCC, WEDECO AG
<i>Resursanvändning</i>					
UV-lampor	$4,23 \times 10^8$	st/FU	111 st/år	vid 26,23 Mm <sup>3</sup> /år	WEDECO AG <sup>2</sup> / SVAB <sup>3</sup>
Kvartsrör	$1,91 \times 10^9$	st/FU	5 st/år	”	WEDECO AG <sup>2</sup>
Ballast	$1,91 \times 10^9$	st/FU	5 st/år	”	WEDECO AG <sup>2</sup>
UV-sensor	$1,14 \times 10^{10}$	st/FU	0,3 st/år	”	WEDECO AG <sup>2</sup>
Monokloramin	0,25	g/FU <sup>1</sup>	anges i gram aktivt klor		SVAB <sup>3</sup>
<i>Transport av</i>					
UV-lampa	37	km	Paketbil	Essen - Herford	Uppskattad sträcka
	1300	km	Medeltung lastbil	Herford- Årsta (exklusive båtresa)	WEDECO AG <sup>2</sup>
	226	km	Båt, högsjötrafik	Travemünde-Trelleborg	
	19	km	Lätt lastbil	Årsta- Lovö	Bergman-Axab AB, 2001
Kvartsrör, Ballast och UV-sensor sker på samma sätt som för UV-lampan, dock endast relationen Herford – Lovö.					
Natriumhydroxid	253	km	Lätt lastbil, distributionstrafik	Skoghall- Lovö	Halldin m fl., 1995/ uppskattad sträcka
Ammoniumsulfat	1150	km	Tung Lastbil, fjärrtransport	Ludwigshafen-Göteborg	BASF, 2001 / uppskattad sträcka
Ammoniumsulfat	487	km	Medeltung lastbil, regional trafik	Göteborg - Lovö, via Frövi.	HCI Nordic, 2001

<sup>1</sup>FU= Funktionell Enhet, dvs. 1 m<sup>3</sup>. För definition av FU se avsnitt 4.1.3 sid. 13.

<sup>2</sup>Nietermier, pers., 2001.

<sup>3</sup>Eriksson, pers., 2001.

#### 4.4 Transporter

Transport av produkter inom systemen sker främst med lastbil, men även med båt. Vad gäller biltransporter har data från Nätverket för Transporter och Miljön använts. Där delas fordonen in i olika fordonsklasser enligt tabell 7.

*Tabell 7. Indelning av lastbilar i fordonsklasser (NTM, www)*

Fordonsklasser		Totalvikt (ton)	Nyttolast (ton)	Cirka längd (m)
Paketbil	distributionstrafik	3,5	1,4	5,5
Lätt lastbil	distributionstrafik	3,5-14	1,5-8,5	9
Medeltung lastbil	regional trafik	14-24	8,5-14	10
Tung lastbil med trailer	fjärrtrafik	40	26	18
Tung lastbil med släp	fjärrtrafik	60	40	24

Vid beräkning av emissioner tas även hänsyn till ålder på motorn. Som bränsle används miljöklass 1 diesel. Bränsleförbrukning och emissionsdata för respektive fordonsklass anges i bilaga 6.

För båttransporter används schablonvärden enligt Tillman (1994) för energianvändning och emissioner. Värdena visas i bilaga 6.

#### 4.5 Elektricitet

Några av ovan nämnda processer sker i andra länder än Sverige. I och med att primärenergikällorna som används vid elproduktion skiljer sig åt länder emellan måste hänsyn tas till detta för att få en rättvisande bild. De länder som är representerade i studien är Sverige, Norge, Tyskland och Frankrike. Fördelningen av primärenergien för dessa länders elproduktion redovisas i tabell 8. Vattenfall AB är Stockholm Vattens elleverantör. För beräkning av den på vattenverken internt förbrukade elen används där Vattenfalls genomsnittsel. I övrigt används genomsnittsel för respektive land.

Tabell 8. Procentuell fördelning av primärenergikällor

	Svensk genomsnittsel <sup>1</sup>	Vattenfalls genomsnittsel <sup>2,3</sup>	Tysk genomsnittsel <sup>1</sup>	Fransk genomsnittsel <sup>1</sup>	Norsk genomsnittsel <sup>1</sup>	Europeisk genomsnittsel <sup>1</sup>
Kraftslag	Andel (%)	Andel (%)	Andel (%)	Andel (%)	Andel (%)	Andel (%)
Vattenkraft	47,0	46,5	3,1	12,24	99,38	11
Kärnkraft	46,5	53,2	29,3	76,54	0,00	31
Kraftvärme, Olja	2,1	-	1,2	2,30	0,01	7
Kraftvärme, Biobränsle	2,0	0,1	1,6	0,46	0,26	1
Kraftvärme, Kol	2,0	-	54,2	7,36	0,16	34
Kraftvärme, Naturgas	0,9	-	9,8	0,98	0,19	15
Kraftvärme, Torv	-	0,1	-	-	-	-
Gasturbiner	-	-	-	-	-	-
Sol/Vindkraft	0,2	-	0,8	0,12	0,01	1

<sup>1</sup> Referens: Energifakta, 1998.

<sup>2</sup> Referens. Brännström-Norberg m. fl. 1996.

<sup>3</sup> Pga. avrundning uppgår inte den totala summan till 100%.

## 5. KLASSIFICERING OCH KARAKTÄRISERINGSINDEX

Klassificeringen är ett kvalitativt steg där de olika inflödena och utflödena som identifierats i inventeringen sätts i relation till olika påverkanskategorier.

De påverkanskategorier, effektkategorier, som är aktuella i denna studie visas i tabell 9.

Tabell 9. Aktuella effektkategorier

Effektkategori
Resursförbrukning - Energi och material
Humantoxiska effekter
Växthuseffekten
Försurning
Eutrofiering
Inflöden som ej följs från ”vaggan”
Utflöden som ej följs till ”graven”

Klassificeringen följer rekommendationer givna av Lindfors m.fl. 1995 för samtliga kategorier utom humantoxiska effekter. Där har istället två andra metoder tillämpats, USES och EDIP. Vad gäller kategorin eutrofiering har vissa justeringar av karaktäriseringsindexen gjorts, enligt Kärrman & Jönsson (2001).

### 5.1 Resursanvändning – Energi

För att få en bra överblick bör resursförbrukning i form av energi delas upp i förnybar respektive icke förnybar energi. Om inget annat anges redovisas energimängderna inklusive



energi som åtgår vid framställning/uttag av energibärare, tex. den energi som krävs för produktion av 1 kWh el.

Tabell 10. Klassificering av energianvändning

Flöde

---

**Förnybar energi**

vattenkraft (el)

biobränsle (el)

sol/vind (el)

**Icke förnybar**

kärnkraft (el)

olja (el)

kol (el)

naturgas (el)

naturgas

olja

kol

gasol

diesel

---

## **5.2 Resursanvändning – Material**

I denna kategori redovisas användningen av resurser i form av material för de olika desinfektionsmetoderna.

## **5.3 Växthuseffekt**

Solens värmestrålar är en förutsättning för liv på jorden. En del av gaserna i jordens atmosfär har en förmåga att absorbera värmestrålning. De hindrar inte solljuset från att nå ned till jordytan och värma upp den, men de fångar effektivt upp den infraröda värmestrålning som ska sändas ut från jorden. Detta är en naturlig effekt, problemet ligger i att en ökning av dessa gaser, växthusgaser, gör att värmestrålarna får allt svårare att ta sig ut ur vår atmosfär och därmed värmer upp jordytan mer än normalt. Denna klimatpåverkan kan medföra negativa effekter för allt levande på jorden. Påverkan på växthuseffekten kan beräknas utifrån olika tidsperspektiv. I denna studie har indexen för tidsramen 100 år valts.

Tabell 11. Klassificering och karaktäriseringsindex för växthuseffekten (Lindfors m. fl., 1995)

Flöde	Index (g CO <sub>2</sub> -ekvivalenter /g substans)
CO <sub>2</sub>	1
CO	3
CH <sub>4</sub>	26
HC	11
N <sub>2</sub> O	270
NO <sub>x</sub>	7

### 5.4 Försurning

I samband med den tilltagande mängden antropogena luftföroreningar under det senaste seklet har den naturliga försurningen i naturen övergått i en drastiskt ökad försurande process. Det är främst svavel- och kväveföreningar som bidragit till försurningen av mark och vatten. Dessa utsläpp uppkommer främst vid förbränning av fossila bränslen såsom kol och olja. På senare år har Sverige dock lyckats reducera mängden svaveldioxidutsläpp med 95% med avseende på 1970 års höga nivåer. Mängden kväveoxidutsläpp har visat sig vara svårare att reducera, dock har en minskning på 30 % från 1980 års nivå uppnåtts (SNV, www). En generell följd av försurningen är att antalet växt- och djurarter i de drabbade vattnen sjunker. På land har påtagliga förändringar av bl. a. svampfloras artsammansättning i Sydsverige påvisats. I samma område har också lav- och mossfloran blivit märkbart artfattigare.

Tabell 12. Klassificering och karaktäriseringsindex för försurning (max) (Lindfors m. fl., 1995)

Flöde	Index (mol H <sup>+</sup> /g substans)
NO <sub>x</sub>	0,022
HCl	0,027
SO <sub>x</sub>	0,031
NH <sub>3</sub>	0,059

### 5.5 Eutrofiering

Eutrofiering orsakas av en tillgång på näringsämnen, främst kväve och fosfor, som är större än den naturliga. Detta orsakas av utsläpp av näringsämnen från främst kommunala avloppsreningsverk och jordbruksmarker. I och med en ökad tillgång på näring ökar även tillväxten av alger och annan växtlighet. Detta kan orsaka grumling av vattnet eller t o m igenväxning som leder till att ljusinflödet i vattnet reduceras och på så vis hämmas bottenvegetationen. Eutrofieringen kan även orsaka syrebrist i vattnet vid nedbrytning av den ökade mängden dött organiskt material.

De använda indexen följer rekommendationer från Nordic Guidelines (Lindfors m.fl., 1995) för samtliga emissioner utom ammoniak till luft och ammonium till vatten. Här har istället något högre värderingsindex använts (Kärrman & Jönsson, 2001). Trots att hänsyn bör tas till både den primära och sekundära syreförbrukningen vid utformning av eutrofieringsindex, har det syre som åtgår vid oxidation av ammonium förbisetts tidigare. I denna studie används index där denna justering har gjorts.

Tabell 13. Klassificering och karaktäriseringsindex för eutrofiering (Lindfors m.fl., 1995)

Flöde	Index ( g O <sub>2</sub> / g substans)	
<b>Till luft</b>		
NO <sub>x</sub>	6,0	
NH <sub>3</sub>	19,8	(Kärrman & Jönsson, 2001)
N-tot	20,0	
<b>Till vatten</b>		
COD	1,0	
N-tot	20,0	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,4	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18,6	(Kärrman & Jönsson, 2001)
P-tot	140,0	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	46,0	

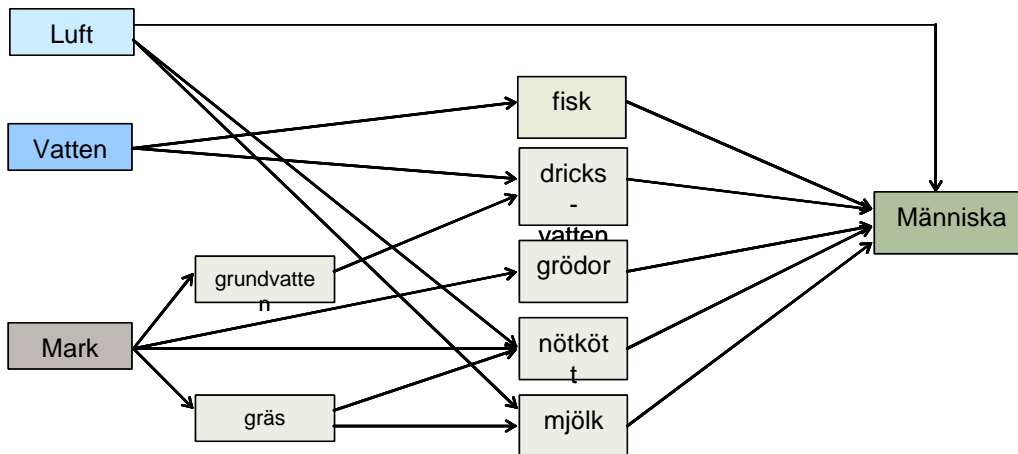
### 5.6 Humantoxiska effekter

Människor påverkas ständigt av föroreningar som kan skada hälsan, huvudsakligen genom inandning och förtäring. Denna kategori är svårhanterlig och har omfattande osäkerheter. Därför används här två olika metoder för klassificering och karaktärisering. De valda metoderna är den holländska modellen USES-LCA (Huijbregts, 1999) samt den humantoxikologiska delen av den danska EDIP-modellen (Hauschild m.fl., 1998a,b).

#### USES-LCA

Denna metod bygger på förhållandet mellan exponeringsnivå och effektanalys av en specifik substans. För humantoxiska effekter avses kvoten mellan den bedömda koncentrationen och accepterat dagligt intag, se samband nedan.

Effekterna grundas i emissioner till luft, sötvatten, saltvatten, jordbruksmark och industrimark (Finnveden m.fl., 2000a). I genomförda inventeringar anges dock inte emissionerna så specifikt. Därför har antaganden gjorts om att emissioner till vatten sker till sötvatten och emissioner till mark sker till jordbruksmark. Hänsyn tas till ämnens förflyttning i naturen samt eventuell nedbrytning innan de når fram till människan och ger upphov till toxisk effekt. Exponeringsvägar visas i figur 12. Den humantoxiska potentialen, HTP, anges i ekvivalenter av 1,4-dichlorobenzene (Huijbregts, 1999).



Figur 12. Exponeringsvägar enligt USES-metoden. (Guinée, 2001)

Den humantoxiska potentialen, HTP, beräknas enligt följande samband, där

$$HTP_{i,ecomp} = \frac{\sum_r \sum_s PDI_{i,ecomp,r,s} \times E_{i,r} \times N_s}{\sum_r \sum_s PDI_{1,4-dcb,air,r,s} \times E_{1,4-dcb,r} \times N_s}$$

$HTP_{i,ecomp}$  är den humantoxiska potentialen, karaktäriseringsindex för humantoxitet av ämne  $i$  till mottagarsfär  $ecomp$  (emission compartment).

$N_s$  är en faktor för populationsdensiteten vid omfattning  $s$

$PDI_{i,ecomp,r,s}$  är en faktor för förutsägbart dagligt intag via exponeringsväg  $r$  (t.ex. inandning eller förtäring) vid omfattning  $s$  för substans  $i$  till mottagarsfär  $ecomp$ .

$E_{i,r}$  är en effektfaktor för humantoxisk påverkan av substans  $i$ , kvantifierat av accepterat dagligt intag via exponeringsväg  $r$  (t.ex. inandning eller förtäring)

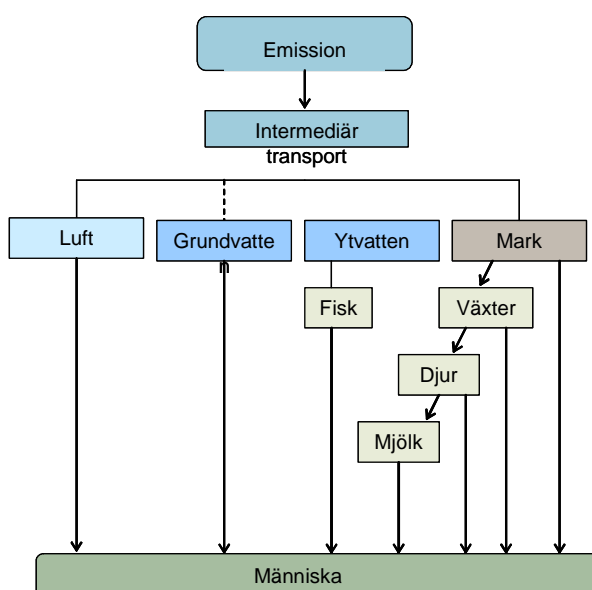
En nedskalad presentation av karaktäriseringsindexen ges i tabell 14, för fullständig förteckning av använda index hänvisas till bilaga 7.

Tabell 14. Karaktäriseringsindex enligt USES-LCA (Huijbregts, 1999. i kg 1,4dichlorobenzene / kg ämne.

Emissioner till	Luft	Vatten
aldehyder	$8,30 \times 10^{-1}$	
ammoniak	$9,90 \times 10^{-1}$	
AOX		$8,00 \times 10^{+4}$
arsenik		$9,50 \times 10^{+2}$
Cd	$1,50 \times 10^{+5}$	
CS <sub>2</sub>	2,40	
Cu		1,30
kolväten	$1,90 \times 10^{+3}$	
kolväten (aromatiska)	$1,90 \times 10^{+3}$	
kolväten (polycykliska)	$5,70 \times 10^{+5}$	
fenol		$4,90 \times 10^{-2}$
Hg	$6,00 \times 10^{+3}$	$1,40 \times 10^{+3}$
metaller	$6,70 \times 10^{+3}$	
olja		$1,80 \times 10^{+3}$
Pb	$3,30 \times 10^{+2}$	$1,20 \times 10^{+1}$
Sb	$6,70 \times 10^{+3}$	
VOC	$1,90 \times 10^{+3}$	
Zn	$1,00 \times 10^{+2}$	$5,80 \times 10^{-1}$
organiskt material	$1,90 \times 10^{+3}$	$1,80 \times 10^{+3}$

### EDIP

I denna metod avgörs hur stor andel av en emission som kan leda till toxiska effekter hos människan. Denna andel kopplas sedan samman med en faktor för biologisk nedbrytning och sätts därefter i relation till en effektanalys. Möjliga exponeringsvägar visas i figur 13.



Figur 13. Exponeringsvägar enligt EDIP-metoden (Wenzel m. fl. 1997).

Karaktäriseringsindexet för ett ämne baseras på

- sannolikheten att människor exponeras för ämnet i sin omgivning, samt
- sannolikheten att exponeringen kommer att leda till toxiska effekter

Fyra olika faktorer används vid framtagande av indexen för den humantoxiska potentialen, HTP, enligt nedan (Heijungs m. fl. (1999));

$$HTP_{i,ecomp} = \sum_{fcomp} \sum_r F_{i,ecomp,fcomp} \times T_{i,fcomp,r} \times I_r \times E_{i,r} \quad \text{där,}$$

$HTP_{i,ecomp}$  är den humantoxiska potentialen, karaktäriseringsfaktor för humantoxiteten av ämne  $i$  till mottagare  $ecomp$  (emission compartment).

$F_{i,ecomp,fcomp}$  är en faktor för nedbrytningsgrad i  $ecomp$  samt för transport av ämne  $i$  från mottagare  $ecomp$  till slutlig mottagare  $fcomp$ , tex. från luft till mark via regn, från vatten till luft via avdunstning och från mark till vatten via utlakning.

$T_{i,fcomp,r}$  anger andelen av ett ämne som överförs från  $fcomp$  till en exponeringskälla  $r$ , tex. luft, dricksvatten, mjölk, fisk etc.

$I_r$  anger omfattningen av exponering/intag av ett ämne hos en organism, detta beror av matvanor, vattenintag och lungkapacitet.

$E_{i,r}$  anger effekten av ett ämne. Det är stora skillnader mellan olika ämnen. Dioxiner är t.ex. mer toxiska än nitrater.

Ett hundra olika substanser ingår i modellen för humantoxisk potential med underkategorier enligt tabell 15.

Tabell 15. Subkategorier till humantoxiska effekter enligt EDIP (Finnveden m. fl., 2000b)

Typ av toxicitet	Emission till	Exponering från
Humantoxinet	Luft	Luft
Humantoxinet	Luft	Vatten
Humantoxinet	Luft	Mark
Humantoxinet	Vatten	Luft
Humantoxinet	Vatten	Vatten
Humantoxinet	Vatten	Mark
Humantoxinet	Mark	Luft
Humantoxinet	Mark	Vatten
Humantoxinet	Mark	Mark

Karaktäriseringsindexen anges i  $m^3$  luft, mark respektive vatten per g substans. Index redovisas i bilaga 7.

## 6. RESULTAT OCH DISKUSSION

### 6.1 Miljöpåverkan

Då val av metod för avfallshantering av UV-lamporna i dagsläget är osäker har fyra olika scenarier för hanteringen jämförts;

Scenario 1: Ingen material- eller energiåtervinning av material i UV-lampan förekommer.

Scenario 2: Det antas att 85% av glaset materialåtervinns, vilket medför en energivinst då mindre insatsenergi krävs då glas innehållande återvunnet material framställs. Det antas även att 50% av energianvändningen vid framställning av amalgamet och lödmaterialet kommer tillgodo i samband med återanvändning.

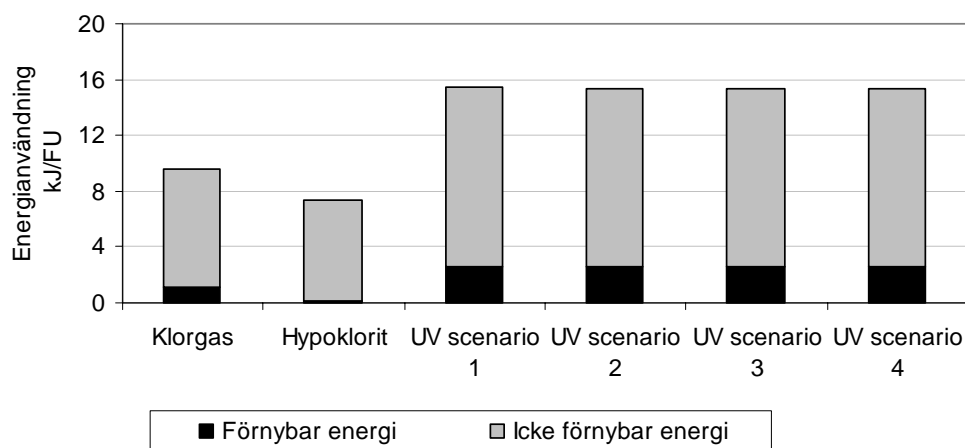
Scenario 3: Det antas att 85% av glaset materialåtervinns, vilket ger energivinst enligt ovan, samt att 90% av energianvändningen vid framställning av amalgamet och lödmaterialet kommer tillgodo i samband med återanvändning.

Scenario 4: Antas att lampan skickas till SAKAB för förbränning. Då lampan består av inert material uppkommer ingen värme i samband vid förbränning, det sker endast en nedsmältning av materialet.

#### 6.1.1 Resursanvändning – Energi

Användningen av primärenergi för de olika desinfektionsmetoderna visas i

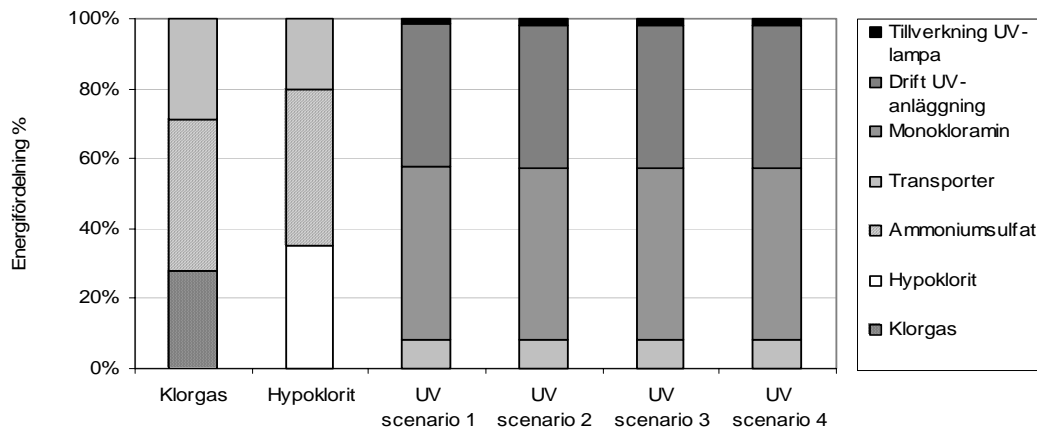
figur 14, fördelad på förnybar respektive icke förnybar energi. Vid en jämförelse framgår att UV-desinfektion är mest energikrävande. Minst energikrävande är desinfektion med natriumhypoklorit, som tillämpas vid Lovö vattenverk. Energibärarna i samtliga alternativ utgörs till största del av icke förnybar energi. För mer detaljerad indelning av primärenergin hänvisas till tabell i bilaga 8.



Figur 14. Total primärenergianvändning för de tre desinfektionsmetoderna.

Den del som är mest energikrävande då klorgas används för desinfektion är kemikalietillverkningen. Den utgör ca 72% av den totala energianvändningen, där ammoniumsulfaten bidrar med ca 43% och klorgasen med ca 28% av den totala energin.

Transporterna bidrar med ca 28%. Vid desinfektion med natriumhypoklorit står kemikalietillverkningen för ca 79% av och transporterna för ca 21% av den totala energianvändningen, se figur 15. Av kemikalierna som används är ammoniumsulfaten mest energikrävande men även framställningen av hypoklorit är av betydelse. Nästan all energi (93%) som krävs för hypokloritframställning är relaterad till brytning och rening av salt. Av transporterna är salttransporten med båt från Holland till Sverige den mest dominerande.

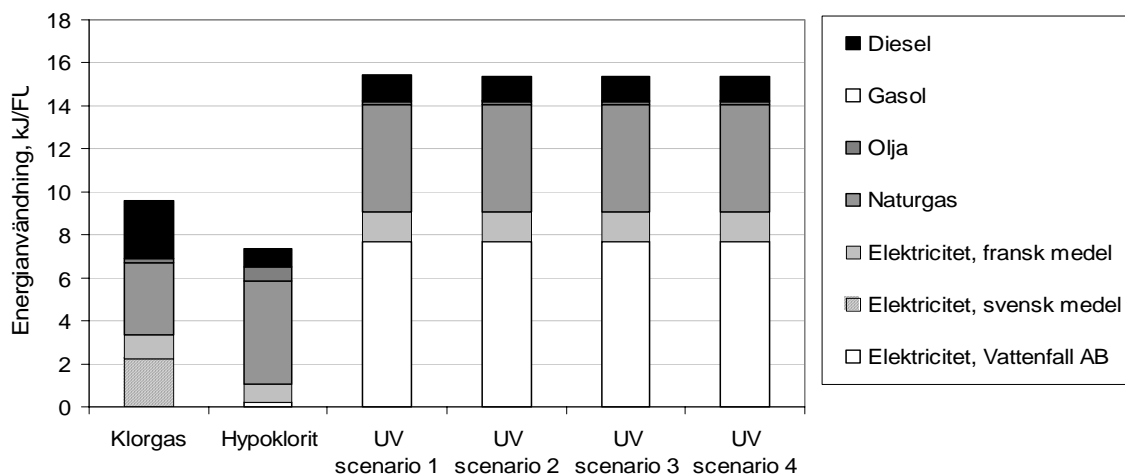


Figur 15. Procentuell fördelning av energianvändning på olika aktiviteter.

Även när det gäller desinfektion med UV-ljus och monokloramin väger kemikalietillverkningen tungt. Framställningen av monokloramin står för 50% av den totala energianvändningen för alla de fyra scenarierna. Då monokloramin framställs av ammoniumsulfat och natriumhypoklorit ingår tillverkningsenergin av dessa i de angivna 50%. Energin relaterad till drift av UV-lampan är också av stor betydelse, ca 40% av den totala energianvändningen. Det som skiljer sig åt mellan de olika UV-scenarierna är energin för tillverkning av UV-lamporna, ju mer material som återanvänds ju lägre är energianvändningen. Skillnaderna är dock små om man sätter det i relation till den totala energianvändningen, den utgör då 0,15 till 0,18 %. Om energin för tillverkning av UV-lamporna hade utgjort en mer betydande del av den totala energianvändningen hade skillnaderna mellan de olika scenarierna varit större.

De sekundära energikällorna för de olika desinfektionsmetoderna är redovisade i figur 16. För en mer detaljerad indelning av den sekundära energianvändningen hänvisas till tabell i bilaga 8.





Figur 16. Fördelning av de mest dominerande sekundära energibärarna.

För alla desinfektionsmetoder och scenarier är naturgas en dominerande energikälla. Naturgas används vid framställning av ammoniumsulfat som tillsätts vid alla metoder. Vid desinfektion med natriumhypoklorit samt med UV-ljus och monokloramin kommer även en stor del av naturgasen från saltbrytning. Den mest dominerande sekundära energikällan vid desinfektion med UV-ljus och monokloramin är elektricitet levererad av Vattenfall AB som kan hänföras till driften av UV-lamporna. Dieselanvändningen härstammar i samtliga alternativ uteslutande från transporter.

### 6.1.2 Resursförbrukning – Material

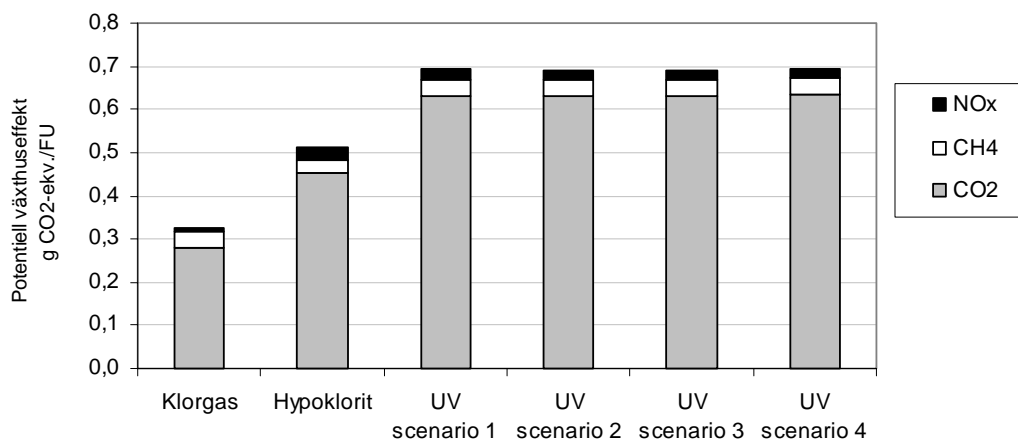
Användningen av naturresurser utgörs till största del av bergssalt, vatten, luft samt natriumklorid för samtliga desinfektionsmetoder. Bergssaltet härrör från framställning av klorgas samt natriumhypoklorit, natriumhypokloriten från framställning av ammoniumsulfat samt vatten och luft från framställning av både klorkemikalie och ammoniumsulfat. I tabell 16 nedan visas resursförbrukningen av poster som är av större kvantitet än 1 mg/ FU, en fullständig sammanställning finns i bilaga 8.

Tabell 16. Resursförbrukning för respektive desinfektionsmetod.

Resurser	Enhet	Hypo	Klor gas	UV Scenario 1	UV Scenario 2	UV Scenario 3	UV Scenario 4
Bergssalt	mg	1147,5	141,7	792,9	792,9	792,9	792,9
Biobränsle, drift av kraftverk	mg			42,5	37,2	34,1	42,2
Caliche	mg			2,5	1,3		2,5
Dolomit	mg			1,0			1,0
Järnmalm	mg			2,1	2,0	1,9	2,1
Kalk (CaCO <sub>3</sub> )	mg			1,7			1,7
Kopparmalm	mg	3,7		24,2	19,3	16,3	24,2
Luft	mg	672,0	839,9	923,9	923,9	923,9	923,9
Natriumklorid (NaCl)	mg	507,3	1,3	507,7	507,7	507,7	507,7
Naturgas, drift av kraftverk	mg			1,7	1,4	1,2	1,7
Portland soda	mg			1,2			1,2
S (bundet)	mg	22,1	27,6	30,4	30,4	30,4	30,4
S (elementärt)	mg	44,2	56,6	60,8	60,8	60,8	60,8
Solvey soda	mg			1,2			1,2
Svavelsyra	mg			1,1	1,0		1,1
Syrgas	mg			2,5	2,1	1,9	2,5
Trä (ej bränsle)	mg	1,6		5,5	5,3	5,2	5,5
Uranmalm	mg	1,8		7,9	7,4	7,2	7,8
Vatten	mg	4050,0	765,0	31670,6	31641,5	31624,5	31670,6

### 6.1.3 Växthuseffekt

Den potentiella påverkan på växthuseffekten visas i figur 17. Beräkningarna är gjorda utifrån ett 100-års perspektiv, med värderingsfaktorer från Lindfors m.fl. (1995).



Figur 17. Bidrag till potentiell växthuseffekt för de olika desinfektionsmetoderna.

Koldioxidemissionerna ger det största bidraget till växthuseffekten för alla alternativ och scenarier. För alternativet med klorgas är det framställningen av ammoniumsulfat som bidrar med mest av de totala koldioxidemissionerna, ca 71%.

För hypokloritalternativet bidrar framställningsprocessen för ammoniumsulfaten med ca 35% av koldioxidemissionerna och framställning och transport av salt med ca 32% vardera.

Den dominerande energikällan vid framställning av ammoniumsulfat är naturgas som ger upphov av koldioxidemissioner vid förbränning. Det åtgår även tysk genomsnittsel, där ca 65% av primärenergien kommer från kol och naturgas. Detta innebär mer koldioxidemissioner än om t.ex. svensk genomsnittsel hade använts.

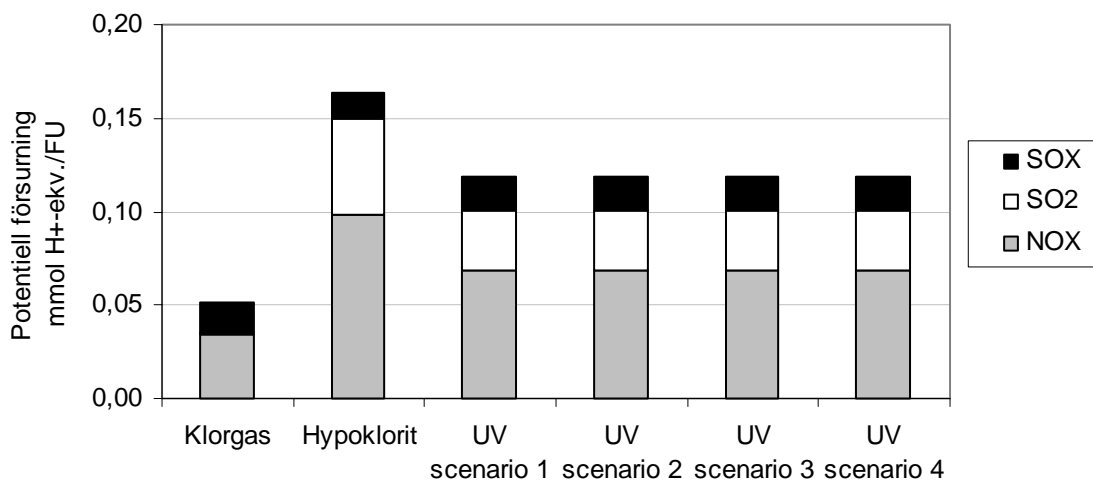
Att alternativet med hypoklorit ger ett större bidrag till växthuseffekten än vad alternativet med klorgas gör, trots att energianvändningen är mindre, förklaras av de energibärare som nyttjas. Desinfektion med natriumhypoklorit nyttjar naturgas och olja i jämförelse med desinfektion med klorgas som nyttjar svensk genomsnittsel samt en mindre andel naturgas. Detta medför att klorgasalternativet ger upphov till mindre andel växthusemissioner per förbrukad kJ energi.

Vid desinfektion med UV-ljus och monokloramin kommer det enskilt största bidraget av koldioxid, ca 50%, från framställning av monokloramin varav två tredjedelar av dessa härstammar från framställning av ammoniumsulfat. Drygt 35% av de totala koldioxidemissionerna uppkommer vid användning av den el som krävs för drift av UV-lamporna.

Emissionerna av kväveoxider härstammar till största del från transporten av salt för alternativet med hypoklorit. För alternativen med klorgas och UV-ljus bidrar framställningen av ammoniumsulfat med mest kväveoxidemissioner. För samtliga alternativ härstammar emissionerna av metangas från framställningen av ammoniumsulfat.

#### 6.1.4 Försurning

Systemens totala bidrag till försurningen ges i figur 18. För samtliga alternativ utgörs den största delen av de försurande emissionerna av kväve- och svaveloxider, ca 99 % av det totala tillskottet.



Figur 18. Bidrag till potentiell försurning för de olika desinfektionsmetoderna.

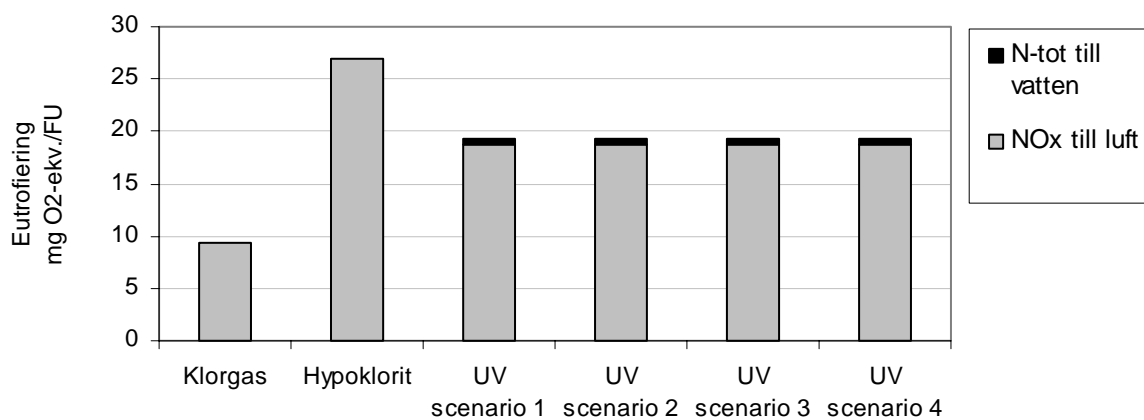
För alternativet med klorgasdesinfektion kommer ca 65% av försurningen från NO<sub>x</sub>-emissioner och ca 34% från av SO<sub>x</sub>-emissioner. Ungefär hälften av kväveoxidemissionerna härstammar från framställningen av ammoniumsulfat, resterade mängd kommer ifrån transporter. Endast en marginell andel kommer från klorgasframställningen. Svaveloxiderna kommer näst intill uteslutande från tillverkningen av ammoniumsulfat.

Vid desinfektion med natriumhypoklorit utgörs ca 59% av de försurande emissionerna av kväveoxider och ca 40% av svaveloxider. Transporterna är av stor betydelse för NO<sub>x</sub>-emissionerna, båttransporten av salt från Holland till Sverige ger det enskilt största bidraget, 70% av de sammanlagda emissionerna. Framställningen av ammoniumsulfat bidrar med 14%. Av svaveloxidemissionerna kommer ca 21% från kemikalieframställning och ca 78% från transporter.

När det gäller desinfektion med UV-ljus och kloramin är det el för drift av UV-lamporna som ger det största bidraget av kväveoxider, ca 41%. Framställningen av monokloramin bidrar med 32% och transporten relaterad till UV-lampans resa från Tyskland till Sverige bidrar med 13% av kväveoxidemissionerna. Driftselen av UV-lamporna samt framställningen av monokloramin bidrar med störst andel svaveloxidemissioner.

### 6.1.5 Eutrofiering

De sammanlagda eutrofierande utsläppen från de olika desinfektionsmetoderna visas nedan i figur 19.



Figur 19. Bidrag till eutrofiering, max-scenarie, för de olika desinfektionsmetoderna.

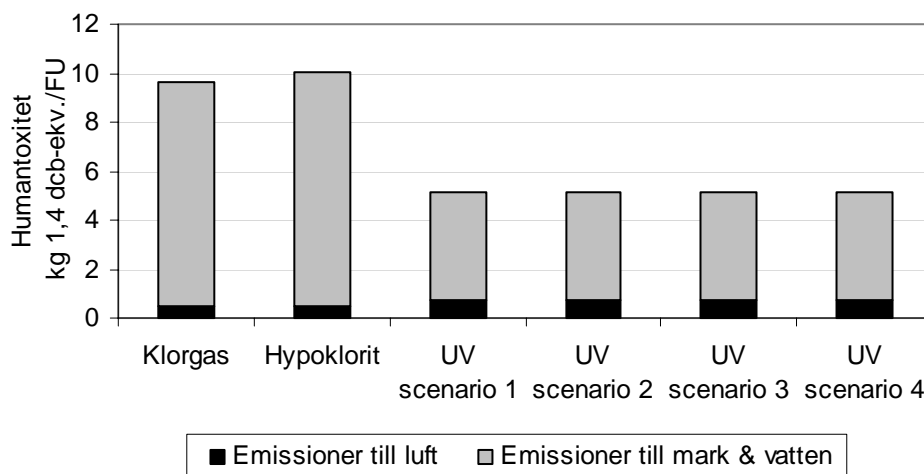
För samtliga desinfektionsmetoder är det luftemissioner av kväveoxider som utgör det huvudsakliga bidraget till eutrofiering. Ursprungskällorna för NO<sub>x</sub>-emissionerna är de samma som diskuterats i samband med kategorin försurning. Trots att kväveoxiderna har ett relativt lågt värderingsindex, i förhållande till övriga emissioner i samma kategori, utgör de den dominerande faktorn. Emissioner av N-tot till vatten, som uppkommer vid desinfektion med UV-ljus och monokloramin, kommer från den el som åtgår vid drift av UV-lamporna.

### 6.1.6 Humantoxiska effekter

Kategorin humantoxiska effekter har analyserats utifrån två olika värderingsmetoder, USES-LCA och EDIP-metoden. Då de klororganiska föreningarna är av stor betydelse i detta sammanhang har kloroform, som uppkommer i samband med klordesinfektion, inkluderats. Cirka 75% av mängden trihalometaner i vattnet utgörs av kloroform.

#### USES-LCA

Enligt USES-metoden anges de humantoxiska effekterna som 1,4-dichlorobenzon ekvivalenter. I figur 20 kan ses att effekten torde bli störst av de emissioner som uppkommer vid desinfektion med hypoklorit och klorgas. Det är kloreringsbiprodukten AOX (adsorberbara organiska halogener) som utgör den humantoxiska risken från vattenemissionerna. Desinfektion med UV ger upphov till ca 54% lägre halter än de övriga alternativen. Av luftemissionerna är det uteslutande emissioner av kolväten från transporter och ammoniumsulfatframställning som ger den potentiella toxiska risken.

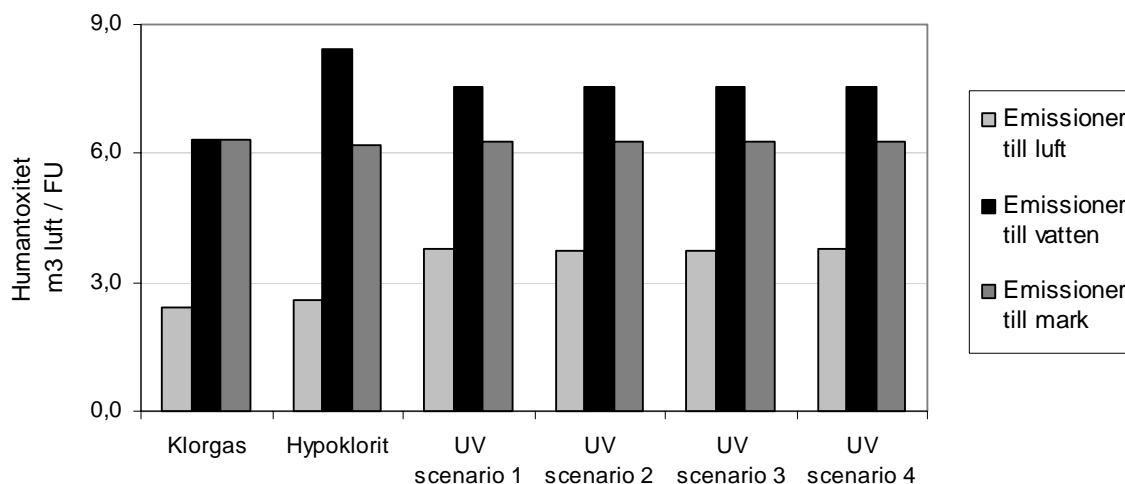


Figur 20. Humantoxiska effekter enligt USES-metoden.

#### EDIP

I EDIP-metoden anges humantoxiteten i  $\text{m}^3$  luft, vatten respektive mark per gram substans. Volymen avser den mängd som krävs för att späda ut emissionerna till en koncentration som inte har någon humantoxisk verkan. I inventeringen anges resultatet som emissioner till luft respektive emissioner till vatten och mark. Därför visas här potentiell humantoxitet vid antagandet att alla emissioner till mark och vatten har gått till vatten samt vid antagandet att alla emissioner till mark och vatten har gått till mark.

För samtliga emissioner, luft, vatten respektive mark, är risken för toxitet störst då de av människan intas via luft, dvs. via inandning. Risken vid intag via vatten eller mark är endast marginell i jämförelse. I figur 21 nedan visas därför endast potentiell toxitet via luftintag. Det vill säga toxitet via ämnen som en människa exponeras för i form av luftemissioner men som ursprungligen kan ha uppkommit som såväl vatten-, mark- eller luftemissioner. I de två förstnämnda fallen innebär detta att ämnet avdunstat från vattnet respektive marken för att slutligen hamna i luften. I bilaga 9 anges även resultaten för intag via mark och vatten.



Figur 21. Humantoxitet enligt EDIP-metoden, visat som intag via luft.

Av luftemissionerna är det emissioner av kolväten som utgör den största risken, detta gäller för samtliga alternativ. Merparten av kolväteemissionerna kommer från framställning av ammoniumsulfat samt transporter.

För samtliga desinfektionsmetoder kommer den största potentiella påverkan från vattenemissionerna i form av klor och organiskt material. Kloreten utgörs av det utgående kloröverskottet och det organiska materialet kommer främst från framställning av natriumklorid. Även när det gäller emissioner till mark är kloremissionerna mest betydande.

De stora skillnaderna för emissioner av klor mellan de båda metoderna förklaras av att det i USES-metoden inte ingår något värderingsindex för klor. Därmed faller dessa emissioner helt bort i samband med karaktäriseringen.

### 6.1.7 Inflöden som ej följs från vaggan

Tabell 17. Inflöden som ej följs från vaggan

Desinfektionsmetod	Flöde
Klorgas	Alla flöden har följts från vaggan
Hypoklorit	Iridium (beläggning av anod, jonbytare) Rutenium (beläggning av anod, jonbytare)
UV-ljus och monokloramin	Molybden (UV-lampa) Indium (UV-lampa) Kvicksilver (UV-lampa) Keramik (UV-lampa)

### 6.1.8 Utflöden som ej följs till graven

Tabell 18. Utflöden som ej följs till graven

Desinfektionsmetod	Flöde
Klorgas	Alla flöden har följts till graven
Hypoklorit	Alla flöden har följts till graven
UV-ljus och monokloramin	UV-lampa. Det faktiska valet av avfallshantering har ej studerats, dock har olika scenarier jämförts.

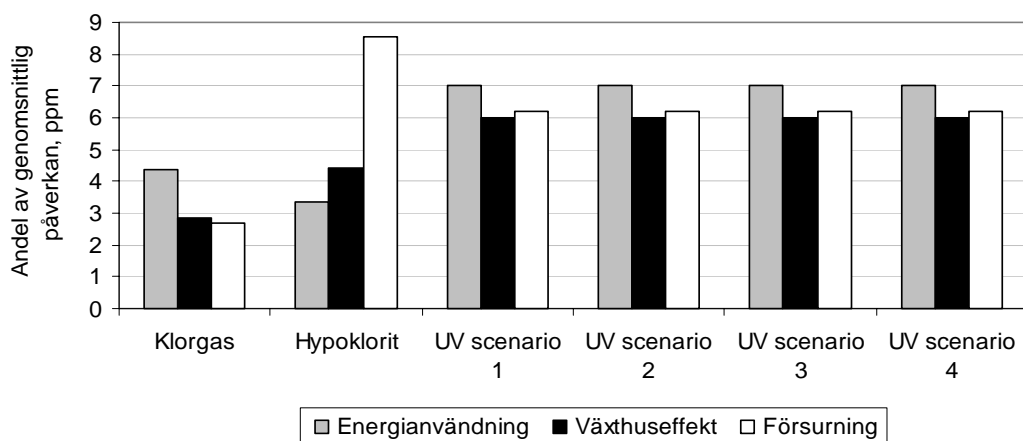
## 6.2 Normalisering

För att identifiera de ur ett samhällsperspektiv viktigaste bidragen till miljön är det intressant att sätta resultaten av de olika desinfektionsmetoderna i relation till de totala miljöpåverkansbidragen i Sverige. Energianvändning samt påverkan på växthuseffekt och försurning har relaterats till person och år och sedan jämförts med Sveriges totala bidrag per person och år. Vid beräkningen har befolkningmängden 8,9 miljoner använts. I tabell 19 redovisas både resultaten per person och år samt som ppm av det totala bidraget. Värdena för Sveriges totala bidrag baseras på uppgifter från Statistiska centralbyrån (Hellström m.fl., 2000, Kärroman m.fl., 2001).

Tabell 19. Resultat från de olika desinfektionsmetoderna jämfört med genomsnittssvenskens totala miljöpåverkan

Alternativ	Enhet	Energi kJ/p,år	Växthuseffekt kg CO <sub>2</sub> /p,år	Försurning mol H <sup>+</sup> /p,år
Svenskt genomsnitt	per p,år	16×10 <sup>7</sup>	85×10 <sup>5</sup>	14×10 <sup>5</sup>
Klorgas	per p,år	702	24	4
	ppm	4,4	2,8	2,7
Hypoklorit	per p,år	539	38	12
	ppm	3,4	4,5	8,5
UV scenario 1	per p,år	1120	51	9
	ppm	7,0	6,0	6,2
UV scenario 2	per p,år	1120	51	9
	ppm	7,0	6,0	6,2
UV scenario 3	per p,år	1120	51	9
	ppm	7,0	6,0	6,2
UV scenario 4	per p,år	1120	51	9
	ppm	7,0	6,0	6,2

För att få en överskådlig bild redovisas även resultaten som ppm av det totala bidraget i figur 22. Vid beräkning har en dricksvattenförbrukning på 73 m<sup>3</sup> per person och år använts (Stockholm Vatten, www).

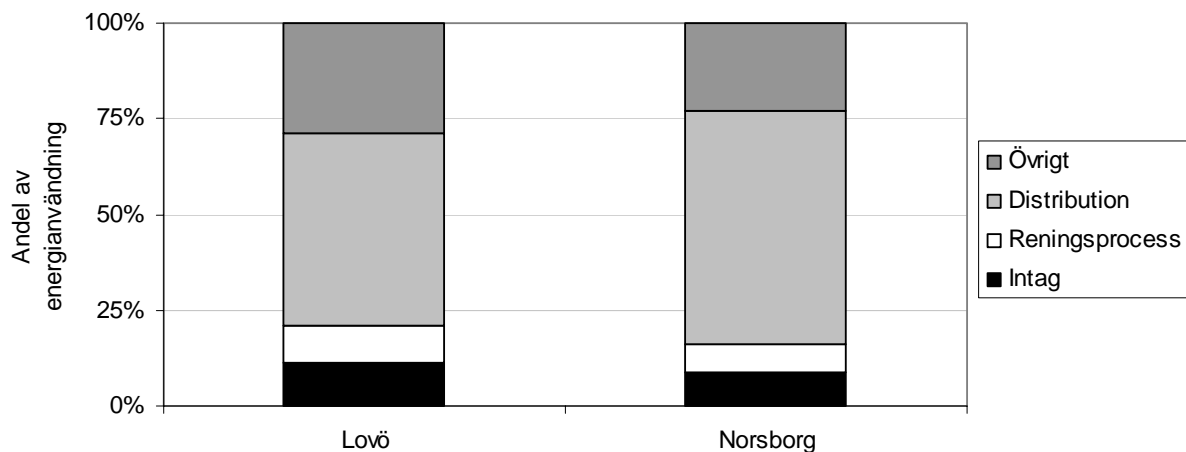


Figur 22. Resultaten av de olika desinfektionsmetoderna redovisade som ppm av genomsnittssvenskens totala energianvändning.



Vid jämförelse framgår att inget tydligt samband kan utläsas, ingen kategori utmärker sig betydligt mer än någon annan. Desinfektionsförfarandet bidrar till relativt liten del av Sveriges totala energianvändning och miljöbelastande emissioner.

Ett annat sätt att få en uppfattning om hur stor t.ex. energianvändningen egentligen är i relation till andra system kan man jämföra med den totala energianvändningen vid dricksvattenproduktion. Enligt data från 1998, uppgick energianvändningen för att producera 1 m<sup>3</sup> dricksvatten till 1,36 MJ vid Lovö vattenverk och 1,39 MJ vid Norsborgs vattenverk. Hur fördelningen mellan de olika delprocesserna i framställningen ser ut kan ses i figur 23.



Figur 23. Procentuell fördelning av energianvändningen vid dricksvattenframställning.

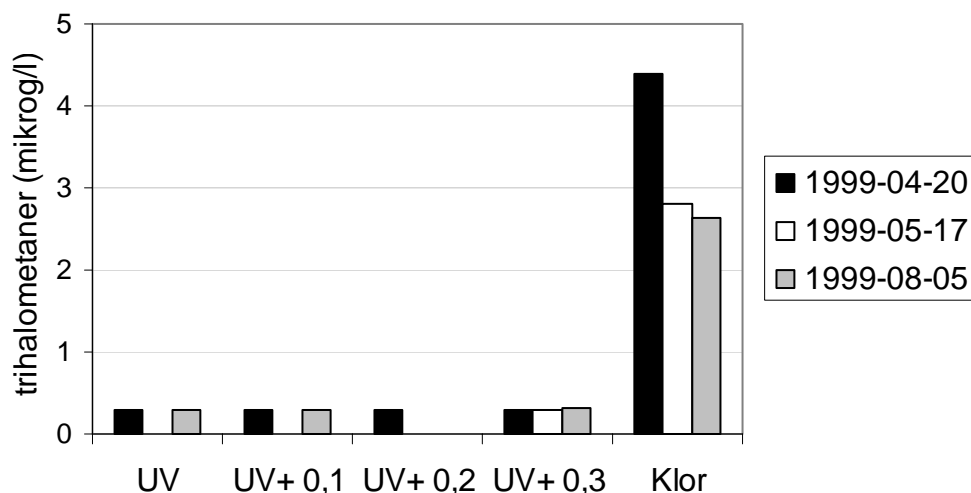
Distributionen står för den absolut största delen av energianvändningen. Själva reningsprocessen utgör endast mellan 7-10 % av den totala energianvändningen. Desinfektionen i sin tur utgör endast mellan 0,5-1 % av den totala energianvändningen, eller 5-13 % av energin som används i reningsprocessen. Detta innebär att inte ens en fördubbling av energin för desinfektion påverkar den totala energianvändningen märkvärt.

## 6.3 Hälsorisker

### 6.3.1 Trihalometaner i dricksvatten från Stockholm Vatten

Vid Norsborg, Stockholm Vattens största vattenverk, gjordes en serie mätningar av trihalometaner, THM, i samband med ett fällningsförsök under perioden september 1996 till april 1997 (Blomberg m.fl., 1998). Detta resulterade i ett medelvärde på 6,3 µg/l (10,0 och 1,6 µg/l var högsta respektive lägsta halt). Detta är låga värden om man jämför med de halter som uppmättes i samband med tidigare undersökningar i USA. Där uppmättes halter på uppemot 130 µg/l (Cech m.fl., 1987).

I samband med pilotförsök för UV-desinfektion genomfördes mätningar av THM på Lovö vattenverk vid tre tillfällen under perioden april 1999 till augusti 1999 (Blomberg m.fl., 2001). Mätningar gjordes på utgående dricksvatten, som klorerats med 0,5 mg/l, samt UV-behandlat vatten med tillsats av monokloramin i olika mängder, se figur 24.



Figur 24. Mängden THM i vattnet efter UV(UV), monokloraminbehandlat UV-prov med olika doser (UV+0,1 mg/l etc.) samt i utgående dricksvatten som klorerats med 0,5 mg/l (klor) (Blomberg m.fl., 2001).

Medelvärdet av THM var 3,3 µg/l i utgående klorerat dricksvatten, där 65-71% utgjordes av kloroform och 23-28% utgjordes av bromdiklormetan. Detta underskrider med stor marginal rekommenderat gränsvärde. Världshälsoorganisationens rekommenderade gränsvärde för kloroform i dricksvatten är 30 µg/l (WHO, 1993).

Försöken visade även att varken UV-ljus eller monokloramin bildade THM. Om UV-ljus och monokloramin används kan reduktionen av THM i utgående dricksvatten uppgå till hela 90%, i jämförelse med dagens klorerade dricksvatten.

Som tidigare nämnts har THM påvisat cancerogena effekter hos människor. Dessa undersökningar har dock i första hand gällt exponering av högre doser än de som råder i Sverige. Koivusalo (1998) har dock kunnat påvisa ett samband mellan långtidsexponering av låga doser och ökad risk för hälsoeffekter hos människor. Byte av desinfektionsmetod medför därmed att den lilla hälsorisk som eventuellt föreligger, minskas ytterligare.

### 6.3.2 Bakteriereduktion

Den momentana desinfektionseffekten av UV-ljus respektive klor visas i tabell 20. Av tabellen framgår att vid tillämpad dos är UV-ljus betydligt bättre än klor som desinfektionsmedel. I Sverige finns inga gränsvärden för minsta dos men generellt tillämpas dosen 250 J/m<sup>2</sup>. UV-dosen är en produkt av intensiteten och kontakttiden. Den påverkas av flödet, lampans ålder och beläggningar på lampans glas (Blomberg m. fl., 2001).

Tabell 20. Reduktion av 2- och 7 dygns heterotrofer (filtrerade, R2A-agar) efter UV-desinfektion respektive klorering (Blomberg m. fl., 2001)

Period		UV-ljus (250 J/m <sup>2</sup> )		Klor (0,5 mg/l)	
		2d	7d	2d	7d
jan-okt	%- red <sup>1</sup>	99,3	98,6	88,4	87,9
jan-maj	%- red	99,2	98,6	89,7	88,4
jan-okt	Log-red <sup>2</sup>	2,1	1,9	1	0,9
jan-maj	Log-red	2,1	1,8	0,9	0,9

<sup>1</sup> Procentuell reduktion =  $(1 - N/N_0) \times 100$

<sup>2</sup> Log-reduktion =  $-\log(N/N_0)$

UV-desinfektion medför en fördubbling av log-reduktionen jämfört med kloreringen. Jämfört med litteratur som finns inom området är de uppnådda reduktionerna förhållandevis låga. I litteraturen är det inte ovanligt med 3-5 log reduktioner av vissa bakteriegrupper (Enskog, 1999).

Då UV-ljus endast ger en momentan desinfekterande verkan är det av intresse att studera bakterietillväxten. I samband med pilotförsöken undersöktes den bakteriella tillväxtförmågan hos 2-dygns heterotrofer efter sju dygns förvaring i glasflaska vid 4°C. Resultaten ger ett mått på tillväxtpotentialen av den befintliga bakteriefloran som kan komma att ske i ledningsnätet. Antalet cfu (colony forming units) per liter mättes vid ett flertal gånger under en sjudagarsperiod. Resultatet visade att antalet cfu i de klorerade proverna (0,5 mg/l) ökade mot periodens slut, från ca  $8 \times 10^3$  till ca  $2 \times 10^5$  cfu/l. För UV-provet som behandlats med monokloramin (0,2 mg/l) hade däremot antalet minskat, från ca  $2 \times 10^1$  till ca 2 cfu/l (Blomberg m.fl., 2001). Detta innebär att risken för tillväxt var mindre med det monokloraminbehandlade UV-provet än för det klorerade provet.

#### 6.4 Arbetsmiljörisker

Klor är vid atmosfärstryck och rumstemperatur en svagt gröngul gas. Den retar andningsorgan och ögon och har en genomträngande lukt. Flytande klor är en orangeröd vätska.

Flytande klor erhålls genom komprimering och kylning av torr klorgas. Den förvaras och transporteras i behållare av stål såsom flaskor, fat och cisterner. Ur dessa kan klor tappas antingen som gas eller vätska.

Klor är relativt svåröslig i kallt vatten (10 gram per liter vid 10°C) och mycket svåröslig i hett vatten. Klor är ett kraftigt oxidationsmedel och reagerar långsamt med vatten under bildning av bl. a. saltsyra och underklorsyrighet. Klor reagerar häftigt med många ämnen, till exempel kolväten, alkoholer och oljor. Gasen ger explosiva blandningar med brännbara gaser. Däremot är den ej brännbar eller explosiv i blandning med luft (AFS 1986:28).

Trots att Stockholm Vatten följer arbetarskyddsstyrelsens rekommendationer för hantering av klor och klorgas innebär det alltid risker med att hantera klorgas. Redan vid koncentrationer på 0,02-0,5 ppm kan klor detekteras på lukten. Det yrkeshygieniska gränsvärdet ligger på 0,5 ppm (AFS 1996:2). Förmågan att uppfatta klorklukt av lägre koncentrationer försvinner emellertid snabbt. Även om klorkoncentrationen i en lokal stiger till värden över det

hygieniska gränsvärdet är det därför inte säkert att lukten uppmärksammas av den som befinner sig i lokalen.

De tidigaste symptomen av klorgasexposition är irritation. Sveda i ögon, näsa och svalg uppkommer vid låg halt klor i inandningsluften. Vid högre halter tillkommer kraftig hostretning, ångest, andnöd, stämbandskramp och bröstsmärtor. Höga halter klor i inandningsluften kan ge svår allmän påverkan (chock).

En klorkoncentration i andningsluften av ca 30 ppm kan innebära livsfara efter 30-60 minuters exponering. Vid en koncentration av ca 1 000 ppm (0,1 volymprocent) uppstår livsfara redan efter några djupa andetag. (AFS 86:28). I tabell 21 nedan visas den humantoxiska effekten klorgas har vid olika koncentrationer.

*Tabell 21. Koncentration av klor i luften (Wettström, 1998)*

Koncentration (g/m <sup>3</sup> )	Volymdelar (ppm)	Effekt
0,0006	0,2	Förnibar klorlukt
0,0015	0,5	Hygieniskt nivågränsvärde
0,003	1,0	Hygieniskt takgränsvärde
0,03	10	Tydlig lukt märkbar. Sveda i ögon och hals. Normalt högsta halt som kan inandas en timme utan farlig verkan.
0,05	15	Omedelbar irritation av svalget
0,1	30	Omedelbara hostattacker
0,3	0,01%	Kan medföra livsfarliga skador
3	0,1%	Livsfara redan efter några djupa andetag
30	1%	Filtermask otillräcklig, använd tryckluftsapparat.

Att byta klorgasen mot UV-ljus och monokloramin innebär att risken för arbetsskador relaterade till klorgas elimineras.

## 7. SAMMANFATTANDE DISKUSSION

### 7.1 LCA

#### 7.1.1 *Energianvändning och miljöpåverkan*

Ur energianvändningssynpunkt är alternativet med hypoklorit det bästa och alternativet med UV-ljus och monokloramin de sämsta. Alternativet med klorgas ligger ca 38% lägre och alternativet med hypoklorit ca 52% lägre än UV-alternativet, som är mest energikrävande.

Skillnaden mellan de potentiella miljöeffekterna som desinfektionsmetoderna ger skiljer sig åt om de olika effektkategorierna jämförs. Desinfektion med hypoklorit ger störst potentiell påverkan på miljö, både i form av försurning och eutrofiering. Vad gäller påverkan på växthuseffekten däremot ger desinfektion med UV-ljus och monokloramin den största potentiella påverkan. Desinfektion med klorgas ger minst miljöpåverkan i samtliga kategorier.

Om jämförelse av resultaten görs ur ett samhällsperspektiv ses att ingen av miljöeffekterna är klart överlägsen den andra. För klorgasalternativet är energianvändningen av största vikt och i

hypokloritalternativet utmärker sig de försurande emissionerna. För UV-alternativen är både energianvändning och växthusmissioner av betydelse. Totalt sett utmärker sig dock de försurande emissionerna från klorgasalternativet framför de övriga. De utgör ca 8,5 ppm av genomsnittssvenskens totala bidrag av försurande emissioner.

Om man räknar bort den energi som åtgår för transporter och endast jämför energin som är direkt relaterad till desinfektionen kan man se att denna utgör huvuddelen. Vid klordesinfektion är ca 70% av energin relaterad till desinfektionskemikalierna. På samma sätt är ca 80% respektive 90% av energin relaterad till kemikalier och UV-lampor vid desinfektion med hypoklorit respektive UV-ljus. Transporterna är därmed av underordnad betydelse.

Två metoder för jämförelse av humantoxiska effekter har använts, USES och EDIP. Emissioner av kolväten var mest betydande av luftemissionerna för båda metoderna. Skillnader finns dock vid jämförelse av emissioner till vatten och mark. Dessa förklaras med att metoderna skiljer sig åt vid värdering av dessa emissioner. Vid jämförelse av toxisk potential från vattenemissioner, var med USES-metoden emissioner av AOX viktigast. Med EDIP-metoden däremot gavs det största bidraget från emissioner av klor samt organiskt material. Skillnaderna för det organiska materialet beror på att det i EDIP-metoden värderas högre och därmed får en mer framträdande plats än då USES-metoden används. De stora skillnaderna för emissionerna av klor är, som tidigare nämnt, att det i USES-metoden inte ingår något värderingsindex för klor. Om klor inte heller skulle ha ingått i EDIP-metoden hade de mest betydande emissionerna blivit organiskt material, som tidigare, samt AOX, som i USES-metoden.

De olika scenarierna för avfallshantering av UV-lampan utgör en potentiell felkälla. Dessa scenarier grundar sig inte på några befintliga hanteringsalternativ. De har endast beräknats för att ge riktlinjer om hur energi- och resursanvändningen skulle förändras om återvinning eller förbränning tillämpades. Dock framgår att den energibesparing som utgör skillnaden mellan de olika hanteringsmetoderna är mycket liten i förhållande till den totala energianvändningen. Detta leder till att den totala energianvändningens utfall, med de valda systemgränserna, inte avgörs av vilken avfallshanteringsmetod man väljer.

### **7.1.2 Systemgränser**

Kvartsrören som omsluter UV-lampan måste rengöras från beläggningar för att inte ljusutsläppet till vattnet ska begränsas. Rengöring av UV-anläggningens kvartsglas kan i huvudsak göras på två sätt, endera med fosforsyra eller genom manuell avtorkning. Eftersom valet av metod ännu inte är bestämt har rengöringsmomentet lagts utanför systemgränserna. Om manuell rengöring tillämpas krävs inga insatser i form av energi eller resurser, utom möjligen en svamp eller trasa. Detta innebär att resultaten ovan skulle vara representativa även om rengöringen flyttades innanför systemgränsen. Om fosforsyra används skulle energianvändningen öka med ca 0,01% av den totala energianvändningen vid UV-desinfektion. Att här flytta systemgränsen skulle därmed innebära en mycket liten ökning av energianvändning med följd att resultaten fortfarande skulle vara representativa.

Då scenarierna för de olika metoderna för avfallshantering av UV-lampan utvärderades inkluderades inte transporten till respektive anläggning. Detta innebär att alternativen framställs som mer fördelaktiga än vad de egentligen torde vara. Att materialåtervinna UV-lampan i Tyskland innebär dock en längre transport än vad förbränning i Kumla, Sydkraft SAKAB, medför. Valet att exkludera transporten gjordes med motivet att endast jämföra själva återvinningsprocessen.

Förpackningar och emballage har valts att läggas utanför systemgränserna. Då dessa kan variera med avseende på material och återvinningsgrad är det en osäker post och valdes därför bort. Det skulle dock vara intressant att i vidare studier göra en jämförelse av hur olika förpackningsmaterial påverkar resultatet.

### **7.1.3 Förbättringsanalys**

Kemikalieframställningen slukar en stor del av den använda energin, i samtliga alternativ. Då UV-desinfektion tillämpas åtgår även en stor del till drift av UV-lamporna.

Den kemikalie som är mest energikrävande, per funktionell enhet, är ammoniumsulfat. Det skulle därför vara motiverat att försöka minska användningen av ammoniumsulfat vid vattenverken. Alternativt kan möjligheten att använda ammoniumsulfat framställd med en energisnålare metod undersökas.

Driften av UV-lamporna är också energikrävande, i form av användning av elektricitet. Då detta utgör ca 40 % av den totala energianvändningen vid desinfektion med UV-ljus och monokloramin skulle det vara gynnsamt om elanvändningen kunde reduceras.

Ett alternativ för att minska energianvändningen med UV-alternativet skulle även kunna vara att byta ut den långa bil- och båttransporten från Tyskland till Sverige till en energisnålare och miljövänligare tågtransport.

## **7.2 Hälsorisker**

### **7.2.1 Trihalometaner**

Vid jämförelse av de humantoxiska effekter som de olika desinfektionsmetoderna ger upphov till ges två skilda resultat i livscykelanalysen, ett av USES-metoden och ett av EDIP-metoden. UV-alternativet får olika bra resultat i förhållande till de övriga beroende på vilken metod som används. Båda dessa metoder anger dock en allmän humantoxisk risk, vilken inte på ett tillfredställande sätt behandlar de cancerogena effekterna. Ett av motiven till önskemål om byte av desinfektionsmetod var att minska mängden THM i dricksvattnet. Då det främst är den cancerogena risken med dessa föreningar som man vill undvika ger inte livscykelanalysen en rättvis bild av den markanta minskning av trihalometaner som UV-desinfektion medför, i förhållande till klorering.

### **7.2.2 Bakteriereduktion**

Huvudsyftet med desinfektion är att avdöda bakterier. I livscykelanalysen har desinfektionens energianvändning och miljöpåverkan studerats, på basis av 1 m<sup>3</sup> dricksvatten. Om analysen även hade tagit hänsyn till bakteriereduktionen i den funktionella enheten skulle resultatet ha förändrats något. Utfallet av t.ex. energianvändning per bakteriell log-reduktion i 1 m<sup>3</sup> dricksvatten är relativt jämt mellan desinfektion med klor respektive med UV-ljus och monokloramin. Men då den potentiella återväxten av bakterier är mindre vid användning av UV-ljus och monokloramin blir nettoreduktionen större i detta fall. Detta bör beaktas vid slutlig jämförelse av de tre olika desinfektionsmetoderna. Alternativt skulle den tillsatta mängden kloramin minskas.

### 7.2.3 Arbetsmiljö

De arbetsmiljörisker som föreligger vid hantering av klorgas är svåra att inkludera i en livscykelanalys. Det finns ingen vedertagen metod för hantering av arbetsmiljö i livscykelanalys. De som finns bygger främst på statistik på arbetsskador inom ett specifikt verksamhetsområde. Att tillämpa en sådan metod i denna studie skulle ge missvisade resultat, i första hand på grund av den begränsning som indelningen av verksamhetsområden ger. Statistik för reningsverkspersonal finns tillgängligt, men att därifrån begränsa statistiken till vattenverkspersonal som hanterar klorgas medför osäkerheter. Om man å andra sidan studerar arbetsskador specifikt relaterade till klorgashantering vid Norsborgs vattenverk, skulle inte några risker kunna påvisas då de lyckligtvis hittills inte drabbats av några olyckor.

Därmed har endast riskerna som föreligger vid klorgashantering belysts och inte värderats. Detta betyder dock inte att de på något sätt är mindre viktiga än resultaten som presenteras av livscykelanalysen, snarare tvärt om.

## 8. SLUTSATS

Livscykel analys är en metod för att ge en förenklad bild av ett komplext system. Den ger aldrig en fullständig bild av de verkliga förhållandena. Det är lätt att t.ex. hälsoproblem faller utanför livscykelanalysens ramar. Då arbetsmiljö och mänsklig hälsa till stor del ligger bakom beslutet att övergå till desinfektion med UV-ljus och kloramin görs här ett försök att ge en samlad bild av resultaten från de tre delarna, LCA, arbetsmiljö och hälsa.

Enligt livscykelanalysen av desinfektionsmetoderna är alternativen med klorgas och hypoklorit fördelaktiga med avseende på energianvändningen. Vid jämförelse av effektkategorierna, försurning och eutrofiering, ligger desinfektion med klorgas samt desinfektion med UV-ljus bäst till. Klorgasalternativet har ett försprång även när det gäller växthuseffekten. Vidare har klordesinfektion minst humantoxisk potential sett till EDIP-metoden. Vad gäller USES-metoden är UV-desinfektion att föredra, på grund av de jämförelsevis lägre emissionerna av AOX

Resultaten från de övriga delarna, arbetsmiljö och hälsa, pekar i en annan riktning. Här är metoderna med UV-desinfektion och med hypoklorit mest fördelaktiga med avseende på arbetsmiljö. Vad gäller förekomst av trihalometaner och bakterier är UV-desinfektion att föredra.

De positiva följder vad gäller arbetsmiljö och cancerogena effekter som UV-desinfektionen leder till sker på bekostnad av ökad energianvändning. Vilken tyngd ska man då egentligen lägga på skillnaderna mellan de olika desinfektionsmetoderna med avseende på bl.a. energianvändning och miljöpåverkan?

UV-desinfektionen har faktiskt ett nästan dubbelt så stort energibehov i förhållande till de övriga. Detta avspeglas även till viss del på miljöeffekterna. Inom systemgränserna i denna studie är den ökade energianvändningen därmed av stor betydelse. Om man däremot vidgar systemgränserna till att innefatta hela produktionsprocessen inklusive distribution av dricksvattnet, dock utan livscykelperspektiv, ser bilden annorlunda ut. Desinfektionssteget står endast för ca 0,5 % av den totala energianvändningen vid dricksvattenproduktion. Denna ökar vid övergång till UV-desinfektion till ca 1 %. För Stockholm Vatten AB kommer därmed inte en övergång till UV-desinfektion leda till en stor ökning av energianvändningen, totalt sett. Om energibesparande åtgärder efterfrågas bör man istället koncentrera sig på andra delar i produktionssystemet.

Om man nu sätter skillnaderna mellan de olika desinfektionsmetoderna i relation till arbetsmiljö och hälsa så kan man även här titta på hur dessa förändras om systemgränserna vidgas. Både förekomsten av bakterier och trihalometaner är parametrar som påverkas av desinfektionssteget. Den stora skillnaden här, i jämförelse med t.ex. energianvändning, är att dessa parametrar inte ändras om systemgränserna vidgas. De går därmed inte att påverka i andra delar av produktionssystemet, utan desinfektionssteget är avgörande för i vilken omfattning trihalometaner och bakterier finns i dricksvattnet, detta gäller även för arbetsmiljön.

Skillnaderna ur livscykelaspekt är alltså relativt små, medan skillnaderna i arbetsmiljö och speciellt effekter på människors hälsa är betydande. Det är också viktigt att notera att vattnets eventuella effekt på hälsan, vilket påverkas av halterna av trihalometaner och bakterier, troligen utgör vattnets viktigaste kvalitetsmått.

Utifrån detta dras slutsatsen att det mest fördelaktiga alternativet avgörs av hur man lägger värderingen mellan de studerade delarna; energi- och miljöaspekter jämfört med hälsoaspekter och arbetsmiljö.

## 9. REFERENSER

### Publicerade referenser

AFS 1996:2. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse med föreskrifter om hygieniska gränsvärden samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling.

AFS 1986:28. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse med föreskrifter om klor samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna. Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling.

Bengtsson, M. 1998. Värderingsmetoder i LCA. Rapport 1998:1, Centrum för produktrelaterad miljöanalys, Chalmers tekniska Högskola. Göteborg.

Blomberg, J. & Eriksson, U. 1998. Fällningsförsök med järnklorid i fullskala vid Norsborgs vattenverk. Stockholm Vatten AB. Stockholm.

Blomberg, J., Eriksson, U., Nordwall, I. & Berg, C. 2001. Desinfektion av dricksvatten och bildning av biprodukter – en jämförelse mellan UV-ljus och klor. Intern rapport nr 02, 2001. Stockholm Vatten AB. Stockholm.

Brännström-Norberg, B.-M., Dethlefsen, U., Johansson, R., Setterwall, C. & Tunbrant, S. 1996. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion – sammanfattande rapport. El & Miljö, Vattenfall Energisystem AB. Stockholm.

Cech, I., Holguin, A.H., Littell, A.A., Henry, J.P. & O'Connell, J. 1987. Health significance of chlorination by-products in drinking water: the Houston experience. *International Journal of Epidemiology*, 16.

De Rouen, T.A. & Diem, J.E. 1977. Relationships between cancer mortality in Louisiana drinking-water source and other possible causative agents. In: Hiatt, H.H., Watson, J.D. & Winsten, J.A., eds, *Origin of Human cancer. Book A. Incidence of cancer in Humans*. Cold Spring Harbor. New York. CSH Press.

Enskog, L. 1999. UV-desinfektion - en litteraturstudie. Intern rapport nr 06, 1999. Stockholm Vatten AB. Stockholm.



- Fawell, J.K. Fielding, M., Horth, H., James, H., Lacey, R.F., Ridgway, J.W., Wilcox, P. & Wilson, I. 1986. Health aspects of organics in drinking water. Publication No. TR 231. Medmenham. Water Research Centre.
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. & Moberg, Å. 2000a. Life cycle assessment of energy from solid waste. FMS, rapport 137, KTH. FOA Repro. Ursvik.
- Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P. & Moberg, Å. 2000b. Appendix 2 – klassificerings- karaktäriserings och viktningfaktorer. FMS rapport 138, KTH. FOA Repro. Ursvik.
- Guinée, J. 2001. LCA - An operational guide to the ISO-standards (Guinée et al.) - Part 3: Scientific background. Centre of Environmental Science. Leiden University. Nederländerna.
- Halldin, P. & Sundqvist, J. 1995. Livscykelanalys på klor – en studie av den totala miljöpåverkan vid framställning av klor från vaggan till grind, på Akzo Nobel Base Chemicals AB i Skoghall. Examensarbete vid Högskolan i Karlstad. Karlstad.
- Hauschild, M. & Wenzel H. 1998a. Photochemical ozone formation as a criterion in the environmental assessment of products. Environmental Assessment of Products. Volume 2 Scientific background. London.
- Hauschild, M. & Wenzel H. 1998b. Stratospheric ozone depletion as a criterion in the environmental assessment of products. Environmental Assessment of Products. Volume 2 Scientific background. Chapman & Hall, London.
- Hellström D., Jeppsson U. & Kärrman E., 2000. A framework for system analysis of sustainable urban water management, *Env. Imp. Ass. Rev*, 20(3):311-321.
- Huijbregts, M. A. J. 1999. Priority assessment of toxic substances in the frame of LCA. Development and application of the multi-media fate, exposure and effect model USES-LCA. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Sciences, University of Amsterdam. Nederländerna.
- IARC. 1991. Chlorinated drinking-water, chlorination by-products, some other halogenated compounds, cobalt and cobalt compounds. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 52, International Agency for Research on Cancer, World Health Organisation. Lyon, France.
- Kosvusalto, M.T. 1998. Drinking water mutagenicity and cancer. National Public Health Institute, Division of Environmental Health, Kuopio. Finland
- Kärrman, E. & Jönsson, H. 2001. Including oxidisation of ammonia in the eutrophication impact category. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 6(1): 29-33. Tyskland.
- Kärrman E. & Jönsson H. 2001. Normalising impacts in an environmental system analysis of wastewater systems, *Water Science and Technology*. 43(5): 293-300
- Lindfors, L-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O-J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnell, G. 1995. Nordic guidelines on Life-Cycle Assessment. Nord 1995:20. Århus, Danmark.
- Page, T., Harris, R.H. & Epstein, S.S. 1976. Drinking water and cancer mortality in Louisiana. *Science* 193: 55-57.
- Petrucci, R. H. 1989. General Chemistry – principles and modern applications. New York.
- Ryding, B. & Steen, S-O. 1992. The EPS enviro-accounting method. IVL- Institutet för vatten och luftvårdsforskning, Rapport B 1080. Göteborg.

- SETAC. 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A code of practice. Bryssel.
- Stadig, M. 1997. Livscykelanalys av äppelproduktion: fallstudier för Sverige, Nya Zeeland och Frankrike. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Uppsala.
- Tillman, A-M. 1994. Godstransporter i livscykelanalys : schablonvärden för energianvändning och emissioner. Rapport 1994:1, Department of Technical Environmental Planning, Chalmers University of Technology. Göteborg.
- Thuresson, L. 1996. Dricksvattenteknik- efterbehandling och distribution. Publikation P73, Svenska vatten- och avloppsföreningen, VAV. Stockholm.
- Victorin, K. 1980. Trihalometaner i dricksvatten – litteraturgenomgång och toxikologisk utvärdering. Rapport nr 1/80, Statens miljömedicinska laboratorium. Stockholm.
- Wettström, R.1998. Klor- en del av vår vardag. Akzo Nobel Base Chemicals Sweden.

### **Opublicerade referenser**

- Eriksson, U. 2001. Anläggning för produktion av monokloramin - Teknisk beskrivning. Förfrågningsunderlag Stockholm Vatten AB. Stockholm.

### Personliga meddelanden

- Eriksson, U., 2001-08-28. Processingenjör vid Lovö. SVAB. Tel: 08-522 136 05
- Franzén, C., 2001-09-17. Planeringsingenjör vid Norsborg. SVAB. Tel: 08- 522 138 72
- Fuhrmann, J., 2001-08-23. Project engineer. WEDECO AG. Tel: +49 5221 930 703
- Martin, J., 2001-06-18. Kvalitetsansvarig. BASF AG. Tyskland Tel: + 49 621 60 47927
- Mc Inulty, M., 2001-07-11. Area Sales Manager. WEDECO AG. Tel: + 49 5221 930 190
- Neitemeier, D., 2001-08-05. Technical Director. WEDECO AG. Tel: + 49 5221 930 115
- Schier, E.J., 2001-06-25. BASF AG. Ludwigshafen. Tyskland. Tel: + 49 621 60 43816
- Svedberg, O., 2001-08-23. Produktionschef vid Lovö. SVAB. Tel: 08- 522 136 04
- Svensson, A.C., 2001-07-09. Schenker BTL. Göteborg.
- Unnefors, B., 2001-07-04. HCI Nordic AB. Täby. Tel: 08-544 707 50
- Wendel, H., 2001-05-21. AB Hanson & Möhring. Stockholm. Tel: 08-545 851 30.

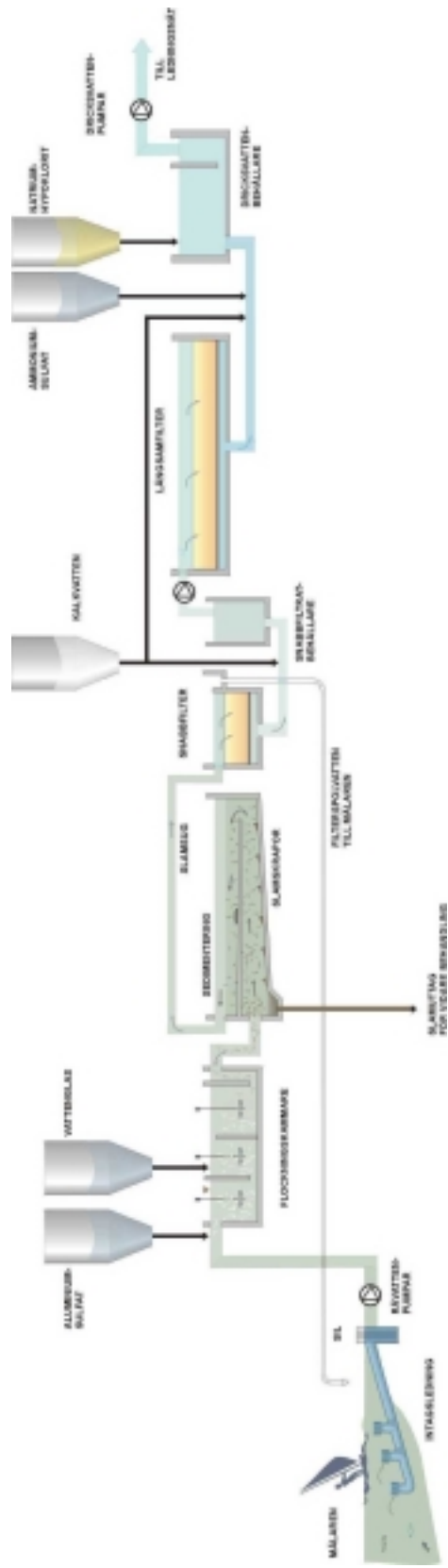
### Internet referenser

- Akzo Nobel. Produkter. <http://www.basechemicals.akzonobel.se>. Besöksdatum 2001-04-19.
- Birka energi. <http://www.birkaenergi.se/public/products/envHeatHudiksvall.jsp>. Besöksdatum 2002-02-12.
- Miljöstyrningsrådet. ISO 14040-serien. <http://www.miljostyrning.se/iso14000/iso14040.asp>. Besöksdatum 2001-10-01.
- Nätverket för teknik och miljö. <http://www.ntm.a.se/emissioner/index.htm?Val=Acceptorar>. Besöksdatum juni 2001- februari 2002.
- Stockholm Vatten AB. Dricksvatten. <http://stockholmvatten.se>. Besöksdatum 2002-02-01.

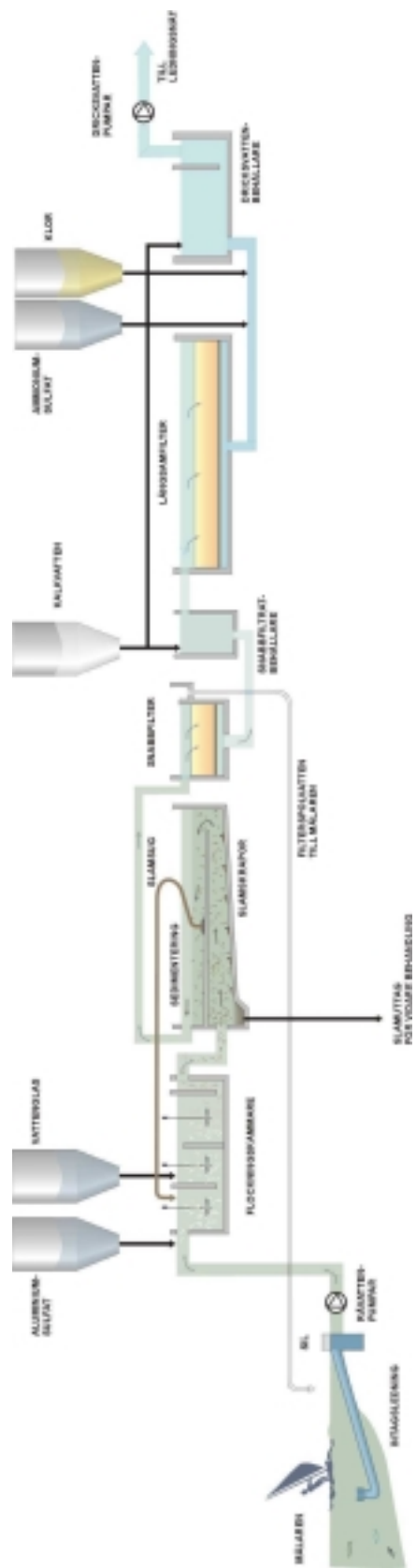
Svenska Naturvårdsverket. Nedfall av svavel och kväve. <http://www.environ.se>. Besöksdatum 2001-08-17.

Sydkraft SAKAB AB. Miljörapport 2001. <http://sakab.se/pdf/NORRTORP.PDF>.  
Besöksdatum 2001-01-08.

**BILAGA 1. PROCESSHEMA FÖR LOVÖ OCH  
NORSBORGS VATTENVERK**



*Lovö vattenverk*



Norsborgs vattenverk

## BILAGA 2. VATTENKVALITET VID LOVÖ OCH NORSBORGS VATTENVERK SAMT GRÄNSVÄRDEN FÖR DRICKSVATTEN.

Ämne/Egenskap	Symbol	Enhet	Lovö vattenverk	Norsborgs vattenverk	Gränsvärde <sup>1</sup>
Temperatur		°C	6,9	7,3	20
Färgtal		Mg Pt/l	<5	<5	15
Turbiditet		FNU	0,04	<0,05	0,5
Konduktivitet		mS/m	30,2	24,4	-
Kemisk syreförbrukning	CODMn	mg O <sub>2</sub> /l	3,1	2,6	4,0
Totalt organiskt kol	TOC	mg/l	4,1	3,7	-
Lukt <sup>2</sup>			1,0 (ingen)	1,0 (ingen)	svag
Smak			Ingen	Ingen	svag
Torrsubstans	TS	mg/l	182	134	-
pH			8,4	8,5	7,5 > pH > 9,0
Totalhårdhet		°dH	6,1	4,2	15
Kalcium	Ca	mg/l	33	23	100
Magnesium	Mg	mg/l	5,5	4,4	30
Järn	Fe	mg/l	<0,03	<0,03	0,10
Mangan	Mn	mg/l	<0,001	<0,001	0,05
Aluminium	Al	mg/l	0,023	0,020	0,10
Koppar	Cu	mg/l	0,002	0,001	0,05
Alkalinitet	HCO <sub>3</sub>	mg/l	74	49	-
Sulfat	SO <sub>4</sub>	mg/l	42	33	100
Klorid	Cl	mg/l	18	13	100
Fluorid	F	mg/l	0,23	0,23	1,3
Natrium	Na	mg/l	13	9,8	100
Kalium	K	mg/l	2,9	2,4	12
Kisel	Si	mg/l	0,53	0,25	-
Ammonium-kväve	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,050	0,062	0,4
Nitritkväve <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	<0,002	<0,002	0,05
Nitratkväve	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,34	0,24	5,0
Fosfatfosfor	PO <sub>4</sub> -P	mg/l	<0,001	<0,001	0,20
Totalt aktivt klor	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,26	0,26	0,4
Heterotrofa bakterier, 20°C	2 dygn	per ml	<1	1	10
Heterotrofa bakterier, 20°C	7 dygn	per ml	7	2	5000
Koliforma bakterier, 35°C		per 100 ml	<0,1	<0,1	1
Escherichia coli		per 100 ml	<0,1	<0,1	påvisad

<sup>1</sup> Gränsvärdet avser det värde som inte får uppnås för att vattnet vid vattenverket skall bedömas tjänligt enligt gällande Dricksvattenkungörelse SLV FS 1993:35.

<sup>2</sup> Lukt kan anges med siffror och avser då den spädning som måste göras med luktfritt vatten för att lukt ej skall kunna kännas. Lukt kan även anges subjektivt med ingen, svag, tydlig och stark.

<sup>3</sup> Tillämpas vid vattenverk som använder kloramindesinfektion.

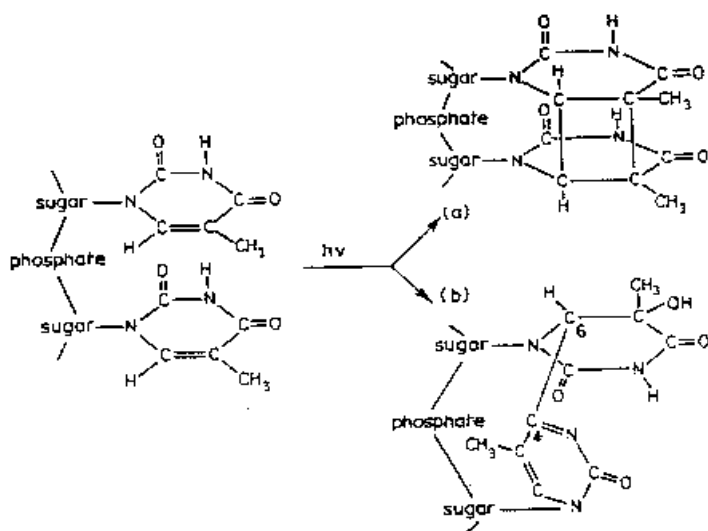
## BILAGA 3. DESINFEKTION AV DRICKSVATTEN

### Bakteriedödande verkan av klor

Klor är ett starkt oxidationsmedel som skadar bakterier och virus genom att angripa dess membran. Cellens DNA kan fortfarande vara oskadd och om klorelet förbrukas innan det når konsumenten kan bakterien reparera sig själv genom att cellens DNA börjar reproducera sig igen.

### Bakteriedödande verkan av UV-ljus

UV-ljuset angriper bakteriens DNA-kedja. När ljuset absorberas sker en fotokemisk dimersering av thyminbaser, vilket innebär att två thyminbaser binds samman genom kovalenta bindningar till endera tymincyklobutan eller thymintymin, figur 25. Detta förhindrar replikation av cellens genom. Därmed kan inte cellen längre reproducera sig men den kan fortfarande vara metaboliskt aktiv. Avdödningen av bakterier blir effektivast då UV-ljusets våglängd överensstämmer med DNA-basernas absorptionsspektrum, dvs. mellan 240 och 280nm, (Kalisvaart, 1998). Se figur 25.



Figur 25. UV-ljusets effekt på DNA-kedjan.

### Kloreringskemi

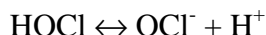
Referens: Victorin, 1980. Statens Miljömedicinska Laboratorium. *Trihalometaner i dricksvatten – litteraturgenomgång och toxikologisk utvärdering.*

#### *Definitioner*

Vid desinfektion av dricksvatten med klor kan antingen klorgas, natriumhypoklorit eller kalciumhypoklorit användas. När klorgas löses i vatten sker en disproportionering till underklorlyrlighet (HOCl) och kloridjon (Cl<sup>-</sup>):

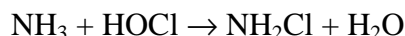


Jämvikten är starkt förskjuten åt höger. Vid normala pH-värden är mängden Cl<sub>2</sub> helt försumbar. Underklorsyrligheten står i jämvikt (pH-beroende) med sin jon, hypokloritjonen:



Hypoklorit ger underklorsyrlighet vid tillsats av vatten. Det är underklorsyrlighet (HOCl) som är den mest aktivt bakteriedödande, varför bakterieavdödning går bättre ju lägre pH är.

Klor reagerar kvantitativt med ammonium i vatten, varpå de organiska kloraminerna mono-, di-, och trikloraminer bildas beroende på pH och förhållandet mellan klor och ammonium. Monokloramin (NH<sub>2</sub>Cl) är den, ur desinfektions synpunkt, önskvärda kloraminen och dominerar då reaktionerna sker vid ett pH-värde över ca 8,5:



Kloret kan även reagera med organiska aminer och ge upphov till organiska kloraminer.

Med *fritt kloröverskott* menas summan av underklorsyrlighet och hypokloritjon (HOCl + OCl<sup>-</sup>). Med *bundet kloröverskott* menas oorganiska kloraminer + de organiska kloraminer som ger utslag vid kloröverskottsbestämning. De påvisas genom sin oxidationseffekt. Med *totalt kloröverskott* menas fritt + bundet. Den del av det tillförda kloret som ej återfinns som kloröverskott sägs utgöra vattnets klorförbrukning.

### ***Bildning av trihalometaner***

Sidoreaktioner förekommer, varav trihalometanbildning är en. Trihalometaner är summan av kloroform, bromdiklormetan, dibromklormetan och bromoform.

Kloroform kan bildas ur metylketoner genom den s k haloformreaktionen:



De bromerade trihalometanerna kan bildas genom att kloret oxiderar bromidjoner, som finns naturligt i låga halter i många vatten, till brom (Br<sub>2</sub>) eller eventuellt BrCl. Brom reagerar sedan på samma sätt som klor i ovanstående reaktion.

I vattensammanhang är dock reaktion med humusämnen av största intresse, speciellt fulvinsyror. Dessa kan bilda kloroform och andra klorerade föreningar genom minst tre olika typer av reaktioner.

Trihalometanbildningen ökar med ökande koncentrationer av klor, organiskt material, kontakttid, temperatur och pH. Endast fritt kloröverskott bildar trihalometaner. Kloraminer står dock i jämvikt med det fria kloröverskottet och ger därigenom upphov till små mängder trihalometaner.

Halometaner kan även bildas naturligt av vissa marina alger.



## **BILAGA 4. LIVSCYKEL ANALYS**

### **Livscykelanalys - Bakgrund och metodik**

#### ***Inledning***

Kretsloppstänkandet blir allt mer förankrat i samhället. Miljöpåverkan sker inte bara i en fas av den kedja av processer en produkt eller tjänst genomgår, utan kanske i samtliga faser. Den totala miljöpåverkan under hela produktens livscykel är därför viktig för att få en helhetssyn. För att kunna reducera denna på ett så resurseffektivt sätt som möjligt måste en identifiering ske av var i produktsystemet denna påverkan uppkommer. Det är här arbetet med livscykelanalyser kommer in i bilden.

Redan i slutet på 1960-talet påbörjades utvecklingen av LCA metodiken. Från början studerades enbart energiomvandling, senare under 70-talet inkluderades även utsläpp förknippade med energiomvandlingen. I slutet av 80-talet utvecklades metoden vidare till sin nuvarande form (SNV 4537, 1996).

#### ***Livscykelanalysens grunder***

En livscykelanalys är ett verktyg för att bedöma den resurs- och miljöbelastning som en produkt eller tjänst orsakar under hela sin livscykel, från vaggan till graven. Helhetsperspektivet innebär därmed att allt ifrån utvinning av råmaterial eller energibärare, tillverkning, distribution och användning till eventuell återanvändning och återvinning samt slutlig avfallshantering bör beaktas. Dessutom ska alla transporter i produktkedjan inkluderas. (Lindström m fl., 1995)

Ibland kan dock användarledet vara så komplext att det är svårt att följa produktflödet till slutet av livscykeln. Även sluthantering kan vara svår att behandla på ett korrekt sätt då många alternativa hanteringssätt finns tillgängliga; återvinning, kompostering, rötning, deponering samt förbränning. Ett alternativ som gör det möjligt att komma ifrån denna problematik är att istället för att följa produktflödet ända till graven stanna vid ”grinden”. Detta innebär att användning och sluthantering av produkten eller tjänsten inte beaktas i studien och man får en så kallad ”vaggan till grinden analys”. Detta kan även tillämpas omvänt i en ”grinden till graven analys”.

#### ***Användning***

LCA kan antingen användas internt, inom ett företag, eller externt, för offentliga beslut eller i kommunikation med omgivningen. Samma princip tillämpas, men extern användning ställer större krav på trovärdighet. För det senare är det viktigt att standarder utvecklas för att uppnå tillfredsställande kvalitet på analyserna. Hittills används LCA mestadels internt och då främst vid;

- Jämförelser av tillverkningsalternativ.
- Identifiering av de mest miljöpåverkande stegen i livscykeln.
- Identifiering av viktiga kunskapsluckor i livscykeln.
- Stöd till produktutvecklare.
- Långsiktig strategisk planering.

Externt används LCA främst vid;

- Utveckling av avfalls- och återvinningsstrategier.
- Sökandet efter viktiga kunskapsluckor och identifiering av forskningsbehov.
- Underlag för miljömärkning.
- Underlag för information och utbildning.

Det är viktigt att komma ihåg att LCA ger en förenklad bild av en komplex verklighet och därmed inte kan ge uttömmande svar på alla frågor. Ofta behövs en komplettering med andra insatser för att man ska få ett bra beslutsunderlag.

För att underlätta miljöarbetet mellan länder men också mellan olika sektorer i samhället behövs en harmonisering av LCA metodiken på en internationell nivå. Många internationella organisationer har åtagit sig denna uppgift, bl. a. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) och ISO (International Standards Organisation). SETAC gav 1993 ut riktlinjer i ämnet, "Guidelines for Life-Cycle Assessment: A code of practice" medan ISO-standarderna 14040-14043 fortfarande är under utveckling (Miljöstyrningsrådet, [www](http://www.miljostyrningsradet.se)).

### ***Metod***

Enligt SETAC och ISO 14040 ska en LCA innehålla fyra huvudmoment; definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning samt tolkning av resultat. En LCA är en iterativ process, dvs. den upprepas tills målet är nått. Arbetsgången kan i korthet sammanfattas på följande sätt:

- Studiens mål och omfattning definieras
- Sammanställning av en inventering av relevanta inflöden och utflöden av material och energi för ett produktsystem.
- Värdering av de potentiella miljöeffekterna förknippade med dessa inflöden och utflöden

Tolkning av resultaten från inventerings- och miljöpåverkansfaserna i förhållande till studiens målsättning

### Mål och omfattning

Fastställandet av studiens mål och omfattning är troligen det mest kritiska momentet vid genomförandet av en LCA. Här ska tydligt framgå vilken eller vilka frågor studien ska besvara, vilket eller vilka system som ska studeras samt hur resultaten ska användas. En mycket viktig del är även att ange begränsningar som framför allt påverkar tolkningen av resultaten (Lindström m fl., 1995). I och med livscykelanalysens iterativa natur kommer resultatet i stor utsträckning bero på hur målet är formulerat.

Inga regler för besluten i denna fas finns, utan valet sker subjektivt. Det är dock viktigt att valen redovisas och motiveras på ett tydligt sätt.

### *Funktionell enhet*

Den funktionella enheten utgör analysens bas och ska vara ett väldefinierat och entydigt mått på den studerade produktens funktion. Definitionen av denna är en förutsättning för att kunna garantera jämförbarhet av olika produktsystem, därmed bör den inte bara vara väldefinierad utan även mätbar. Enligt Lindström m fl., 1995, bör man vid definitionen av en funktionell enhet ta hänsyn till följande;

- Produktens effektivitet, t.ex. hur väl en färg täcker en yta ( $m^2$  täckt yta/kg färg)
- Produktens livslängd, tex. hur lång tid det tar innan ytan måste målas om.
- Funktionella kvalitetsstandarder, t.ex. ett visst korrosionskrav

Som en vägledning vid valet av funktionell enhet gäller att den på bästa sätt ska beskriva den användarfunktion som produkten eller tjänsten representerar.

### *Omfattning*

En annan viktig del är att precisera systemgränserna. Dessa avgör vilka delprocesser som ska inkluderas i studien. Genom fastställande av systemgränser sker ett bortfall av delar av livscykeln och en viss begränsning av dataunderlaget. Detta medför en förenkling av beräkningarna i och med att alla material- och energiflöden utanför de satta gränserna ej behöver följas vidare mot dess källor, utan man kan nöja sig med uppgifter om det aktuella summainflödet vid den satta systemgränsen (ISO 14041).

Geografiska avgränsningar är viktiga i det avseendet att både inventeringsdata och miljöpåverkan är beroende av var aktiviteterna sker.

På grund av den skilda energianvändningen i världen, både avseende omfattning och produktionssätt, bör energirelaterade inventeringsdata redovisas separat (Lindström m. fl. 1995). Emissioner från kraft- och värmeproduktion utgör ofta en betydande del av en produkts totala emissionsbild. Därmed kan emissioner från ett lokalt fall skilja sig kraftigt åt från det nationella genomsnittet. Här har därmed ofta de geografiska systemgränserna en stor betydelse för resultaten (Lindström m.fl. 1995).

Det är även viktigt att avgränsa mot andra produkters livscykler. I princip skall produktsystemets gränser läggas så långt ut att det enbart är primära råvaror som är inflöden till systemet. Tillämpas detta konsekvent så grenar systemet ofta ut sig till en närmast ofantlig storlek. I praktiken går det därmed inte att kvantifiera alla flöden fram till den teoretiska systemgränsen. En grundregel som ges (SNV, 1996) är att delar, vars bidrag till systemets totala miljöpåverkan är så små att de inte bedöms påverka studiens resultat enligt något visst kriterium, kan utgå i samband med inventeringsfasen. I denna fas bör även de allokeringssprinciper man ska jobba efter klargöras. I vissa sammanhang framställs den studerade produkten i en process som producerar fler produkter än den som studeras. Därmed måste emissioner och resursanvändning som ingår i processen fördelas mellan de olika produkterna, det är innebörden av att allokera. Allokeringar kan göras på olika sätt, man kan t.ex. låta den studerade produkten bära hela bördan vad gäller emissioner och energiförbrukning, men man kan också allokera på mass-, volyms-, eller ekonomiskbasis.

Beslut behöver även göras om i vilken omfattning de maskiner som används vid produktionen ska tas med och i vilken omfattning driftspersonal ska inkluderas i studien.

### *Datakvalitet*

Här redogörs för vilken typ av data samt vilken datakvalitet som behövs för studien. En viktig del av metodiken är att en LCA ska vara transparent, dvs. det ska vara lätt att tränga in i och kontrollera giltigheten av insamlade data.

### *Inventeringsparametrar*

En viktig del av det förberedande arbetet med en LCA är att besluta vilka effektkategorier som har betydelse för just den här studien och därmed ska studeras. Det finns idag ingen standardiserad klassificeringslista för LCA men i de Nordiska riktlinjerna (Lindström m fl., 1995) ges förslag på effektkategorier, se tabell 22. Här ska redovisas vilka kategorier som valts att beskriva samt även ange vilka som utesluts ur studien med en förklaring till detta val.

*Tabell 22. Effektkategorier enligt de nordiska riktlinjerna (Lindström m. fl., 1995)*

#### Effektkategorier

---

1	Resurser – Energi och material
2	Resurser – Vatten
3	Resurser – mark (inkl. våtmark)
4	Hälsoeffekter – Toxiska effekter (exkl. arbetsmiljö)
5	Hälsoeffekter – Icke toxiska effekter (exkl. arbetsmiljö)
6	Hälsoeffekter i arbetsmiljön
7	Växthuseffekten
8	Nedbrytning av stratosfäriskt ozon
9	Försurning
10	Eutrofiering
11	Bildning av fotokemiska oxidanter
12	Ekotoxiska effekter
13	Påverka på den biologiska mångfalden
14	Inflöden som ej följts tillbaka till ”vaggan”
15	Utfloden som ej följts tillbaka till ”graven”

---

Det bör än en gång poängteras att det är en förutsättning för jämförande LCA att de studerade systemen använder samma funktionella enhet och likvärdiga metodiska överväganden såsom prestanda, systemgränser, datakvalitet, allokeringsmetoder, beslutsregler vid utvärdering av inflöden och utflöden samt metoder för miljöpåverkansbedömningen.

### Inventering

I inventeringsfasen ingår datainsamling och beräkningar för att kvantifiera inflöden och utflöden av material och energi från ett produktsystem. Kvantitativa och kvalitativa data ska samlas in för varje delprocess inom systemgränserna. De systemgränser som satts upp i måldefinitionen måste i allmänhet justeras under inventeringens gång. I ISO 14041 poängteras att resultatet av en livscykelanalys bara är aktuellt så länge inga stora förändringar sker i de data som utgör underlagsmaterial för studien.

### Miljöpåverkansbedömning

Det kan vara svårt eller näst intill omöjligt att utläsa något resultat utifrån de mätvärden som samlats in och summerats under inventeringen. I miljöpåverkansbedömningen relateras dessa mätvärden till de olika påverkanskategorierna som valts att studera samt därefter multipliceras de med ett index för att lättare möjliggöra en bedömning av produktens miljöpåverkan. Denna bedömning är normalt *relativ* inom just denna påverkanskategori samt syftar endast till att visa på *potentiell* påverkan.

Miljöpåverkansbedömningen utgörs av tre delmoment; klassificering, karaktärisering och värdering

### Klassificering

I klassificeringen fördelas och redovisas inventeringsresultaten efter typ och mängd under olika effektkategorier, t.ex. ”ett utsläpp av *svaveldioxid* omfattande  $x$  kg som bidrar till *förurning*”. Man redovisar endast att emissionen bidrar till en viss hotbild samt storleken på den, ingenting sägs om hur stor påverkan detta bidrag har på aktuell hotbild. Denna metod medför att samma emission kan bidra till flera olika effektkategorier.

Klassificeringen består således av två delar; en lista och definition av relevanta hotbilder generellt och en identifiering av vilka emissioner som bidrar till vad. (SNV rapport 4537)

### Karaktärisering

I detta steg multipliceras de olika flödena med ett index för att sedan summeras kategorivis. Till exempel räknas olika växthusgaser ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) om till koldioxidekvivalenter för att kunna summeras och ge en första bild av systemets potentiella påverkan på växthuseffekten.

### Värdering

Fram till denna del av miljöpåverkansbedömningen är arbetet idealt sett helt objektivt och baseras på en naturvetenskaplig kunskapsbas. Även om genomföraren av LCA:n fortfarande arbetar objektivt i detta steg så är valet av värderingsmetod och dess bakgrund högst subjektivt. En värdering genomförs för att kunna skapa ett slutligt index för systemets totala miljöpåverkan. Värderingen ligger i att rangera betydelsen av de olika effektkategorierna, det finns ingen standard för hur detta ska göras utan olika metoder har hittills utvecklats. Det är tre stycken som oftast brukar tillämpas;

EPS-metoden<sup>1</sup> - En svenskutvecklad metod som bygger på fem vedertagna skyddsobjekt och betalningsviljan att skydda dessa (Bengtsson, 1998). EPS-metoden tar hänsyn till både emissioner och resursförbrukning vid värderingen av det totala systemet (Ryding m.fl., 1992), resultatet presenteras i enheten ELU (Environmental Load Unit).

<sup>1</sup>Environmental Priority Strategies in produkt design, Utvecklat av Institutet för vatten- och luftvårdsforskning

Effektkategorimetoden<sup>2</sup> - Här indelas miljöbelastningarna i olika påverkanskategorier, t.ex. påverkan på försurning, övergödning eller den globala uppvärmningen. Resultaten anges i ET impact points, där ET står för Environmental Theme. Själva viktningen görs för svenska förhållanden i huvudsak på två sätt; ET-lång och ET-kort. I den förstnämnda baseras viktningen på politiska mål för utsläppsreduktion och i den andra baseras den på uppskattningar av kritiska belastningsgränser (Bengtsson, 1998).

<sup>2</sup>Ursprungligen utvecklad i Nederländerna (Heijungs m.fl., 1992)

Ekknapphetsmetoden<sup>3</sup> - Denna metod utgår från politiska mål med avseende på utsläppsreduktion. Viktningsindexet för ett ämne står i förhållande till hur mycket de aktuella utsläppen av ämnet i fråga överskrider de uppsatta målen (Bengtsson, 1998). Till skillnad från effektkategorimetoden tilldelas de enskilda ämnena direkt ett index utan att ta omvägen över effektkategorier.

<sup>3</sup>Schweizisk metod utvecklad under 1990-talet

### Förbättringsanalys

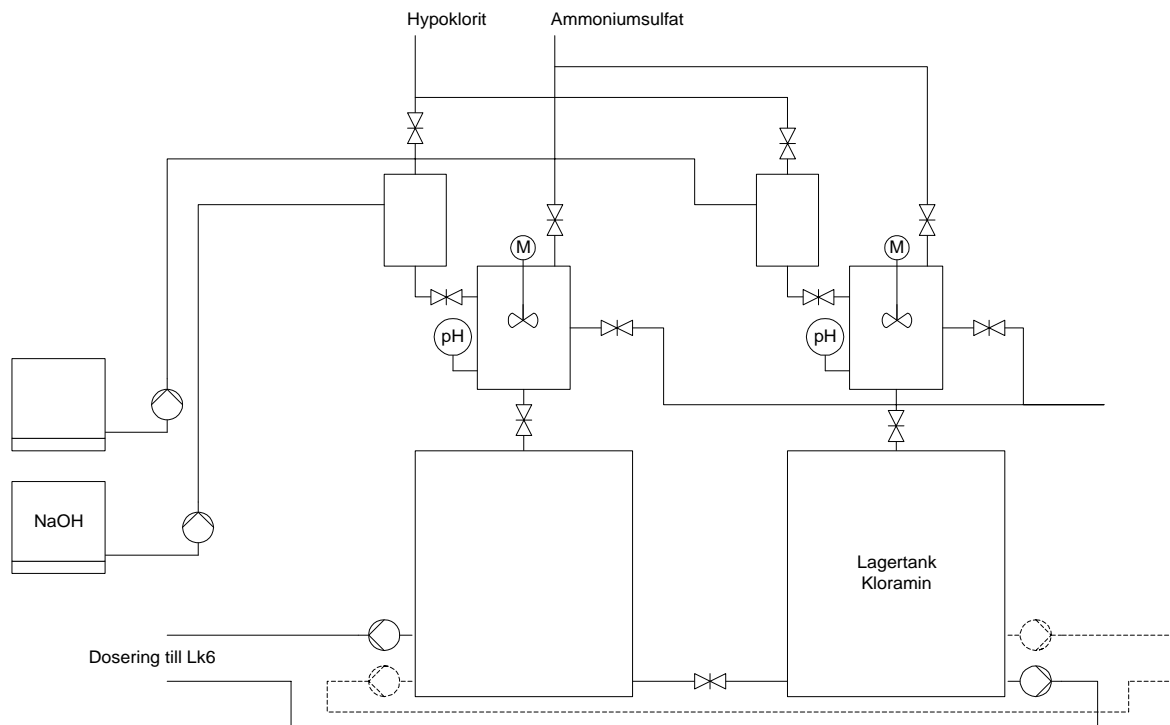
Förbättringsanalys, eller känslighetsanalys, är ett frivilligt delsteg som ännu är relativt outvecklat. Syftet är att identifiera de delar av systemet som är av extra betydelse för att där få fram underlag till miljöförbättringar. Slutsatser om miljöförbättrande åtgärder bör därför klart redovisas.

## BILAGA 5. PROCESSHEMAN

### Processchema För monokloraminframställning

– Ett förslag till utformning av kommande anläggning för monokloraminframställning vid Lovö vattenverk.

Referens: Förfrågningsunderlag Stockholm Vatten AB. Anläggning för produktion av monokloramin. Teknisk beskrivning (2001)



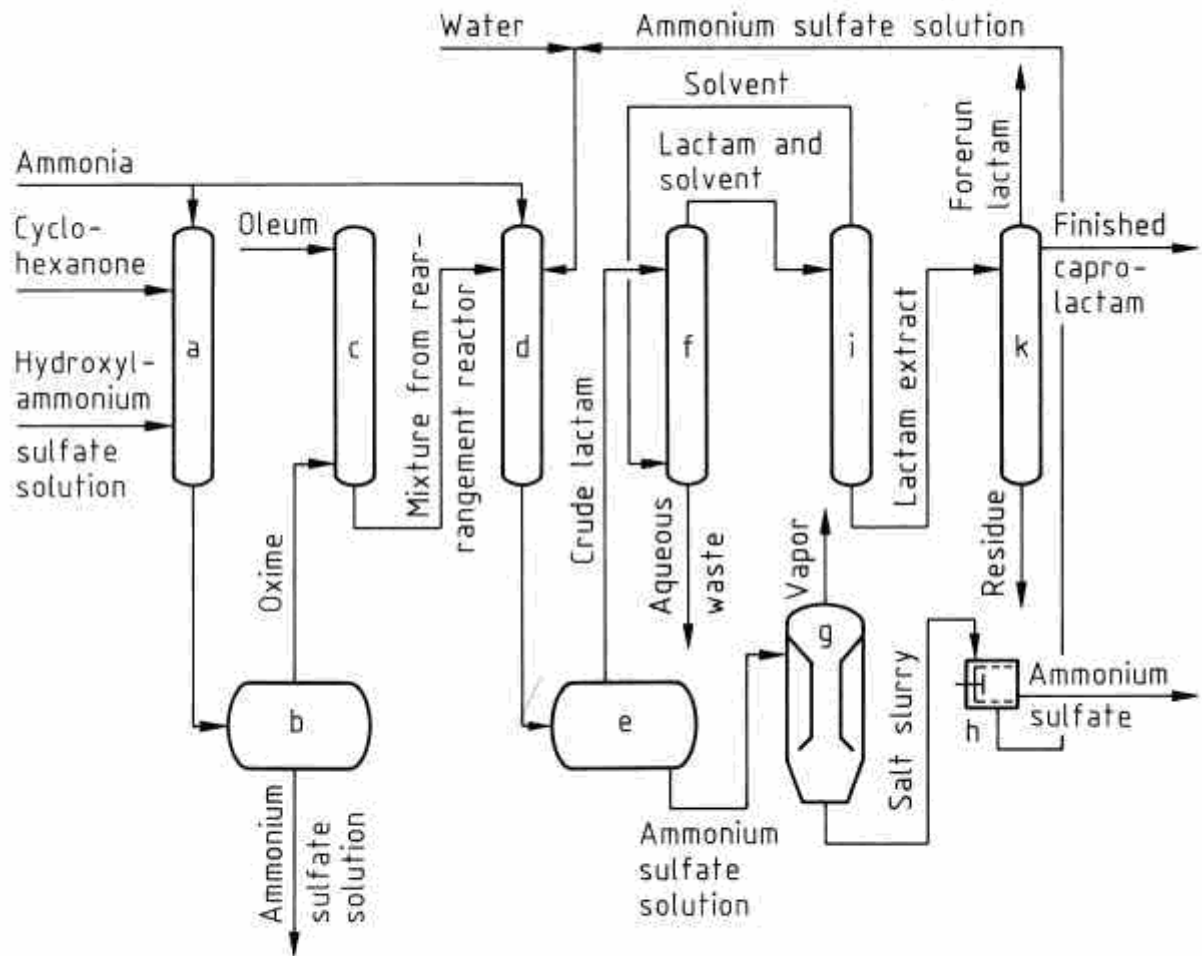
Vid framställning av 1 m<sup>3</sup> kloraminlösning (1,5 g Cl<sub>2</sub>/l) åtgår;

Fraktion	Mängd	Koncentration
Hypokloritlösning	214 liter	7 g Cl <sub>2</sub> /l
Ammoniumsulfat	27 liter	55 g/l
Vatten	759 liter	
Natriumhydroxid	0,05 ml/m <sup>3</sup> renvatten	50% lösning

### Processchema för caprolactam produktion

– Framställning av ammoniumsulfat och caprolactam vid BASF:s anläggning i Ludwigshafen, Tyskland.

Referens: Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry



a) Oximation; b) Oxime separation; c) Rearrangement; d) Neutralization; e) Crude-lactam separation; f) Extraction; g) Crystallization; h) Centrifuge; i) Solvent distillation; k) Lactam distillation



## BILAGA 6. TRANSPORTER

Referens: Nätverket för teknik och miljö

Medeltung lastbil, regional trafik		
Fordonstyp	Medeltung lastbil, regional trafik	
	Nyttolast(max) / totalvikt	14/24
	Motortyp	Euro 0
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,52
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	136
NOx	medel	2,3
HC	medel	0,16
PM	medel	0,052
CO	medel	0,19
SO2	medel	0,034
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	24
Lastförmåga Max	[ton]	14
Drivmedel, MK1	hög [l/mil]	4
	medel [l/mil]	3,5
	låg [l/mil]	3
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	50%

Tung lastbil med släp, fjärrtrafik		
Fordonstyp	Tung lastbil med släp, fjärrtrafik	
	Nyttolast(max) / totalvikt	40/60
	Motortyp	Euro 2
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,18
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	48
NOx	medel	0,42
HC	medel	0,043
PM	medel	0,0067
CO	medel	0,045
SO2	medel	0,01
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	60
Lastförmåga Max	[ton]	40
Drivmedel, MK1	hög [l/mil]	5,5
	medel [l/mil]	4,9
	låg [l/mil]	4,3
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	70%

Medeltung lastbil, regional trafik		
Fordonstyp	Medeltung lastbil, regional trafik	
	Nyttolast(max) / totalvikt	14/24
	Motortyp	Euro 1
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,52
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	136
NOx	medel	1,4
HC	medel	0,15
PM	medel	0,027
CO	medel	0,17
SO2	medel	0,034
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	24
Lastförmåga Max	[ton]	14
Drivmedel, MK1	hög [l/mil]	4
	medel [l/mil]	3,5
	låg [l/mil]	3
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	50%

Lätt lastbil, distributionstrafik		
Fordonstyp	Lätt lastbil, distributionstrafik	
	Nyttolast(max) / totalvikt	8,5/14
	Motortyp	Euro 1
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,67
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	176
NOx	medel	1,8
HC	medel	0,19
PM	medel	0,035
CO	medel	0,22
SO2	medel	0,043
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	14
Lastförmåga Max	[ton]	8,5
Drivmedel, MK1	hög [l/mil]	3
	medel [l/mil]	2,75
	låg [l/mil]	2,5
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	50%

Medeltung lastbil, regional trafik		
Fordonstyp	Medeltung lastbil, regional trafik	
	Nyttolast(max) / totalvikt	14/24
	Motortyp	Euro 2
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,52
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	136
NOx	medel	1,2
HC	medel	0,12
PM	medel	0,019
CO	medel	0,13
SO2	medel	0,034
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	24
Lastförmåga Max	[ton]	14
Drivmedel, MK1	hög [l/mil]	4
	medel [l/mil]	3,5
	låg [l/mil]	3
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	50%

Lätt lastbil, distributionstrafik		
Fordonstyp	Lätt lastbil, distributions- trafik	
	Nyttolast / totalvikt	
	Motortyp	Euro 0
Energibehov		Totalt
		kWh(LCI)/tkm
Energi-fossil	medel	0,671
Emissioner till luft		Totalt
		g(LCI)/tkm
fossil CO2	medel	176,3
NOx	medel	2,9
HC	medel	0,21
PM	medel	0,067
CO	medel	0,24
SO2	medel	0,04
Övrig info.		
Totalvikt	[ton]	14
Lastförmåga Max	[ton]	8,5
Drivmedel	hög [l/mil]	3
	medel [l/mil]	2,75
	låg [l/mil]	2,5
Svavelhalt	[ppm]	2
Fyllnadsgrad	[vikts-%]	50%

## BILAGA 7. KARAKTÄRISERINGSINDEX FÖR KATEGORIN – HUMANTOXITET

Enligt EDIP-metoden (Finnveden m. fl., 2000b)

Indexet anges i m<sup>3</sup> luft/ g substans

Emissioner till luft, toxitet via luft		Emission till vatten, toxitet via luft		Emission till mark, toxitet via luft	
Substans	Index	Substans	Index	Substans	Index
Aldehyder	1,30E+07	AOX	3,90E+05	AOX	3,90E+05
Cd	1,10E+08	Chloroform (THM*0,75)	1,00E+05	Chloroform (THM*0,75)	1,00E+05
CN-	3,40E+04	Cl	3,40E+04	Cl	3,40E+04
Cl	3,40E+04	CN-	1,40E+05	Hg	6,70E+06
CO	8,30E+02	CxHy	1,00E+07		
Cu	5,70E+02	CxHy (aromatiska)	1,00E+07		
CxHy	1,00E+07	CxHy (polycykliska)	1,00E+07		
CxHy (aromatiska)	1,00E+07	Hg	6,70E+06		
CxHy (polycykliska)	5,00E+07	Olja	1,00E+07		
HCN	1,40E+05	Lösta org. Ämnen	1,00E+07		
HF	9,50E+04	Lösta ämnen	1,00E+07		
Hg	6,70E+06				
Metaller	1,70E+05				
N <sub>2</sub> O	2,00E+03				
Pb	1,00E+08				
Sb	2,00E+04				
VOC	1,00E+07				
Zn	8,10E+04				

Enligt USES-LCA (Huijbregts, 1999)

Index anges i kg 1,4-dichlorobenzene ekvivalenter

Emissioner till luft		Emissioner till mark och vatten	
Substans	Index	Substans	Index
Aldehyder	8,30E-01	AOX	8,00E+04
Ammoniak	9,90E-01	Arsenik	9,50E+02
Cd	1,50E+05	Cu	1,30E+00
CS <sub>2</sub>	2,40E+00	Fenol	4,90E-02
CxHy	1,90E+03	Hg	1,40E+03
CxHy (aromatiska)	1,90E+03	Olja	1,80E+03
CxHy (polycykliska)	5,70E+05	Pb	1,20E+01
Hg	6,00E+03	Zn	5,80E-01
Metaller	6,70E+03	Organiskt material	1,80E+03
Pb	3,30E+02		
Sb	6,70E+03		
VOC	1,90E+03		
Zn	1,00E+02		
Organiskt material	1,90E+03		

## BILAGA 8A. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED NATRIUMHYPOKLORIT

All data anges per funktionell enhet

A Framställning av natriumklorid

B Elanvändning samt uppkomna emissioner vid framställning av natriumhypoklorit

C Framställning av ammoniumsulfat

D Transport av salt, med båt från Holland till Sverige

E Transport av salt, från Värta hamnen till Lovö vattenverk

F Transport av ammoniumsulfat, från Ludwigshafen till Göteborg

G Transport av ammoniumsulfat från Göteborg till Lovö vattenverk

H Energianvändning vid beläggning av anod och katod i jonbytaren

I Emissioner av klor, THM och AOX i utgående dricksvatten

<b>Energianvändning</b>	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	SUMMA
<i>Primär energi - förnybar</i>											
Vattenkraft (el)	MJ		1,75E-05	2,69E-05							4,44E-05
Biobränsle	MJ		3,28E-05	1,35E-05							4,63E-05
Sol/Vind (el)	MJ			7,23E-06							
<i>Primär energi - icke förnybar</i>											
Kärnkraft (el)	MJ		5,31E-05	2,52E-04							3,05E-04
Olja (el)	MJ		2,62E-05	9,99E-06							3,62E-05
Kol (el)	MJ		3,24E-05	4,67E-04							4,99E-04
Naturgas (el)	MJ		5,47E-06	8,46E-05							9,01E-05
Naturgas	MJ	2,35E-03		2,47E-03							4,82E-03
Olja	MJ	4,84E-05		3,19E-06							5,16E-05
Diesel	MJ				6,25E-04	6,65E-05	3,53E-04	4,32E-04			1,48E-03
Gasol	MJ								3,75E-07		3,75E-07

<i>Sekundär energi</i>											
Elektricitet, vattenfall			1,68E-04								1,68E-04
Elektricitet, tysk	MJ			8,61E-04							8,61E-04
Naturgas	MJ	2,35E-03		2,47E-03							4,82E-03
Olja	MJ	4,84E-05		3,19E-06							5,16E-05
Diesel	MJ				6,25E-04	6,65E-05	3,53E-04	4,32E-04			1,48E-03
Gasol	MJ								3,75E-07		3,75E-07

<b>Resursanvändning</b>	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	SUMMA
ammoniak	g		2,82E-05								2,82E-05
barytens	g			2,90E-09							2,90E-09
bauxit	g		5,83E-07	2,88E-08							6,12E-07
bentonit	g			3,56E-09							3,56E-09
Bergssalt	g	1,15									1,15
blymalm	g		7,07E-05								7,07E-05
Cr	g			4,63E-14							4,63E-14
dolomit	g			4,14E-08							4,14E-08
Fe	g			3,33E-06							3,33E-06
FeMg (ferromanganes)	g			3,02E-09							3,02E-09
fluor	g			7,87E-10							7,87E-10
fosfat (P2O5)	g			3,53E-09							3,53E-09
fältspat	g			2,30E-35							2,30E-35
granite	g			1,01E-10							1,01E-10
grus	g			1,23E-08							1,23E-08
järnmalm	g		4,28E-04								4,28E-04
kalciumsulfat (CaSO4)	g			1,23E-10							1,23E-10
kaliumklorid (KCl)	g			1,13E-05							1,13E-05
kalk (CaCO3)	g			2,74E-29							2,74E-29
kalksten (CaCO3)	g			3,83E-05							3,83E-05

kol	MJ		4,21E-07								4,21E-07
kopparmalm	g		3,66E-03								3,66E-03
lera	g			1,36E-10							1,36E-10
luft	g			6,72E-01							6,72E-01
naturgas	MJ		3,78E-07								3,78E-07
natriumklorid (NaCl)	g		5,06E-01	1,05E-03							5,07E-01
natriumhydroxid	g		6,16E-06								6,16E-06
Ni	g			1,35E-13							1,35E-13
N2	g			7,71E-05							7,71E-05
olivin (Mg,Fe)2SiO4	g			3,06E-08							3,06E-08
O2	g			3,22E-07							3,22E-07
olja	MJ		1,55E-06								1,55E-06
ospecificerat	g			1,16E-48							1,16E-48
Pb	g			2,52E-08							2,52E-08
rutile (titandioxid)	g			3,92E-29							3,92E-29
S (bonded)	g			2,21E-02							2,21E-02
S (elemental)	g			4,42E-02							4,42E-02
salpetersyra	g		3,37E-05								3,37E-05
sand (SiO2)	g			9,90E-08							9,90E-08
skiffer	g			3,49E-10							3,49E-10
svavelsyra	g		2,40E-04								2,40E-04
torv	MJ		2,73E-06								2,73E-06
trä (ej bränsle)	g		1,61E-03								1,61E-03
uranmalm	g		1,78E-03								1,78E-03
Vatten	g	4,05									4,05
Zn	g			9,34E-10							9,34E-10

Emissioner	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	SUMMA
------------	-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------



<i>Till luft</i>										
Cd	g			1,08E-13						1,08E-13
CFC/HCFC	g			1,29E-11						1,29E-11
CHO, Aldehyder	g			2,21E-11						2,21E-11
CH4, Metan	g			1,10E-03						1,10E-03
Cl2	g			1,29E-12						1,29E-12
Cl, organiskt	g			1,34E-11						1,34E-11
CO	g	1,61E-05	1,26E-05	2,46E-05	2,75E-04	6,04E-06	2,45E-05	3,00E-05		3,89E-04
CO2	g	1,32E-01	5,80E-03	1,59E-01	9,50E-02	4,83E-03	2,62E-02	3,14E-02		4,54E-01
CS2	g			1,76E-15						1,76E-15
Cu (process)	g			3,47E-15						3,47E-15
DCE	g			1,19E-11						1,19E-11
F2	g			2,93E-13						2,93E-13
HC- kolväten	g	1,82E-08	3,46E-06	1,13E-04	8,75E-05	5,33E-06	2,34E-05	2,77E-05		2,60E-04
HC- aromatiska kolväten	g			6,52E-09						6,52E-09
HC- polycykliska kolväten	g			2,18E-35						2,18E-35
HCl	g			6,74E-06						6,74E-06
HCN	g			1,34E-34						1,34E-34
HF	g			4,21E-07						4,21E-07
Hg, kvicksilver	g			2,07E-10						2,07E-10
H2, vätagas	g		2,03E-02	6,08E-07						2,03E-02
H2S	g			9,07E-09						9,07E-09
H2SO4	g			8,37E-15						8,37E-15
Merkapater	g			1,19E-08						1,19E-08
Metaller	g			4,50E-08						4,50E-08
NH3, Ammoniak	g			4,86E-08						4,86E-08
N2O	g			2,45E-10						2,45E-10
NOX	g	1,31E-04	3,37E-05	6,52E-04	3,13E-03	4,97E-05	2,29E-04	2,77E-04		4,50E-03
Pb	g			2,90E-12						2,90E-12

Sb (process)	g			2,59E-14							2,59E-14
SO2	g	5,25E-09	2,37E-05		1,61E-03	1,21E-06	5,45E-06	7,85E-06			1,65E-03
SOX	g			4,24E-04							4,24E-04
Stoft	g	6,56E-07	1,24E-05	2,09E-04	1,38E-04	9,59E-07	3,65E-06	4,39E-06			3,69E-04
VCM (råvara till PVC)	g			1,27E-11							1,27E-11
VOC	g			3,46E-09							3,46E-09
Zn (process)	g			5,09E-12							5,09E-12
Andra organiska föreningar	g			6,71E-10							6,71E-10

Emissioner	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	SUMMA
<i>Till mark och vatten</i>											
Al3+	g			1,55E-10							1,55E-10
AOX	g			2,12E-14						1,14E-04	1,14E-04
Arsenik	g			1,87E-14							1,87E-14
BOD	g			5,22E-08							5,22E-08
BrO3-	g			6,17E-11							6,17E-11
Ca2+	g			3,96E-08							3,96E-08
Cl-	g			1,30E-05						1,80E-01	1,80E-01
Cl2, löslig	g			1,17E-10							1,17E-10
ClO3-	g			1,87E-07							1,87E-07
CN-	g			4,00E-13							4,00E-13
CO3--	g			5,40E-08							5,40E-08
COD	g	4,84E-11		6,84E-08	1,25E-06						1,32E-06
CrO3	g			9,54E-15							9,54E-15
Cu+/Cu2+	g			5,22E-10							5,22E-10
DCE	g			6,68E-14							6,68E-14
Detergent/olja	g			8,68E-10							8,68E-10
F-	g			2,02E-11							2,02E-11
Fasta ämnen, lösliga	g			4,41E-06							4,41E-06

Fasta ämnen, suspendeade	g			7,95E-06							7,95E-06
Fe <sup>++</sup> /Fe <sup>+++</sup>	g			3,01E-10							3,01E-10
Fenol	g	2,87E-13		5,04E-08	7,50E-09						5,79E-08
Fosfat (P2O5)	g			2,48E-09							2,48E-09
H <sup>+</sup> , syra	g			9,00E-09							9,00E-09
HC, kolväten	g			6,30E-08							6,30E-08
Hg	g			2,57E-10							2,57E-10
K <sup>+</sup>	g			3,55E-07							3,55E-07
Klororganiskaföreningar	g			1,41E-09							1,41E-09
Mg <sup>++</sup>	g			4,30E-10							4,30E-10
Na <sup>+</sup>	g			1,79E-03							1,79E-03
NH <sub>4</sub>	g			5,76E-08							5,76E-08
Ni <sup>++</sup>	g			5,22E-10							5,22E-10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	g			1,08E-08							1,08E-08
Olja (aq)	g	1,94E-11			5,00E-07						5,00E-07
Organiska ämnen, lösliga	g	2,25E-04		3,44E-10							2,25E-04
Pb	g			2,54E-12							2,54E-12
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	g			4,46E-06							4,46E-06
Svavel/sulfid	g			7,52E-11							7,52E-11
TDS (total dissolved solids)	g	9,00E-04		8,42E-10							9,00E-04
TOC	g			6,75E-13							6,75E-13
TSS (total suspended solids)	g	1,82E-02		2,39E-12							1,82E-02
Tot-N	g	9,56E-12	5,47E-07		2,50E-07						7,97E-07
Tot-P	g			4,52E-09							4,52E-09
VCM	g			5,24E-09							5,24E-09
Zn <sup>++</sup>	g			9,95E-10							9,95E-10
THM										3,27E-06	3,27E-06
<b>Avfall</b>	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	SUMMA
Avfall som återförs till gruva	g			7,56E-08							7,56E-08

Blandat industriellt avfall	g			6,46E-06						6,46E-06
Byggavfall	g			2,70E-10						2,70E-10
Gruvavfall	g			7,92E-08						7,92E-08
Hushållsavfall	g	1,07E-05								1,07E-05
Icke miljöfarligt	g	2,48E-04								2,48E-04
Inert material/kemikalier	g			4,94E-05						4,94E-05
Metaller	g			5,04E-08						5,04E-08
Mineraler	g			2,58E-03						2,58E-03
Miljöfarligt	g	1,07E-05								1,07E-05
Organiskt material	g			6,57E-10						6,57E-10
Ospecifierat	g			2,45E-09						2,45E-09
Papper och kartong	g			6,37E-13						6,37E-13
Plast	g			7,58E-09						7,58E-09
Plastlådor/-container	g			4,72E-14						4,72E-14
Radioaktivitet	Bq		1,47E+02							1,47E+02
<i>Radioaktivt avfall</i>										
~ högaktivt	g		1,09E-04							1,09E-04
~ medelaktivt	m3		1,73E-11							1,73E-11
~lågaktiva	g		3,94E-08							3,94E-08
Rivningsavfall	g		4,65E-04							4,65E-04
Slag/aska	g			7,33E-04						7,33E-04
Till förbränning	g			4,01E-09						4,01E-09
Till återvinning	g			5,87E-10						5,87E-10
Träavfall	g			3,71E-10						3,71E-10
Träpellets	g			2,32E-13						2,32E-13
Övriga kemikalier	g			5,67E-07						5,67E-07
Övriga restprodukter			1,50E-01							1,50E-01

## BILAGA 8B. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED KLORGAS

All data anges per funktionell enhet

A Framställning av klorgas

B Framställning av ammoniumsulfat

C Transport av klorgas, från Skoghall till Norsborgs vattenverk

D Transport av ammoniumsulfat, från Ludwigshafet till Göteborg

E Transport av ammoniumsulfat, från Göteborg till Norsborgs vattenverk

F Emissioner av klor, THM och AOX i utgående dricksvatten

Energianvändning	Enhet	A	B	C	D	E	F	Summa
<i>Primär energi - förnybar</i>								
Vattenkraft (el)	MJ	1,06E-03	3,36E-05					1,09E-03
Biobränsle	MJ	4,39E-05	1,69E-05					6,08E-05
Sol/Vind (el)	MJ	4,50E-06	9,04E-06					1,35E-05
<i>Primär energi - icke förnybar</i>								
Kärnkraft (el)	MJ	1,05E-03	3,15E-04					1,36E-03
Olja (el)	MJ	4,64E-05	1,25E-05					5,88E-05
Kol (el)	MJ	4,59E-05	5,84E-04					6,30E-04
Naturgas (el)	MJ	2,03E-05	1,06E-04					1,26E-04
Naturgas	MJ	2,91E-04	3,09E-03					3,38E-03
Olja	MJ	1,76E-04	3,98E-06					1,80E-04
Diesel	MJ			1,12E-03	6,89E-04	9,02E-04		2,71E-03
<i>Sekundär energi</i>								
Elektricitet, svensk		2,26E-03						2,26E-03
Elektricitet, tysk	MJ		1,08E-03					1,08E-03

Naturgas	MJ	2,91E-04	3,09E-03					3,38E-03
Olja	MJ	1,76E-04	3,98E-06					1,80E-04
Diesel	MJ			1,12E-03	6,89E-04	9,02E-04		2,71E-03
<b>Resursanvändning</b>	<b>Enhet</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>Summa</b>
barytens	g		3,62E-09					3,62E-09
bauxit	g		3,60E-08					3,60E-08
bentonit	g		4,46E-09					4,46E-09
Bergssalt	g	1,42E-01						1,42E-01
CCl4	g	1,58E-06						1,58E-06
blymalm	g		5,78E-14					5,78E-14
Cr	g		5,18E-08					5,18E-08
dolomit	g		4,17E-06					4,17E-06
Fe	g		3,78E-09					3,78E-09
FeMg (ferromangane)	g		9,83E-10					9,83E-10
fluor	g		4,41E-09					4,41E-09
Freon R22 (HCFC-22)	g	5,40E-07						5,40E-07
fosfat (P2O5)	g		2,88E-35					2,88E-35
fältspat	g		1,26E-10					1,26E-10
granite	g		1,54E-08					1,54E-08
H2O2	g	2,66E-05						2,66E-05
järnmalm	g		1,54E-10					1,54E-10
kalciumsulfat (CaSO4)	g		1,41E-05					1,41E-05
kaliumklorid (KCl)	g		3,42E-29					3,42E-29
kalk (CaCO3)	g		4,78E-05					4,78E-05
kopparmalm	g		1,70E-10					1,70E-10
lera	g		8,40E-01					8,40E-01
naturgas	g		1,32E-03					1,32E-03
natriumhydroxid	g		1,69E-13					1,69E-13

Ni	g		9,64E-05				9,64E-05
N2	g		3,83E-08				3,83E-08
olivin (Mg,Fe)2SiO4	g		4,03E-07				4,03E-07
olja	g		1,45E-48				1,45E-48
ospecificerat	g		3,15E-08				3,15E-08
Pb	g		4,91E-29				4,91E-29
rutile (titandioxid)	g		2,76E-02				2,76E-02
S (bonded)	g	1,26E-03	5,53E-02				5,66E-02
salpetersyra	g		1,24E-07				1,24E-07
sand (SiO2)	g		4,37E-10				4,37E-10
uranmalm	g	7,65E-01					7,65E-01
Vatten	g		1,17E-09				1,17E-09

Emissioner	Enhet	A	B	C	D	E	F	Summa
Till luft								
Cd	g		1,35E-13					1,35E-13
CFC/HCFC	g	9,45E-10	1,62E-11					9,61E-10
CHO, Aldehyder	g		2,77E-11					2,77E-11
CH4, Metan	g		1,37E-03					1,37E-03
Cl2	g		1,62E-12					1,62E-12
Cl, organiskt	g		1,68E-11					1,68E-11
CO	g	1,88E-05	3,08E-05	3,10E-05	1,33E-05	1,74E-05		1,11E-04
CO2	g	2,63E-02	1,99E-01	2,28E-02	1,42E-02	1,82E-02		2,80E-01
CN	g	8,78E-12						8,78E-12
CS2	g		2,20E-15					2,20E-15
Cu (process)	g		4,34E-15					4,34E-15
DCE	g		1,49E-11					1,49E-11

F2	g		3,67E-13				3,67E-13
Halon	g	5,28E-11					5,28E-11
HC- kolväten	g	4,46E-05	1,41E-04	2,71E-05	1,27E-05	1,61E-05	2,41E-04
HC- aromatiska kolväten	g		8,15E-09				8,15E-09
HC- polycykliska kolväten	g		2,72E-35				2,72E-35
HCl	g		8,43E-06				8,43E-06
HCN	g		1,68E-34				1,68E-34
HF	g		5,27E-07				5,27E-07
Hg, kvicksilver	g		2,59E-10				2,59E-10
H2, vätgas	g	5,40E-04	7,61E-07				5,41E-04
H2S	g		1,13E-08				1,13E-08
H2SO4	g		1,05E-14				1,05E-14
Merkapater	g		1,49E-08				1,49E-08
Metaller	g		5,63E-08				5,63E-08
NH3, Ammoniak	g		6,08E-08				6,08E-08
N2O	g	3,37E-07	3,06E-10				3,37E-07
NOX	g	9,45E-05	8,14E-04	3,75E-04	1,24E-04	1,61E-04	1,57E-03
Pb	g		3,62E-12				3,62E-12
Sb	g		3,24E-14				3,24E-14
SO2	g	1,04E-05		5,17E-06	2,96E-06	4,55E-06	2,31E-05
SOX	g		5,31E-04				5,31E-04
Stoft	g	2,51E-05	2,61E-04	8,65E-06	1,98E-06	2,54E-06	3,00E-04
VCM (råvara till PVC)	g		1,58E-11				1,58E-11
VOC	g		4,32E-09				4,32E-09
Zn (process)	g		6,37E-12				6,37E-12
Andra organiska föreningar	g		8,39E-10				8,39E-10



Emissioner	Enhet	A	B	C	D	E	F	Summa
Till mark och vatten								
Al3+	g	2,03E-06	1,93E-10					2,03E-06
AOX	g	7,04E-11	2,66E-14				1,14E-01	1,14E-01
As	g	1,67E-08	2,34E-14					1,67E-08
BOD	g		6,53E-08					6,53E-08
Br	g	2,21E-09						2,21E-09
BrO3-	g		7,72E-11					7,72E-11
Ca2+	g	9,45E-07	4,95E-08					9,95E-07
Cd	g	1,74E-08						1,74E-08
Cl-	g	3,47E-03	1,63E-05				1,80E-01	1,83E-01
Cl2, löslig	g		1,46E-10					1,46E-10
ClO3-	g	2,42E-04	2,34E-07					2,42E-04
CN-	g		5,00E-13					5,00E-13
CO3--	g		6,75E-08					6,75E-08
COD	g	3,22E-07	8,55E-08					4,08E-07
Cr	g	4,37E-09						4,37E-09
CrO3	g		1,19E-14					1,19E-14
Cu+/Cu2+	g	1,10E-08	6,53E-10					1,16E-08
DCE	g		8,35E-14					8,35E-14
Detergent/olja	g		1,08E-09					1,08E-09
Dioxin, TCDD eq	g	1,06E-14						1,06E-14
F-	g		2,52E-11					2,52E-11
Fasta ämnen, lösliga	g		5,51E-06					5,51E-06
Fasta ämnen, suspenderade	g		9,94E-06					9,94E-06
Fe++/Fe+++	g	2,37E-07	3,76E-10					2,37E-07
Fenol	g	1,44E-09	6,30E-08					6,44E-08
Fosfat (P2O5)	g		3,11E-09					3,11E-09

H+, syra	g		1,13E-08				1,13E-08
HC, kolväten	g		7,88E-08				7,88E-08
Hg	g	7,65E-10	3,22E-10				1,09E-09
K+	g		4,43E-07				4,43E-07
Klororganiska föreningar	g		1,76E-09				1,76E-09
Mg++	g	1,11E-07	5,38E-10				1,12E-07
Na+	g		2,24E-03				2,24E-03
Na2SO4	g	5,58E-03					5,58E-03
NH4	g		7,20E-08				7,20E-08
Ni++	g	3,11E-09	6,53E-10				3,76E-09
NO3-	g		1,35E-08				1,35E-08
Olja (aq)	g	4,95E-07					4,95E-07
Organiska ämnen, lösliga	g	8,10E-07	4,30E-10				8,10E-07
Pb	g	3,15E-06	3,17E-12				3,15E-06
SiO2	g	5,85E-07					5,85E-07
SO4--	g		5,57E-06				5,57E-06
Sr	g	9,75E-08					9,75E-08
Svavel/sulfide	g		9,41E-11				9,41E-11
TDS (total dissolved solids)	g	6,48E-03					6,48E-03
TOC	g		1,05E-09				1,05E-09
TSS (total suspended solids)	g	2,57E-03					2,57E-03
Tot-N	g	8,01E-06					8,01E-06
Tot-P	g	6,71E-09					6,71E-09
V, vanadin grundämne	g	1,17E-06					1,17E-06
VCM	g		8,44E-13				8,44E-13
Zn++	g	1,03E-05	2,99E-12				1,03E-05
THM	g					3,27E-03	3,27E-03
Andra metaller	g	8,06E-12	5,65E-09				5,66E-09
Andra kväveföreningar	g		6,55E-09				6,55E-09

Andra organiska ämnen	g		1,24E-09					1,24E-09
-----------------------	---	--	----------	--	--	--	--	----------

Avfall	Enhet	A	B	C	D	E	F	Summa
Avfall som återförs till gruva	g		9,45E-08					9,45E-08
Blandat industriellt avfall	g		8,08E-06					8,08E-06
Byggavfall	g		3,38E-10					3,38E-10
Gruvavfall	g		9,90E-08					9,90E-08
Inert material/kemikalier	g		6,17E-05					6,17E-05
Metaller	g		6,30E-08					6,30E-08
Mineraler	g		3,23E-03					3,23E-03
Miljöfarligt	g	1,40E-06						1,40E-06
Organiskt material	g		8,21E-10					8,21E-10
Ospecifierat	g	2,61E-03	3,06E-09					2,61E-03
Papper och kartong	g		7,97E-13					7,97E-13
Plast	g		9,47E-09					9,47E-09
Plastlådor/-container	g		5,90E-14					5,90E-14
Regulated chemical	g		7,09E-07					7,09E-07
Slag/aska	g		9,17E-04					9,17E-04
Till förbränning	g		5,02E-09					5,02E-09
Till återvinning	g		7,34E-10					7,34E-10
Träavfall	g		4,64E-10					4,64E-10
Träpellets	g		2,90E-13					2,90E-13

## BILAGA 8C. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED UV-LJUS OCH MONOKLORAMIN (KOLUMN A-H)

All data anges per funktionell enhet

A Framställning av monokloramin	J Transport av ammoniumsulfat, från Ludwigshafen till Göteborg
B Elanvändning vid drift av UV-anläggning	K Transport av ammoniumsulfat, från Göteborg till Lovö vattenverk
C Tillverkning av UV-lampa, ingen återvinning	L Transport av natriumhydroxid, från Skoghall till Lovö vattenverk
D Tillverkning av UV-lampa, 50% tillgodo vid återvinning	M Emissioner av klor, THM och AOX i utgående dricksvatten
E Tillverkning av UV-lampa, 90% tillgodo vid återvinning	
F Tillverkning av UV-lampa, förbränning	Summa 1 UV-scenario 1
G UV-relaterade transporter	Summa 2 UV-scenario 2
H Transport av salt, med båt från Holland till Sverige	Summa 3 UV-scenario 3
I Transport av salt, med Värtahamnen till Lovö vattenverk	Summa 4 UV-scenario 4

Energianvändning	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Primär energi - förnybar</i>									
vattenkraft (el)	MJ	5,93E-04	6,66E-04	1,36E-05	1,33E-05	1,33E-05	1,36E-05		
biobränsle(el)	MJ	7,58E-05	1,24E-03	3,27E-06	3,24E-06	3,24E-06	3,27E-06		
vindkraft (el)	MJ	1,22E-05		4,77E-09	3,49E-09	3,49E-09	4,77E-09		
<i>Primär energi - icke förnybar</i>									
kärnkraft (el)	MJ	9,35E-04	2,02E-03	3,80E-05	3,77E-05	3,77E-05	3,80E-05		
naturgas (el)	MJ	4,31E-05	2,08E-04	4,99E-05	4,99E-05	4,98E-05	4,99E-05		
olja (el)	MJ	6,93E-04	9,95E-04	4,12E-05	4,12E-05	4,11E-05	4,12E-05		
kol (el)	MJ	1,61E-04	1,23E-	2,32E-05	2,31E-	2,31E-05	2,32E-05		

			03		05				
naturgas	MJ	5,03E-03		7,57E-08	3,78E-08	1,56E-08	7,57E-08		
olja	MJ	9,86E-05		1,84E-05	1,17E-05	8,70E-06	1,84E-05	2,35E-05	
kol	MJ			1,36E-06	6,80E-07	2,80E-07			
gasol	MJ			5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05			
diesel	MJ						5,91E-04	3,12E-07	

<i>Sekundär energi</i>									
Elektricitet, vattenfall	MJ	1,33E-03	6,36E-03						
Elektricitet, svensk medel	MJ			2,09E-06	1,38E-06	1,33E-06	2,09E-06		
Elektricitet, Norsk medel	MJ			7,90E-10	3,95E-10	1,63E-10			
Elektricitet, Fransk medel	MJ			5,13E-08	2,56E-08	1,06E-08			
Elektricitet, UCPTE	MJ			1,42E-07	7,10E-08	2,93E-08			
Elektricitet, Tysk medel	MJ	1,18E-03		1,67E-04	1,67E-04	1,67E-04			
naturgas	MJ	5,03E-03		7,57E-08	3,78E-08	1,56E-08			
Olja	MJ	9,86E-05		1,84E-05	1,17E-05	8,70E-06		2,35E-05	
Kol	MJ			1,36E-06	6,80E-07	2,80E-07			
gasol	MJ			5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05			

diesel	MJ							5,91E-04	3,12E-07
--------	----	--	--	--	--	--	--	----------	----------

Resurser	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H
aktivt kol	g						5,11E-07		
ammoniak	g	2,82E-05	1,07E-03	4,33E-06	3,67E-06	3,28E-06			
aluminiumfosfat	g			3,96E-08	3,34E-08	2,98E-08			
barytens	g	3,98E-09							
bauxit	g	6,23E-07	2,21E-05	2,14E-06	1,07E-06	4,48E-07			
bentonit	g	4,90E-09		8,98E-07	7,44E-07	6,53E-07			
Bergssalt	g	7,93E-01							
biobränsle	g	4,18E-01	6,10E-02						
biobränsle, drift av kraftverk	MJ			3,83E-04	3,35E-04	3,07E-04			
blymalm	g	7,07E-05	2,69E-03	5,39E-07	4,48E-07	3,95E-07			
borrningskemikalier	g			3,10E-07	2,57E-07	2,25E-07			
caliche	g			2,27E-05	1,13E-05	4,67E-06			
CFC-gas	g			3,42E-10	2,88E-10	2,57E-10			
Cr	g	6,36E-14							
cyklohexylamin	g			3,65E-10	3,19E-10	2,92E-10			
diverse oljor	g			1,50E-08	1,26E-08	1,12E-08			

dolomit	g	5,69E-08		9,21E-06	4,60E-06	1,90E-06			
Fe	g	4,58E-06							
FeMg (ferromanganese)	g	4,16E-09							
fluor	g	1,08E-09							
Flourvätesyra	g			2,12E-07	1,79E-07	1,59E-07			
fosfat (P2O5)	0	4,85E-09							
fältspat	g	3,17E-35		6,81E-06	3,41E-06	1,40E-06			
glasfibrer	g			1,02E-07	8,71E-08	7,86E-08			
granite	g	1,39E-10							
grus	g	1,69E-08							
H2O2	g	3,27E-05							
hydrazil	g			1,78E-08	1,52E-08	1,36E-08			
Jonbytarmassa	g			1,89E-08	1,59E-08	1,42E-08			
järnklorid	g			3,99E-08	3,38E-08	3,03E-08			
järnmalm	0	4,28E-04	1,63E-02	7,91E-06	6,55E-06	5,75E-06			
kalciumsulfat (CaSO4)	g	1,70E-10							
kaliumklorid (KCl)	g	1,56E-05							
kalk (CaCO3)	g	3,76E-29		1,55E-05	8,54E-06	4,47E-06	1,92E-05		
kalksten (CaCO3)	g	5,26E-05		3,81E-07	1,90E-07	7,84E-08			
kol	g	4,21E-07	1,60E-05						

koldioxid	σg			2,53E-08	2,13E-08	1,90E-08			
kopparmalm	σg	3,66E-03	1,39E-01	1,23E-04	7,79E-05	5,16E-05			
kvävgas	σg			6,51E-08	5,49E-08	4,89E-08			
lera	σg	1,87E-10							
luft	σg	9,24E-01							
metanol	σg			6,30E-08	5,31E-08	4,73E-08			
naturgas	σg	3,78E-07	1,44E-05	6,11E-06	3,06E-06	1,26E-06			
naturgas, drift av kraftverk	σg			1,51E-05	1,25E-05	1,10E-05			
naturgummi	σg			1,48E-09	1,27E-09	1,14E-09			
natriumklorid (NaCl)	σg	5,08E-01		6,07E-09	5,32E-09	4,87E-09			
natriumhydroxid	σg	6,16E-06	2,34E-04	3,70E-07	3,10E-07	2,74E-07	6,76E-07		
Ni	σg	1,86E-13							
N2	σg	1,06E-04							
Na2SO4	σg			2,41E-07	1,20E-07	4,95E-08			
olivin (Mg,Fe)2SiO4	σg	4,21E-08							
O2	σg	4,43E-07							
olja	σg	1,55E-06	5,88E-05	1,05E-06	5,92E-07	3,19E-07			
ospecificerat	σg	1,59E-48							
Pb	σg	3,47E-08							
pipe-line kemikalier	σg			9,55E-11	8,00E-	7,08E-11			



					11				
produktions kemikalier	σg			1,58E-08	1,31E-08	1,15E-08			
polymer	σg			6,00E-10	5,08E-10	4,55E-10			
portland soda	σg			1,08E-05	5,38E-06	2,22E-06			
rutile (titandioxid)	σg	5,40E-29							
S (bonded)	σg	3,04E-02							
S (elemental)	σg	6,08E-02							
salpetersyra	σg	3,37E-05	1,28E-03	2,84E-07	2,31E-07	2,00E-07			
saltsyra	σg			4,99E-07	4,23E-07	3,79E-07			
sand (SiO2)	σg	1,36E-07		7,53E-08	3,76E-08	1,55E-08			
skiffer	σg	4,80E-10							
smörjolja	σg			2,08E-09	1,78E-09	1,61E-09			
solvey soda	σg			1,08E-05	5,38E-06	2,22E-06			
svavelsyra	σg	2,40E-04	9,13E-03	3,26E-06	2,75E-06	2,45E-06			
syrgas	σg			2,28E-05	1,92E-05	1,71E-05			
torv	σg	2,73E-06	1,04E-04						
trinatriumfosfat	σg			2,00E-09	1,69E-09	1,51E-09			
trä (ej bränsle)	σg	1,61E-03	6,10E-02	7,19E-06	5,56E-06	4,61E-06			

uranmalm	g	1,78E-03	6,77E-02	2,43E-05	2,05E-05	1,83E-05			
Vinylkloridmonomerer	g			1,51E-09	1,29E-09	1,17E-09			
Vatten	g	3,16E+01		5,23E-04	2,62E-04	1,08E-04			
väteperoxid	0						5,08E-07		
vätgas	g			4,73E-08	3,99E-08	3,55E-08			
Zn	g	1,28E-09							
övriga gaser	g			3,88E-09	3,27E-09	2,91E-09			
övriga kemikalier	g			1,24E-07	1,05E-07	9,34E-08			

<b>Emissioner</b>	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Till luft</i>									
As	g			4,11E-10	2,06E-10	8,47E-11			
Cd	g	1,49E-13		1,27E-10	6,34E-11	2,61E-11			
CFC/HCFC	g	5,37E-10							
CHO, Aldehyder	g	3,04E-11							
CH4, Metan	g	1,51E-03		3,30E-08	1,65E-08	6,80E-09			
Cl2	g	1,78E-12							
Cl-	g	1,85E-11		2,29E-10	1,15E-10	4,72E-11			
CN	g	4,92E-12							
CO	g	6,22E-05	4,79E-04	1,41E-06	1,14E-06	1,04E-06		4,86E-05	1,37E-07

CO2 (fossil)	σg	3,19E-01	2,20E-01	3,89E-03	3,25E-03	3,03E-03	4,05E-03	4,68E-02	4,74E-05	
Cr	σg	2,42E-15		6,46E-13	3,23E-13	1,33E-13				
CS2	σg	4,78E-15								
Cu (process)	σg	1,64E-11		4,07E-09	2,04E-09	8,38E-10				
Dioxin (TCDD-ekv)	σg			2,17E-16	1,08E-16	4,47E-17				
F2	σg	4,03E-13								
Flourider	σg			6,07E-11	3,04E-11	1,25E-11				
Halon	σg	2,95E-11								
HC- kolväten	σg	2,04E-04	1,31E-04	8,55E-07	6,32E-07	5,44E-07		2,71E-09	4,37E-08	
HC- aromatiska kolväten	σg	8,96E-09								
HC- polycykliska kolväten	σg	2,99E-35								
HCl	σg	9,27E-06					9,33E-09			
HCN	σg	1,84E-34								
HF	σg	5,79E-07								
Hg, kvicksilver	σg	2,85E-10		2,39E-11	1,20E-11	4,93E-12	3,62E-11			
H2, vätgas	σg	2,09E-02								
H2S	σg	1,25E-08								
H2SO4	σg	1,15E-14								
merkaptaner	σg	1,63E-08								
metaller	σg	6,19E-08								
N2	σg			2,78E-06	2,78E-06	2,78E-06				
NH3, Ammoniak	σg	6,68E-08		1,15E-08	5,75E-09	2,37E-09				

N2O	µg	1,90E-07		2,21E-09	1,11E-09	4,55E-10			
NOX	µg	1,02E-03	1,28E-03	7,73E-06	5,54E-06	5,18E-06	7,75E-06	4,19E-04	1,56E-06
Pb	µg	3,98E-12		6,23E-09	3,11E-09	1,28E-09	2,24E-12		
Sb (process)	µg	3,56E-14							
SO2	µg	3,94E-05	9,01E-04	4,59E-06	2,94E-06	2,38E-06	4,60E-06	7,59E-05	8,05E-07
SOX	µg	5,84E-04		5,16E-09	2,58E-09	1,06E-09			
stoff	µg	3,23E-04	4,72E-04	8,41E-07	5,95E-07	5,42E-07	8,42E-07	2,71E-10	6,87E-08
vattenånga	µg			1,05E-03	1,05E-03	1,05E-03			
VCM (råvara till PVC)	µg	1,74E-11							
VOC	µg	4,75E-09							
Zn (process)	µg	7,00E-12		2,67E-09	1,34E-09				
andra organiska föreningar	µg	9,23E-10							

Emissioner	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Till mark och vatten</i>									
Al3+	µg	1,87E-06							
AOX	µg	3,94E-11							
Arsenik	µg	1,50E-08		6,66E-10	3,33E-10	1,37E-10			
Aska	µg	7,18E-08							
BOD	µg	2,05E-09							
BrO3-	µg	1,24E-06							

Ca <sup>2+</sup>	σg	1,52E-08							
Cd	σg	4,27E-03		2,99E-11	1,50E-11	6,16E-12	3,11E-11		
Cl <sup>-</sup>	σg	4,25E-03							
Cl <sub>2</sub> , löslig	σg	3,00E-04							
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	σg	5,49E-13							
CN <sup>-</sup>	σg	7,43E-08							
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	σg	3,06E-07							
COD	σg	3,89E-09		2,10E-05	1,41E-05	1,41E-05	2,10E-05		
Cr <sup>+</sup>	σg	1,29E-08							
Cu <sup>+</sup> /Cu <sup>2+</sup>	σg	9,18E-14		5,88E-10	2,94E-10	1,21E-10	6,04E-10		
DCE	σg	1,19E-09							
Detergent/olja	σg	1,31E-14							
Dioxin TCDD eq	σg	2,77E-11							
fasta ämnen, lösliga	σg	6,06E-06							
fasta ämnen, suspenderade	σg	2,88E-04							
Fe <sup>++</sup> /Fe <sup>+++</sup>	σg	2,89E-07							
Fenol	σg	7,02E-08		9,88E-12	6,62E-12	6,62E-12			3,75E-12
Fosfat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	σg	3,42E-09							
H <sup>+</sup> , syra	σg	1,24E-08							
HC, kolväten	σg	8,66E-08							
Hg	σg	1,03E-09		1,67E-11	8,33E-12	3,43E-12	1,81E-11		
HNO <sub>3</sub>	σg			3,62E-10	1,81E-10	7,46E-11			
K <sup>+</sup>	σg	4,88E-07							
klororganiska föreningar	σg	1,94E-09							

Mg <sup>++</sup>	σg	1,34E-07						
Na <sup>+</sup>	σg	6,27E-03						
NaCl	σg	7,98E-03		1,14E-09	5,68E-10	2,34E-10		
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	σg	9,40E-08						
NH <sub>4</sub>	σg	7,92E-08		1,80E-08	8,98E-09	3,70E-09		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (aq)	0			2,64E-08	1,32E-08	5,44E-09		
Ni <sup>++</sup>	σg	7,18E-10		8,33E-11	4,16E-11	1,71E-11	1,82E-10	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	σg	1,48E-08		2,02E-08	9,93E-09	4,09E-09	2,03E-08	
olja (aq)	σg	4,15E-07		1,21E-08	1,06E-10	4,38E-11	1,21E-08	2,50E-10
organiska ämnen, lösliga	σg	1,25E-04						
Pb	σg	2,85E-06		4,42E-11	2,21E-11	9,10E-12	6,29E-11	
SiO <sub>2</sub>	σg	7,44E-07						
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	σg	6,13E-06						
Sr	σg	1,22E-07						
Susp	σg			2,22E-08	1,49E-08	1,49E-08	2,22E-08	
svavel/sulfide	σg	1,03E-10						
TDS (total dissolved solids)	σg	8,37E-03						
THM	0							
TOC	σg	1,16E-09						
TSS (total suspended solids)	σg	1,01E-02						
Tot-N	σg	7,65E-06	2,08E-05	2,81E-08	2,25E-08	1,90E-08	2,81E-08	
Tot-P	σg	5,00E-09						

V	µg	1,04E-06							
VCM	µg	9,28E-13							
Zn <sup>++</sup>	µg	1,89E-07		1,72E-09	8,60E-10	3,54E-10	1,77E-09		
Andra metaller	µg	9,04E-12							
Andra kväveföreningar	µg	7,20E-09							
Andra organiska ämnen	µg	1,37E-09							

<b>Avfall</b>	Enhet	A	B	C	D	E	F	G	H
avfall som återförs till gruva	µg	1,04E-07							
aska	µg			6,27E-11	3,13E-11	1,29E-11			
Blandat industriellt avfall	µg	8,89E-06							
Byggavfall	µg	3,71E-10							
damm	µg			8,26E-08	4,13E-08	1,70E-08			
explosiva ämnen	µg			4,62E-08	2,31E-08	9,51E-09			
gruvavfall	µg	1,09E-07							
Inert material/kemikalier	µg	6,79E-05							
landfilled conc. Sand	µg			2,10E-02	1,05E-02	4,32E-03			
landfilled granit	µg			1,60E-02	7,98E-03	3,28E-03			
<i>landfilled malm</i>	µg			2,43E-03	1,22E-03	5,01E-04			
Metaller	µg	6,93E-08							
Mineraler	µg	3,55E-03							
Miljöfarligt	µg	7,52E-06							
Ospecifierat	µg	3,37E-09							

Papper och kartong	g	8,76E-13							
Plast	g	1,04E-08							
Plastlådor/-container	g	6,48E-14							
Putrescibles (komposterbart?)	g	9,03E-10							
Radioaktivitet	g	1,47E+02	5,58E+03						
Radioaktivt avfall	g								
~ högaktivt	g	1,09E-04	4,14E-03	1,49E-06	1,26E-06	1,12E-06			
~ medelaktivt	m3	1,73E-11	6,55E-10	2,35E-13	1,98E-13	1,77E-13			
~lågaktiva	g	3,94E-08	1,50E-06	5,38E-10	4,53E-10	4,04E-10			
redmud	g			1,47E-06	7,35E-07	3,02E-07			
Regulated chemical	g	7,80E-07							
Rivningsavfall	g	1,47E-03	1,77E-02						
Slag/aska	g	5,52E-09							
Till förbränning	g	8,07E-10							
Till återvinning	g	5,10E-10							
Träavfall	g	3,19E-13							
Träpellets	g			1,68E-05	1,36E-05	1,18E-05			
Övriga restprodukter	g	1,53E-01	5,71E+00	1,68E-03	1,19E-03	1,15E-03			



## BILAGA 8C. INVENTERINGSRESULTAT AV DESINFEKTION MED UV-LJUS OCH MONOKLORAMIN (KOLUMN I-M)

All data anges per funktionell enhet

A Framställning av monokloramin

B Elanvändning vid drift av UV-anläggning

C Tillverkning av UV-lampa, ingen återvinning

D Tillverkning av UV-lampa, 50% tillgodo vid återvinning

E Tillverkning av UV-lampa, 90% tillgodo vid återvinning

F Tillverkning av UV-lampa, förbränning

G UV-relaterade transporter

H Transport av salt, med båt från Holland till Sverige

I Transport av salt, med Värtahamnen till Lovö vattenverk

Energianvändning	I	J	K	L	M	SUMMA 1	SUMMA 2	SUMMA 3	SUMMA 4
<i>Primär energi - förnybar</i>									
vattenkraft (el)						1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03
biobränsle(el)						1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03
vindkraft (el)						1,22E-05	1,22E-05	1,22E-05	1,22E-05
<i>Primär energi - icke förnybar</i>									
kärnkraft (el)						2,99E-03	2,99E-03	2,99E-03	2,99E-03
naturgas (el)						3,01E-04	3,00E-04	3,00E-04	3,00E-04
olja (el)						1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03
kol (el)						1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03
naturgas						5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03
Olja						1,41E-04	1,34E-04	1,31E-04	1,31E-04
Kol						1,36E-06	6,80E-07	2,80E-07	2,80E-07
Gasol						5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05
diesel	6,65E-05	1,84E-04	2,26E-04	7,70E-05	0,00E+00	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03

<i>Sekundär energi</i>									
Elektricitet, vattenfall						7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03
Elektricitet, svensk medel						2,09E-06	1,38E-06	1,33E-06	1,33E-06
Elektricitet, Norsk medel						7,90E-10	3,95E-10	1,63E-10	1,63E-10
Elektricitet, Fransk medel						5,13E-08	2,56E-08	1,06E-08	1,06E-08
Elektricitet, UCPTE						1,42E-07	7,10E-08	2,93E-08	2,93E-08
Elektricitet, Tysk medel						1,35E-03	1,35E-03	1,35E-03	1,35E-03
naturgas						5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03
Olja						1,41E-04	1,34E-04	1,31E-04	1,31E-04
Kol						1,36E-06	6,80E-07	2,80E-07	2,80E-07
Gasol						5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05
diesel	6,65E-05	1,84E-04	2,26E-04	7,70E-05	0,00E+00	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03

<b>Resurser</b>	I	J	K	L	M	SUMMA 1	SUMMA 2	SUMMA 3	SUMMA 4
Aktivt kol									5,11E-07
ammoniak						1,10E-03	1,10E-03	1,10E-03	1,10E-03
aluminiumfosfat						3,96E-08	3,34E-08	2,98E-08	5,06E-08
barytens						3,98E-09	3,98E-09	3,98E-09	3,98E-09
bauxit						2,49E-05	2,38E-05	2,32E-05	2,70E-05
bentonit						9,03E-07	7,49E-07	6,58E-07	1,18E-06
Bergssalt						7,93E-01	7,93E-01	7,93E-01	7,93E-01
biobränsle						4,79E-01	4,79E-01	4,79E-01	4,79E-01
biobränsle, drift av kraftverk						3,83E-04	3,35E-04	3,07E-04	4,64E-04
blymalm						2,76E-03	2,76E-03	2,76E-03	2,76E-03
borrningskemikalier						3,10E-07	2,57E-07	2,25E-07	4,06E-07
caliche						2,27E-05	1,13E-05	4,67E-06	4,53E-05
CFC-gas						3,42E-10	2,88E-10	2,57E-10	4,37E-10
Cr						6,36E-14	6,36E-14	6,36E-14	6,36E-14

cyklohexylamin						3,65E-10	3,19E-10	2,92E-10	4,42E-10
diverse oljor						1,50E-08	1,26E-08	1,12E-08	1,91E-08
dolomit						9,26E-06	4,66E-06	1,95E-06	1,85E-05
Fe						4,58E-06	4,58E-06	4,58E-06	4,58E-06
FeMg (ferromanganes)						4,16E-09	4,16E-09	4,16E-09	4,16E-09
fluor						1,08E-09	1,08E-09	1,08E-09	1,08E-09
Flourvätesyra						2,12E-07	1,79E-07	1,59E-07	2,71E-07
Fosfat (P2O5)						4,85E-09	4,85E-09	4,85E-09	4,85E-09
fältspat						6,81E-06	3,41E-06	1,40E-06	1,36E-05
glasfibrer						1,02E-07	8,71E-08	7,86E-08	1,27E-07
granite						1,39E-10	1,39E-10	1,39E-10	1,39E-10
Grus						1,69E-08	1,69E-08	1,69E-08	1,69E-08
H2O2						3,27E-05	3,27E-05	3,27E-05	3,27E-05
hydrazil						1,78E-08	1,52E-08	1,36E-08	2,25E-08
Jonbytarmassa						1,89E-08	1,59E-08	1,42E-08	2,41E-08
järnklorid						3,99E-08	3,38E-08	3,03E-08	5,07E-08
järnmalm						1,67E-02	1,67E-02	1,67E-02	1,67E-02
kalciumsulfat (CaSO4)						1,70E-10	1,70E-10	1,70E-10	1,70E-10
kaliumklorid (KCl)						1,56E-05	1,56E-05	1,56E-05	1,56E-05
kalk (CaCO3)						1,55E-05	8,54E-06	4,47E-06	3,30E-05
kalksten (CaCO3)						5,30E-05	5,28E-05	5,27E-05	5,34E-05
Kol						1,64E-05	1,64E-05	1,64E-05	1,64E-05
koldioxid						2,53E-08	2,13E-08	1,90E-08	3,23E-08
kopparmalm						1,43E-01	1,43E-01	1,43E-01	1,43E-01
kvävgas						6,51E-08	5,49E-08	4,89E-08	8,33E-08
Lera						1,87E-10	1,87E-10	1,87E-10	1,87E-10
Luft						9,24E-01	9,24E-01	9,24E-01	9,24E-01
metanol						6,30E-08	5,31E-08	4,73E-08	8,05E-08
naturgas						2,08E-05	1,78E-05	1,60E-05	2,70E-05

naturgas, drift av kraftverk						1,51E-05	1,25E-05	1,10E-05	1,98E-05
naturgummi						1,48E-09	1,27E-09	1,14E-09	1,84E-09
natriumklorid (NaCl)						5,08E-01	5,08E-01	5,08E-01	5,08E-01
natriumhydroxid						2,41E-04	2,41E-04	2,40E-04	2,41E-04
Ni						1,86E-13	1,86E-13	1,86E-13	1,86E-13
N2						1,06E-04	1,06E-04	1,06E-04	1,06E-04
Na2SO4						2,41E-07	1,20E-07	4,95E-08	4,81E-07
Olivin (Mg,Fe)2SiO4						4,21E-08	4,21E-08	4,21E-08	4,21E-08
O2						4,43E-07	4,43E-07	4,43E-07	4,43E-07
Olja						6,15E-05	6,10E-05	6,07E-05	6,24E-05
ospecificerat						1,59E-48	1,59E-48	1,59E-48	1,59E-48
Pb						3,47E-08	3,47E-08	3,47E-08	3,47E-08
pipe-line kemikalier						9,55E-11	8,00E-11	7,08E-11	1,23E-10
produktions kemikalier						1,58E-08	1,31E-08	1,15E-08	2,07E-08
polymer						6,00E-10	5,08E-10	4,55E-10	7,61E-10
portland soda						1,08E-05	5,38E-06	2,22E-06	2,15E-05
Rutile (titandioxid)						5,40E-29	5,40E-29	5,40E-29	5,40E-29
S (bonded)						3,04E-02	3,04E-02	3,04E-02	3,04E-02
S (elemental)						6,08E-02	6,08E-02	6,08E-02	6,08E-02
salpetersyra						1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03
saltsyra						4,99E-07	4,23E-07	3,79E-07	6,34E-07
sand (SiO2)						2,11E-07	1,74E-07	1,52E-07	2,87E-07
skiffer						4,80E-10	4,80E-10	4,80E-10	4,80E-10
smörjolja						2,08E-09	1,78E-09	1,61E-09	2,59E-09
solvey soda						1,08E-05	5,38E-06	2,22E-06	2,15E-05
svavelsyra						9,37E-03	9,37E-03	9,37E-03	9,37E-03
syrgas						2,28E-05	1,92E-05	1,71E-05	2,91E-05
Torv						1,06E-04	1,06E-04	1,06E-04	1,06E-04
trinatriumfosfat						2,00E-09	1,69E-09	1,51E-09	2,53E-09

trä (ej bränsle)						6,26E-02	6,26E-02	6,26E-02	6,26E-02
uranmalm						6,95E-02	6,95E-02	6,95E-02	6,95E-02
Vinylkloridmonomerer						1,51E-09	1,29E-09	1,17E-09	1,88E-09
Vatten						3,16E+01	3,16E+01	3,16E+01	3,16E+01
väteperoxid									5,08E-07
vätgas						4,73E-08	3,99E-08	3,55E-08	6,05E-08
Zn						1,28E-09	1,28E-09	1,28E-09	1,28E-09
övriga gaser						3,88E-09	3,27E-09	2,91E-09	4,96E-09
övriga kemikalier						1,24E-07	1,05E-07	9,34E-08	1,59E-07

<b>Emissioner</b>	<b>I</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>SUMMA 1</b>	<b>SUMMA 2</b>	<b>SUMMA 3</b>	<b>SUMMA 4</b>
<i>Till luft</i>									
As						4,11E-10	2,06E-10	8,47E-11	8,23E-10
Cd						1,27E-10	6,35E-11	2,62E-11	2,54E-10
CFC/HCFC						5,37E-10	5,37E-10	5,37E-10	5,37E-10
CHO, Aldehyder						3,04E-11	3,04E-11	3,04E-11	3,04E-11
CH4, Metan						1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03
Cl2						1,78E-12	1,78E-12	1,78E-12	1,78E-12
Cl-						2,48E-10	1,33E-10	6,57E-11	4,77E-10
CN						4,92E-12	4,92E-12	4,92E-12	4,92E-12
CO	6,04E-06	1,28E-05	1,57E-05	7,65E-06		6,33E-04	6,33E-04	6,33E-04	6,35E-04
CO2 (fossil)	4,83E-03	1,37E-02	1,64E-02	5,62E-03		6,31E-01	6,30E-01	6,30E-01	6,38E-01
Cr						6,49E-13	3,26E-13	1,36E-13	1,30E-12
CS2						4,78E-15	4,78E-15	4,78E-15	4,78E-15
Cu (process)						4,09E-09	2,05E-09	8,55E-10	8,16E-09
Dioxin (TCDD-ekv)						2,17E-16	1,08E-16	4,47E-17	4,34E-16
F2						4,03E-13	4,03E-13	4,03E-13	4,03E-13
Flourider						6,07E-11	3,04E-11	1,25E-11	1,21E-10
Halon						2,95E-11	2,95E-11	2,95E-11	2,95E-11

HC- kolväten	5,33E-06	1,22E-05	1,45E-05	6,69E-06		3,75E-04	3,75E-04	3,75E-04	3,77E-04
HC- aromatiska kolväten						8,96E-09	8,96E-09	8,96E-09	8,96E-09
HC- polycykliska kolväten						2,99E-35	2,99E-35	2,99E-35	2,99E-35
HCl						9,27E-06	9,27E-06	9,27E-06	9,28E-06
HCN						1,84E-34	1,84E-34	1,84E-34	1,84E-34
HF						5,79E-07	5,79E-07	5,79E-07	5,79E-07
Hg, kvicksilver						3,09E-10	2,97E-10	2,90E-10	3,45E-10
H2, vätgas						2,09E-02	2,09E-02	2,09E-02	2,09E-02
H2S						1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08
H2SO4						1,15E-14	1,15E-14	1,15E-14	1,15E-14
merkaptaner						1,63E-08	1,63E-08	1,63E-08	1,63E-08
metaller						6,19E-08	6,19E-08	6,19E-08	6,19E-08
N2						2,78E-06	2,78E-06	2,78E-06	5,57E-06
NH3, Ammoniak						7,83E-08	7,26E-08	6,92E-08	8,98E-08
N2O						1,92E-07	1,91E-07	1,91E-07	1,95E-07
NOX	4,97E-05	1,20E-04	1,45E-04	9,24E-05		3,13E-03	3,13E-03	3,13E-03	3,14E-03
Pb						6,23E-09	3,12E-09	1,29E-09	6,23E-09
Sb (process)						3,56E-14	3,56E-14	3,56E-14	3,56E-14
SO2	1,21E-06	2,85E-06	4,10E-06	1,27E-06		1,03E-03	1,03E-03	1,03E-03	1,04E-03
SOX						5,84E-04	5,84E-04	5,84E-04	5,84E-04
Stoft	9,59E-07	1,91E-06	2,29E-06	2,13E-06		8,03E-04	8,03E-04	8,03E-04	8,04E-04
vattenånga						1,05E-03	1,05E-03	1,05E-03	1,05E-03
VCM (råvara till PVC)						1,74E-11	1,74E-11	1,74E-11	1,74E-11
VOC						4,75E-09	4,75E-09	4,75E-09	4,75E-09
Zn (process)						2,68E-09	1,34E-09	5,57E-10	2,68E-09
Andra organiska föreningar						9,23E-10	9,23E-10	9,23E-10	9,23E-10

<b>Emissioner</b>	I	J	K	L	M	SUMMA 1	SUMMA 2	SUMMA 3	SUMMA 4
-------------------	---	---	---	---	---	---------	---------	---------	---------

<i>Till mark och vatten</i>									
Al3+						1,87E-06	1,87E-06	1,87E-06	1,87E-06
AOX					5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05	5,50E-05
Arsenik						1,57E-08	1,53E-08	1,51E-08	1,63E-08
Aska						7,18E-08	7,18E-08	7,18E-08	7,18E-08
BOD						2,05E-09	2,05E-09	2,05E-09	2,05E-09
BrO3-						1,24E-06	1,24E-06	1,24E-06	1,24E-06
Ca2+						1,52E-08	1,52E-08	1,52E-08	1,52E-08
Cd						4,27E-03	4,27E-03	4,27E-03	4,27E-03
Cl-					1,80E-01	1,84E-01	1,84E-01	1,84E-01	1,84E-01
Cl2, löslig						3,00E-04	3,00E-04	3,00E-04	3,00E-04
ClO3-						5,49E-13	5,49E-13	5,49E-13	5,49E-13
CN-						7,43E-08	7,43E-08	7,43E-08	7,43E-08
CO3--						3,06E-07	3,06E-07	3,06E-07	3,06E-07
COD						2,10E-05	1,41E-05	1,41E-05	4,20E-05
Cr+						1,29E-08	1,29E-08	1,29E-08	1,29E-08
Cu+/Cu2+						5,88E-10	2,94E-10	1,21E-10	1,19E-09
DCE						1,19E-09	1,19E-09	1,19E-09	1,19E-09
Detergent/olja						1,31E-14	1,31E-14	1,31E-14	1,31E-14
Dioxin TCDD eq						2,77E-11	2,77E-11	2,77E-11	2,77E-11
fasta ämnen, lösliga						6,06E-06	6,06E-06	6,06E-06	6,06E-06
fasta ämnen, suspenderade						2,88E-04	2,88E-04	2,88E-04	2,88E-04
Fe++/Fe+++						2,89E-07	2,89E-07	2,89E-07	2,89E-07
Fenol						7,03E-08	7,03E-08	7,03E-08	7,03E-08
Fosfat (P2O5)						3,42E-09	3,42E-09	3,42E-09	3,42E-09
H+, syra						1,24E-08	1,24E-08	1,24E-08	1,24E-08
HC, kolväten						8,66E-08	8,66E-08	8,66E-08	8,66E-08
Hg						1,05E-09	1,04E-09	1,04E-09	1,07E-09
HNO3						3,62E-10	1,81E-10	7,46E-11	7,25E-10

K+						4,88E-07	4,88E-07	4,88E-07	4,88E-07
klororganiska föreningar						1,94E-09	1,94E-09	1,94E-09	1,94E-09
Mg <sup>++</sup>						1,34E-07	1,34E-07	1,34E-07	1,34E-07
Na+						6,27E-03	6,27E-03	6,27E-03	6,27E-03
NaCl						7,98E-03	7,98E-03	7,98E-03	7,98E-03
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						9,40E-08	9,40E-08	9,40E-08	9,40E-08
NH <sub>4</sub>						9,72E-08	8,82E-08	8,29E-08	1,15E-07
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (aq)						2,64E-08	1,32E-08	5,44E-09	5,29E-08
Ni <sup>++</sup>						8,01E-10	7,59E-10	7,35E-10	9,83E-10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						3,50E-08	2,47E-08	1,89E-08	5,53E-08
olja (aq)						4,28E-07	4,16E-07	4,16E-07	4,40E-07
organiska ämnen, lösliga						1,25E-04	1,25E-04	1,25E-04	1,25E-04
Pb						2,85E-06	2,85E-06	2,85E-06	2,85E-06
SiO <sub>2</sub>						7,44E-07	7,44E-07	7,44E-07	7,44E-07
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>						6,13E-06	6,13E-06	6,13E-06	6,13E-06
Sr						1,22E-07	1,22E-07	1,22E-07	1,22E-07
Susp						2,22E-08	1,49E-08	1,49E-08	4,45E-08
svavel/sulfide						1,03E-10	1,03E-10	1,03E-10	1,03E-10
TDS (total dissolved solids)						8,37E-03	8,37E-03	8,37E-03	8,37E-03
THM					3,27E-06	3,27E-06	3,27E-06	3,27E-06	3,27E-06
TOC						1,16E-09	1,16E-09	1,16E-09	1,16E-09
TSS (total suspended solids)						1,01E-02	1,01E-02	1,01E-02	1,01E-02
Tot-N						2,85E-05	2,84E-05	2,84E-05	2,85E-05
Tot-P						5,00E-09	5,00E-09	5,00E-09	5,00E-09
V						1,04E-06	1,04E-06	1,04E-06	1,04E-06
VCM						9,28E-13	9,28E-13	9,28E-13	9,28E-13
Zn <sup>++</sup>						1,90E-07	1,90E-07	1,89E-07	1,92E-07
Andra metaller						9,04E-12	9,04E-12	9,04E-12	9,04E-12
Andra kväveföreningar						7,20E-09	7,20E-09	7,20E-09	7,20E-09



Andra organiska ämnen						1,37E-09	1,37E-09	1,37E-09	1,37E-09
-----------------------	--	--	--	--	--	----------	----------	----------	----------

Avfall	I	J	K	L	M	SUMMA 1	SUMMA 2	SUMMA 3	SUMMA 4
Avfall som återförs till gruva						1,04E-07	1,04E-07	1,04E-07	1,04E-07
Aska						6,27E-11	3,13E-11	1,29E-11	1,25E-10
Blandat industriellt avfall						8,89E-06	8,89E-06	8,89E-06	8,89E-06
Byggavfall						3,71E-10	3,71E-10	3,71E-10	3,71E-10
Damm						8,26E-08	4,13E-08	1,70E-08	1,65E-07
explosiva ämnen						4,62E-08	2,31E-08	9,51E-09	9,23E-08
gruvavfall						1,09E-07	1,09E-07	1,09E-07	1,09E-07
Inert material/kemikalier						6,79E-05	6,79E-05	6,79E-05	6,79E-05
landfilled conc. Sand						2,10E-02	1,05E-02	4,32E-03	4,20E-02
landfilled granit						1,60E-02	7,98E-03	3,28E-03	3,19E-02
landfilled malm						2,43E-03	1,22E-03	5,01E-04	4,87E-03
Metaller						6,93E-08	6,93E-08	6,93E-08	6,93E-08
Mineraler						3,55E-03	3,55E-03	3,55E-03	3,55E-03
Miljöfarligt						7,52E-06	7,52E-06	7,52E-06	7,52E-06
Ospecifierat						3,37E-09	3,37E-09	3,37E-09	3,37E-09
Papper och kartong						8,76E-13	8,76E-13	8,76E-13	8,76E-13
Plast						1,04E-08	1,04E-08	1,04E-08	1,04E-08
Plastlådor/-container						6,48E-14	6,48E-14	6,48E-14	6,48E-14
Putrescibles (komposterbart?)						9,03E-10	9,03E-10	9,03E-10	9,03E-10
Radioaktivitet						5,72E+03	5,72E+03	5,72E+03	5,72E+03
Radioaktivt avfall									
~ högaktivt						4,25E-03	4,25E-03	4,25E-03	4,25E-03
~ medelaktivt						6,73E-10	6,73E-10	6,73E-10	6,73E-10
~lågaktiva						1,54E-06	1,54E-06	1,54E-06	1,54E-06
redmud						1,47E-06	7,35E-07	3,02E-07	2,94E-06
Regulated chemical						7,80E-07	7,80E-07	7,80E-07	7,80E-07

Rivningsavfall						1,91E-02	1,91E-02	1,91E-02	1,91E-02
Slag/aska						5,52E-09	5,52E-09	5,52E-09	5,52E-09
Till förbränning						8,07E-10	8,07E-10	8,07E-10	8,07E-10
Till återvinning						5,10E-10	5,10E-10	5,10E-10	5,10E-10
Träavfall						3,19E-13	3,19E-13	3,19E-13	3,19E-13
Träpellets						1,68E-05	1,36E-05	1,18E-05	3,35E-05
Övriga restprodukter						5,86E+00	5,86E+00	5,86E+00	5,87E+00

## BILAGA 8D. FRAMSTÄLLNING AV KEMIKALIER

Anges som framställning av 1 kg av respektive kemikalie

Energi	Enhet	Natriumklorid	Klorgas *	Natriumhydroxid *	Ammoniumsulfat
El, svensk genomsnitt	MJ		5,03E+00	1,04E+01	
Elektricitet, tysk genomsnitt	MJ				4,78E+00
Naturgas	MJ	2,09E+00	6,46E-01	2,93E+00	1,37E+01
Olja	MJ	4,30E-02	3,92E-01	6,07E-01	1,77E-02

Resurser	Enhet	Natriumklorid	Klorgas *	Natriumhydroxid *	Ammoniumsulfat
Barytens	g				1,61E-02
Bauxit	g				1,60E-01
Bentonit	g				1,98E-02
Bergssalt	g	1,02E+03	3,15E+02	1,40E+03	
CCl4 (g)	g		3,50E-03		
Cr	g				2,57E-07
Dolomit	g				2,30E-01
Fe	g				1,85E+01
FeMg	g				1,68E-02
Fluor	g				4,37E-03
Fosfat (P2O5)	g				1,96E-02
Freon R22 (HCFC-22)	g		1,20E-03		
Fältspat	g				1,28E-28
Granite	g				5,62E-04
Grus	g				6,83E-02
H2O2	g		5,91E-02	2,95E-01	
Järnmalm	g				
Kalciumsulfat (CaSO4)	g				6,85E-04
Kaliumklorid (KCl)	g				6,29E+01

Kalk (CaCO <sub>3</sub> )	g				2,13E+02
Lera	g				7,55E-04
Luft	g				3,73E+06
Natriumklorid (NaCl)	g				5,86E+03
Ni	g				7,51E-07
N <sub>2</sub>	g				4,28E+02
Olivin (Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	g				1,70E-01
O <sub>2</sub>	g				1,79E+00
Olja	g				6,43E-42
Ospecificerat	g				1,40E-01
Processvatten (avhärdat)	g		1,70E+03	3,00E+03	
Rutile (titandioxid)	g				2,18E-22
S (bundet)	g		2,80E+00		1,23E+05
S (elementärt)	g				2,46E+05
Sand (SiO <sub>2</sub> )	g				5,50E-01
Skiffer	g				1,94E-03
Svavelsyra	g	3,60E+03			
Zn	g			5,10E+03	5,19E-03

<b>Emissioner till luft</b>	<b>Enhet</b>	<b>Natriumklorid</b>	<b>Klorgas *</b>	<b>Natriumhydroxid *</b>	<b>Ammoniumsulfat</b>
Cd	g				6,01E-07
CFC/HCFC	g		2,10E-06	4,68E-06	7,19E-05
CHO, Aldehyder	g				1,23E-04
CH <sub>4</sub> , Metan	g				6,11E+03
Cl <sub>2</sub>	g				7,18E-06
Cl, organiskt	g				7,46E-05
CN	g		1,95E-08	4,43E-08	
CO	g	1,43E-05	4,18E-02	1,41E-01	1,37E+02
CO <sub>2</sub>	g	1,17E+02	5,85E+01	1,99E+02	8,83E+05

CS2	g				9,76E-09
Cu	g				1,93E-08
DCE	g				6,62E-05
F2	g				1,63E-06
Halon	g		1,17E-07	2,66E-07	6,26E+02
HC- kolväten	g	1,62E-05	9,92E-02	4,15E-01	3,62E-02
HC- aromatiska kolväten	g				1,21E-28
HC- polycykliska kolväten	g				3,75E+01
HCl	g				7,45E-28
HCN	g				2,34E+00
HF	g				1,15E-03
H2	g		1,20E+00	5,90E+00	3,38E+00
H2S	g				5,04E-02
H2SO4	g				4,65E-08
Merkaptaner	g				6,60E-02
Metaller	g				2,50E-01
NH3, Ammoniak	g				2,70E-01
N2O	g		7,48E-04	1,71E-03	1,36E-03
NOX	g	1,16E-01	2,10E-01	1,41E-01	3,62E+03
Organiska föreningar	g				3,73E-03
Pb	g				1,61E-05
Sb	g				1,44E-07
SO2	g	4,67E-06	2,31E-02	1,41E-01	2,36E+03
SOX	g				1,16E+03
Stoft	g	5,83E-04	5,57E-02	2,06E-01	7,03E-05
VCM (råvara till PVC)	g				1,92E-02
VOC	g				2,83E-05

<b>Emissioner till mark och vatten</b>	<b>Enhet</b>	<b>Natriumklorid</b>	<b>Klorgas *</b>	<b>Natriumhydroxid *</b>	<b>Ammoniumsulfat</b>
Al	g		4,50E-03	1,68E-02	8,59E-04
AOX	g		1,56E-07	3,54E-07	1,18E-07
As	g		3,72E-05	1,35E-04	1,04E-07
BOD	g				2,90E-01
Br	g		4,90E-06	1,77E-05	
BrO3-	g				3,43E-04
Ca	g		2,10E-03	1,07E-02	2,20E-01
Cd	g		3,86E-05	1,37E-04	
Cl	g		7,70E+00	3,83E+01	7,23E+01
Cl2	g				6,48E-04
ClO3-	g		5,38E-01	2,70E+00	1,04E+00
CN-	g				2,22E-06
CO3--	g				3,00E-01
COD	g	4,30E-08	7,16E-04	1,91E-03	3,80E-01
Cr	g		9,70E-06	3,50E-05	
CrO3	g				5,30E-08
Cu+/Cu2+	g		2,44E-05	1,10E-04	2,90E-03
DCE	g				3,71E-07
Detergent/olja	g				4,82E-03
Dioxin TCDD eq	g		2,36E-11	1,18E-10	
F-	g				1,12E-04
Fasta ämnen, lösliga	g				2,45E+01
Fasta ämnen, suspenderade	g				4,42E+01
Fe++/Fe+++	g		5,26E-04	2,60E-03	1,67E-03
Fenol	g	2,55E-10	3,20E-06	8,50E-06	2,80E-01
Fosfat (P2O5)	g				1,38E-02
H+, syra	g				5,00E-02
HC, kolväten	g				3,50E-01
Hg	g		1,70E-06	6,11E-06	1,43E-03

K+	g				1,97E+00
Klororganiska föreningar	g				7,83E-03
Mg++	g		2,48E-04	1,20E-03	2,39E-03
Na+	g		6,90E-06	3,43E+01	9,96E+03
NaCl	g			7,19E+01	
Na2SO4	g		1,24E+01	8,47E-04	
NH4	g				3,20E-01
Ni++	g				2,90E-03
NO3-	g				5,98E-02
Olja (aq)	g	1,72E-08	1,10E-03	3,74E-03	
Organiska ämnen, lösliga	g	2,00E-01	1,80E-03	1,50E-03	1,91E-03
Pb	g		7,00E-03	2,57E-02	1,41E-05
SiO2	g		1,30E-03	6,70E-03	
SO4--	g				2,48E+01
Sr	g		2,17E-04	1,10E-03	
Svavel/Sulfide	g				4,18E-04
TDS (total dissolved solids)	g	8,00E-01	1,44E+01	7,09E+01	
TOC	g				4,68E-03
TSS (total suspended solids)	g	1,62E+01	5,70E+00	2,50E+00	
Tot-N	g	8,50E-09	1,78E-02	6,40E-02	
Tot-P	g		1,49E-05	4,50E-05	
Tungmetaller ospecificerat	g		1,79E-08	8,14E-08	
V	g		2,60E-03	9,40E-03	
VCM	g				3,75E-06
Zn++	g		2,29E-02	1,70E-03	1,33E-05
Andra metaller	g				2,51E-02
Andra kväveföreningar	g				2,91E-02
Andra organiska ämnen	g				5,53E-03

<b>Avfall</b>	<b>Enhet</b>	<b>Natriumklorid</b>	<b>Klorgas *</b>	<b>Natriumhydroxid *</b>	<b>Ammoniumsulfat</b>
Avfall som återförs till gruva	g				4,20E-01
Blandat industriellt avfall	g				3,59E+01
Construction	g				1,50E-03
Gruvavfall	g				4,40E-01
Hushållsavfall	g	9,55E-03			
Icke miljöfarligt	g	2,20E-01			
Inert material/kemikalier	g				2,74E+02
Metaller	g				2,80E-01
Mineraler	g				1,44E+04
Miljöfarligt	g	9,55E-03	3,10E-03	1,40E-02	
Ospecifierat	g		5,80E+00	2,21E+01	1,36E-02
Papper och kartong	g				3,54E-06
Plast	g				4,21E-02
Plastlådor/-container	g				2,62E-07
Putrescibles (komposterbart?)	g				3,65E-03
Regulated chemical	g				3,15E+00
Slag/aska	g				4,07E+03
Till förbränning	g				2,23E-02
Till återvinning	g				3,26E-03
Träavfall	g				2,06E-03
Framställning av kemikalier	g				

\* Ekonomisk allokering



### Framställning av desinfektionskemikalier

Energi	Enhet	Natriumhypoklorid <i>1 g aktivt klor</i>	Monokloramin <i>1 m3</i>
Elektricitet, vattenfall	MJ	0,02	0,003 <i>1</i>

Resurser	Enhet	Natriumhypoklorid	Monokloramin
Natriumklorid (g aktivt klor)	g	2,5	2
Natriumhypoklorit (g aktivt klor)	g		1498 3
Vatten	g	150	759000

Emissioner till luft	Enhet	Natriumhypoklorid	Monokloramin
Vätgas	g	0,10	

(1) Anges som MJ/ g aktivt klor

(2) Natriumhydroxid tillsätts i löst form med koncentrationen 7 g Cl<sub>2</sub>/liter.

(3) Ammoniumsulfat tillsätts i löst form med koncentrationen 55 g/liter.

Dessutom tillsätts natriumhydroxid för pH-justering (0,05 ml NaOH /m<sup>3</sup> renvatten)

## BILAGA 9A. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT – ENERGIANVÄNDNING (ANGES I KJ/FU)

Energi	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
<i>Primär energi - förnybar</i>						
vattenkraft (el)	1,09E+00	4,44E-02	1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03
biobränsle (el)	6,08E-02	4,63E-02	1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03	1,32E-03
sol/vind (el)	1,35E-02	0,00E+00	1,22E-05	1,22E-05	1,22E-05	1,22E-05
<i>Primär energi - icke förnybar</i>						
kärnkraft (el)	1,36E+00	3,05E-01	2,99E-03	2,99E-03	2,99E-03	2,99E-03
olja (el)	5,88E-02	3,62E-02	3,01E-04	3,00E-04	3,00E-04	3,00E-04
kol (el)	6,30E-01	4,99E-01	1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03
naturgas (el)	1,26E-01	9,01E-02	1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03	1,42E-03
Naturgas	3,38E+00	4,82E+00	5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03	5,03E-03
Olja	1,80E-01	6,77E-01	1,41E-04	1,34E-04	1,31E-04	1,31E-04
Kol			1,36E-06	6,80E-07	2,80E-07	2,80E-07
Gasol		3,75E-04	5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05
Diesel	2,71E+00	8,52E-01	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03	1,14E-03
Energi	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
<i>Sekundär energi</i>						
Elektricitet, Vattenfall AB		1,68E-01	7,69E+00	7,69E+00	7,69E+00	7,69E+00
Elektricitet, Svensk medel	2,26E+00		2,09E-03	1,38E-03	1,33E-03	
Elektricitet, vattenfall			7,90E-07	3,95E-07	1,63E-07	1,63E-07
Elektricitet, svensk medel			5,13E-05	2,56E-05	1,06E-05	1,06E-05
Elektricitet, Norsk medel			1,42E-04	7,10E-05	2,93E-05	2,93E-05
Elektricitet, Fransk medel	1,08E+00	8,61E-01	1,35E+00	1,35E+00	1,35E+00	1,35E+00
Naturgas	3,38E+00	4,82E+00	5,03E+00	5,03E+00	5,03E+00	5,03E+00
Olja	1,80E-01	6,77E-01	1,41E-01	1,34E-01	1,31E-01	1,31E-01
Kol			1,36E-03	6,80E-04	2,80E-04	2,80E-04
Gasol		3,75E-04	5,10E-02	5,10E-02	5,10E-02	5,10E-02
Diesel	2,71E+00	8,52E-01	1,14E+00	1,14E+00	1,14E+00	1,14E+00

## BILAGA 9B. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT - MILJÖPÅVERKAN

Växthuseffekt      Anges i g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter / FU

Emission	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
CO <sub>2</sub>	2,80E-01	4,54E-01	6,31E-01	6,30E-01	6,30E-01	6,34E-01
CO	3,34E-04	1,17E-03	1,90E-03	1,90E-03	1,90E-03	1,90E-03
CH <sub>4</sub>	3,57E-02	2,86E-02	3,93E-02	3,93E-02	3,93E-02	3,93E-02
HC	2,66E-03	2,86E-03	4,13E-03	4,13E-03	4,13E-03	4,13E-03
N <sub>2</sub> O	9,10E-05	6,61E-08	5,19E-05	5,16E-05	5,14E-05	5,19E-05
NO <sub>x</sub>	1,10E-02	3,15E-02	2,19E-02	2,19E-02	2,19E-02	2,19E-02
<i>Summa</i>	<i>3,30E-01</i>	<i>5,18E-01</i>	<i>6,98E-01</i>	<i>6,98E-01</i>	<i>6,98E-01</i>	<i>7,01E-01</i>

Försurning      Anges i mmol H<sup>+</sup>-ekvivalenter/ FU

Emission	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
HCl	2,28E-04	1,82E-04	2,50E-04	2,50E-04	2,50E-04	2,51E-04
NH <sub>3</sub>	3,58E-06	2,87E-06	4,62E-06	4,28E-06	4,08E-06	4,62E-06
NO <sub>x</sub>	3,45E-02	9,89E-02	6,89E-02	6,88E-02	6,88E-02	6,89E-02
SO <sub>2</sub>	7,15E-04	5,12E-02	3,20E-02	3,19E-02	3,19E-02	3,20E-02
SO <sub>x</sub>	1,64E-02	1,32E-02	1,81E-02	1,81E-02	1,81E-02	1,81E-02
<i>Summa</i>	<i>5,19E-02</i>	<i>1,63E-01</i>	<i>1,19E-01</i>	<i>1,19E-01</i>	<i>1,19E-01</i>	<i>1,19E-01</i>

Eutrofiering                    Anges i g O2 ekvivalenter /FU

Emission	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
<i>Till luft</i>						
NH3	9,72E-04	7,78E-04	1,25E-03	1,16E-03	1,11E-03	1,25E-03
NOX	9,41E+00	2,70E+01	1,88E+01	1,88E+01	1,88E+01	1,88E+01
<i>Till vatten</i>						
COD	4,08E-04	1,32E-03	2,10E-02	1,41E-02	1,41E-02	2,10E-02
NO3-	1,08E-03	8,64E-04	1,54E-04	1,09E-04	8,31E-05	1,54E-04
Tot-N	5,92E-05	4,74E-05	5,69E-01	5,69E-01	5,69E-01	5,69E-01
Tot-P	1,60E-01	6,33E-04	6,99E-04	6,99E-04	6,99E-04	6,99E-04
<i>Summa</i>	<i>9,41E+00</i>	<i>2,70E+01</i>	<i>1,94E+01</i>	<i>1,94E+01</i>	<i>1,94E+01</i>	<i>1,94E+01</i>

## BILAGA 9C. KARAKTÄRISERINGSRESULTAT - HUMANTOXISKA EFFEKTER

USES-LCA	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
<i>Anges i kg 1,4dichlorobenzene/ FU</i>						
Emissioner till luft	4,59E-01	4,95E-01	7,14E-01	7,13E-01	7,13E-01	7,14E-01
Emissioner till mark & vatten	9,17E+00	9,53E+00	4,40E+00	4,40E+00	4,40E+00	4,40E+00
<hr/>						
EDIP	Klorgas	Hypoklorit	UV scenario 1	UV scenario 2	UV scenario 3	UV scenario 4
<i>Anges i m3 luft / FU</i>						
Emissioner till luft, toxitet via;						
<i>luft</i>	2,41E+00	2,60E+00	3,75E+00	3,75E+00	3,75E+00	3,76E+00
<i>vatten</i>	5,84E-07	6,21E-07	8,98E-07	8,96E-07	8,95E-07	9,00E-07
<i>mark</i>	3,38E-06	3,64E-06	5,25E-06	5,25E-06	5,25E-06	5,26E-06
Emissioner till vatten, toxitet via;						
<i>luft</i>	6,32E+00	8,44E+00	7,54E+00	7,54E+00	7,54E+00	7,54E+00
<i>vatten</i>	8,90E-03	2,25E+00	1,25E+00	1,25E+00	1,25E+00	1,25E+00
<i>mark</i>	8,10E-03	2,25E+00	1,25E+00	1,25E+00	1,25E+00	1,25E+00
Emissioner till mark, toxitet via;						
<i>luft</i>	6,31E+00	6,19E+00	6,29E+00	6,29E+00	6,29E+00	6,29E+00
<i>vatten</i>	1,77E-07	8,61E-08	1,37E-07	1,36E-07	1,36E-07	1,38E-07
<i>mark</i>	7,66E-06	5,01E-07	5,53E-03	5,53E-03	5,53E-03	5,53E-03

## TIDIGARE PUBLIKATIONER

### Biometri och teknik

#### *Examensarbeten*

04:01 Niclas Ericsson. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.

### Biometri och informatik

#### *Institutionsrapporter*

- 81 Olsson, U. & Sikk, J. Fourth Nordic-Baltic Agrometrics Conference, Uppsala, Sweden, June 15-17, 2003. Conference proceedings.
- 80 Edlund, T. Pluripolar Completeness of Graphs and Pseudocontinuation. Licentiatavhandling.
- 79 Nilsson, K. Macrolide antibiotics – mode of action and resistance mechanisms. Licentiatavhandling.
- 78 Sahlin, U. Analysis of forest field data with a spatial approach. Examensarbete.
- 77 Seeger, P. Nested t by 2 Row-Column-Designs suitable for bridge competitions.
- 76 Wörman, A. Low-Velocity Flows in Constructed Wetlands: Physico-Mathematical Model and Computer Codes in Matlab-Environment.
- 75 Huber, K.T., Moulton, V. & Steel, M. Four characters suffice to convexly define a phylogenetic tree.
- 74 Ekbohm, G. Induktion, biometri, vetenskap.
- 73 Huber, K.T., Moulton, V. & Semple, C. Replacing cliques by stars in quasi-median graphs.
- 72 Huber, K.T. Recovering trees from well-separated multi-state characters.
- 71 Holland, B.R., Huber, K.T., Dress, A. & Moulton, V.  $\delta$ -plots: A tool for analyzing phylogenetic distance data.
- 70 Huber, K.T., Koolen, J.H. & Moulton, V. The Tight Span of an Antipodal Metric Space: Part II – Geometrical Properties.
- 69 Huber, K.T., Langton, M., Penny, D., Moulton, V. & Hendy, Michael. Spectronet: A package for computing spectra and median networks.
- 68 Åsenblad, N. Multivariate Linear Normal Models for the Analysis of Cross-Over Designs. Filosofie Licentiatavhandling i biometri med inriktning mot matematisk statistik.

### Lantbruksteknik

#### *Institutionsrapporter*

- 248 2002 Lundh, J-E., Huisman, M. En jämförande studie av några maskinella och motormanuella röjningsmetoder utmed järnväg – uppföljning av skottutveckling efter röjning samt utvärdering av selektiv röjning.

- 249 2002 Ljungberg, D Gebresenbet, G Eriksson, H SAMTRA - samordning av godstransporter: Undersökning av möjligheter och hinder för samordnad varudistribution i centrala Uppsala.
- 250 2002 Larsolle, A., Wretblad, P. & Westberg, C. A comparison of biological effect and spray liquid distribution and deposition for different spray application techniques in different crops.
- 251 2003 Tidåker, P. Life Cycle Assessment of Grain Production Using Source-Separated Human Urine and Mineral Fertiliser.
- 252 2003 Perez Porras, J., Gebresenbet, G. Biogas development in developing countries.
- 253 2003 Wikner, I. Environmental conditions in typical cattle transport vehicles in Scandinavia.
- 254 2003 Sundberg, C. Food waste composting – effects of heat, acids and size.
- 255 2003 Nilsson, D. Harvesting and handling of flax for the production of short fibres under Swedish conditions. A literature review.

### *Institutionsmeddelanden*

- 02:01 Fredriksson, H. Storskalig sommarskörd av vass - energiåtgång, kostnader och flöden av växtnäring för system med skörd och efterföljande behandling.
- 02:02 Björklund, A. Latrin och matavfall i kretslopp i Stockholms skärgård.
- 02:03 Jannes, S. Hantering av slaggvatten på högdalenverket – ett helhetsgrepp på hanteringen av förorenade vattenströmmar till och från slaggvattensystemet.
- 02:04 Flodman, M. Emissioner av metan, lustgas och ammoniak vid lagring av avvattnat rötslam.
- 02:05 Andersson, A. & Jensen, A. Flöden och sammansättning på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers.
- 02:06 Hammar, M. Organiskt avfall för biogas produktion i Götene, Lidköping, Skara och Vara kommuner
- 02:07 Nilsson, D. Småskalig uppvärmning med biobränslen. Kurskompendium.
- 03:01 Sjöberg, C. Lokalt omhändertagande av restprodukter från enskilda avlopp i Oxundaåns avrinningsområde.
- 03:02 Nilsson, D. Production and use of flax and hemp fibres. A report from study tours to some European countries.
- 03:03 Rogstrand, G. Beneficial Management for Composting of Poultry Litter and Yard-Trimming- Environmental Impacts, Compost Product Quality and Food Safety.
- 03:04 Lundborg, M. Inverkan av hastighet och vägförhållande på bränsleförbrukning vid körning med traktor.
- 03:05 Ahlgren, S. Environmental impact of chemical and mechanical weed control in agriculture. A comparing study.

Denna meddelandeserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller, examensarbeten samt övriga uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by the Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. It contains master thesis as well as other reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the department.

---

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000

---