

# Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 15 1994

## Livscyklusomkostninger for produkter

**Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen  
Nr. 15 1994**

**Livscyklusomkostninger  
for produkter**

**Konklusionsrapport**

Morten Als Pedersen og Asger Hundkjær Jensen,  
Danmarks Tekniske Højskole.  
Instituttet for Produktudvikling  
Henrik Kærgaard og Lisbet Seedorf,  
COWiconsult A/S

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

<b>Indhold</b>		<b>Side</b>
Forord	.....	5
Sammendrag	.....	7
1	Indledning	9
	1.1 Baggrund	9
	1.2 Formål	9
	1.3 Omfang	9
	1.4 Referencer til kapitel 1	11
2	Erfaringer med opgørelse af LCO	12
	2.1 NOVOslam	13
	2.2 S-tog	39
	2.3 TV-apparat	65
	2.4 Højtryksrensere	80
3	Diskussion og konklusion	93
	3.1 Planlægning og afgrænsning	93
	3.2 Inventering	94
	3.3 Klassificering	96
	3.4 Konvertering	97
	3.5 Opgørelse	98
	3.6 Anvendelsesmuligheder	98
	3.7 Retningslinier for opgørelse af LCO	99
	3.8 Referencer til kapitel 3	101
English summary	.....	103



# Forord

"Rådet for genanvendelse og mindre forurenende teknologi" har bevilget midler til et hovedprojekt med titlen: "Livscyklusomkostninger for produkter".

Denne rapport er en afrapportering af et af delprojekterne under hovedprojektet.

Projektet er udført som et samarbejdsprojekt mellem COWIconsult og Institutet for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Højskole.

Projektet har i hele projektperioden været fulgt af en styregruppe med følgende sammensætning (pt):

Søren Kristoffersen (formand) og Jørgen Skov, Miljøstyrelsen

Per Lunde Jensen, Direktoratet for Arbejdstilsynet

Elly Kjems Hove, Dansk Industri

Ib Maltesen, Landsorganisationen i Danmark

Susanne Møller, Dansk Teknologisk Institut

Lene Christensen, Novo Nordisk

Mette Lis Andersen og Ulrik Winge, DSB

Peter Bach, Energistyrelsen

Leo Alting, Jørgen Jørgensen og Morten Als Pedersen, Institutet for Produktudvikling, DTH

Henrik Kærgaard og Lisbet Seedorff, COWIconsult

Der skal her rettes en tak til styringsgruppens medlemmer for godt samarbejde, råd og vejledning.

Desuden en tak til Anders Brinck Larsen fra Novo Nordisk, Ulrik Winge DSB, Flemming Møller Pedersen, Rikke Nedermark mfl. B&O og Anton Sørensen, KEW.

December 1993



# Sammendrag

Denne rapport beskriver de erfaringer, som blev indsamlet under afprøvningen af en tidligere udviklet metode og manual til opgørelse af livscyklusomkostninger (LCO) for produkter.

LCO-konceptet indeholder 2 traditionelt adskilte sæt af økonomiske systemer, som gennem den omtalte metode søges kombineret/sammenstillet, med det formål at forbedre det grundlag hvorpå beslutninger, som har konsekvenser i begge de økonomiske domæner, træffes.

## *Domæne 1: Aktøromkostninger*

Denne del af LCO dækker de reelt oplevede eller potentielle omkostninger for de personer/virksomheder, som har direkte relationer til det betragtede produkts livscyklus. Denne gruppe personer/virksomheder, her kaldet aktører, indeholder f.eks. råmaterialeproducenter, udvikler, producenter, distributører, brugere, reparatører, bortskaffere. Herudover inkluderes i gruppen af aktører personer/virksomheder, som har indirekte relationer. Det er f.eks. den som driver rensningsanlægget, som mod betaling modtager spildevand fra f.eks. producenten.

## *Domæne 2: Eksternalitetsomkostninger*

Denne del af LCO dækker de omkostninger eller tab, som påføres andre end aktører, dvs. f.eks. omkringboende (naboer til virksomheden), forskellige kasser hos det offentlige (kommune, amt, stat), alle enkeltpersoner, kommende generationer, etc.

Det må på baggrund af de 4 caseopgørelser konkluderes, at der tilbagestår en stor afklarende arbejdsopgave, inden de 2 sæt af økonomiske domæner kan integreres fuldt ud. Man kan med rette stille spørgsmålstegn ved, hvorvidt en sådan total-integration nogensinde bliver mulig - endsige ønskeligt.

Dette betyder dog ikke, at grænsefladen mellem de 2 systemer er uinteressant, førend denne afklaring er foretaget - tværtimod. I en række tilfælde vil det allerede i dag være muligt at identificere omkostningselementer blandt eksternalitetsomkostninger, som er interessante i en beslutningssituation, eftersom det må forventes, at de indenfor en overskuelig fremtid bliver "internaliseret", f.eks. gennem afgifter.

Herudover må det konkluderes, at der vil være et stort potentiale i at ændre den nuværende praksis hos virksomhederne mht. at opgøre egne miljøomkostninger i virksomhederne. Traditionelt håndteres de omkostningselementer, som betragtes i dette projekt, som passive - dvs. ikke som en direkte konsekvens af det som udløser omkostningen. Det må forventes, at alene en synliggørelse af disse - ikke ubetydelige omkostninger - vil betyde en ændret praksis.

Der kan identificeres 2 interessante arbejdsområder, som bør opdyrkes for en fortsat opblødning af grænserne mellem de 2 domæner:

***Analyse af aktørsiden med henblik på at muliggøre inddragelsen af eksternaliteter i beslutningsgrundlaget.***

Dette indebærer, at den økonomiske praksis, der eksisterer i virksomhederne, som i denne situation er beslutningstagerne, skal gennemgås, og tilpasses til f.eks. at omfatte hele livscyklus og at opgøre egne miljøomkostninger.

***Analyse af mulighederne for prissætning af eksternaliteter på et mere aggregeret niveau.***

Et hensigtsmæssigt udgangspunkt at tage, kunne være i den branchemæssige opgørelse, der er foretaget i en parallel fase i projektet.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Mulighederne for at opgøre livscyklusomkostninger (fremover forkortet LCO) er afprøvet i et forprojekt udført i 1992 /1/.

Forprojektet viste, at det er muligt at opstille et koncept for livscyklusomkostninger, der omfatter en ensartet og systematisk opgørelse af både ressourceforbrug, miljø og arbejdsmiljø i alle faser af et produkts livscyklus.

Med baggrund i forprojektet har "Rådet for genanvendelse og mindre forurenende teknologi" bevilget midler til et hovedprojekt om LCO for produkter.

Det overordnede formål med hovedprojektet er med baggrund i konkrete LCO-opgørelser at videreudvikle og forbedre den opgørelsesmetode og de beregningsprocedurer, som blev udviklet som en del af forprojektet, og som er beskrevet i /7/.

Hovedprojektet er opdelt i en række delprojekter:

- 1 LCO for produkter - casestudier
- 2 LCO for brancher
- 3 Prissætning af eksternaliteter
- 4 Implementeringsgrundlag

I denne rapport beskrives delprojekt 1 LCO for produkter - casestudier. Heri er resultater fra de øvrige delprojekter i videst muligt omfang søgt anvendt.

## 1.2 Formål

Formålet med delprojektet er at afprøve, hvor langt det i praksis er muligt at anvende den udviklede metode til opgørelse af livscyklusomkostninger relateret til et produkt samt at anvende erfaringerne til opstilling af operationelle redskaber eller retningslinier for indsamling af data, opgørelse af LCO samt implementering af LCO-konceptet i forskellige sammenhænge i industrielle virksomheder. Dette arbejde og de erfaringer, som kan drages heraf, skal bla. danne udgangspunkt for en fokusering af den resterende del af projektet.

## 1.3 Omfang

Der blev udvalgt 4 virksomheder til deltagelse i afprøvningen. Disse blev udvalgt på baggrund af flere kriterier. Dels måtte det imødeses, at de

deltagende virksomheder ville komme til at bruge en del ressourcer på deltagelse, og der blev derfor primært sigtet på virksomheder af en vis størrelse, og virksomheder, hvorom det på forhånd måtte forventes, at de havde en egen interesse i at deltage. Videre ønskedes det at de udvalgte virksomheder repræsenterede en vis bredde mht. brancher, og endelig blev der stilet mod at dække et vist spektrum af produktkompleksitet - fra forholdsvist homogene til mere komplekse, sammensatte produkter.

Der er udarbejdet LCO opgørelser på følgende 4 udvalgte forskellige produkter:

- 1 m<sup>3</sup> organisk slam fra Novo Nordisk produktionsanlæg i Kalundborg
- DSBs nye S-tog
- et TV apparat
- en højtryksrenser til hobbybrug

For hvert produkt er der udarbejdet en intern arbejdsrapport /2/, /3/, /4/ og /5/, der nøje følger LCO-opgørelsesmetoden mht. afgrænsning, dataindsamling, klassificering, konvertering og opgørelse af LCO.

#### 1.4 Referencer til kapitel 1

- /1/ COWIconsult/IPU: Produkters Livscyklusomkostninger- Forstudie. Arbejdsrapport nr. 2, Miljøstyrelsen, 1993.
- /2/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for Novoslam, casestudie. Intern arbejdsrapport ,COWIconsult/IPU 1993.
- /3/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for DSBs nye S-tog, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU 1993.
- /4/ Pedersen, Morten Als; Jensen, Asger Hundkjær: LCO-opgørelse for B&O 28" farve TV, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /5/ Pedersen, Morten Als: LCO-opgørelse for KEW højtryksrensere, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /6/ Sørensen Michael Munk, Møtsfelt Malene: Udkast til rapport om prissætning af eksternaliteter, COWIconsult/IPU, 1993.
- /7/ COWIconsult/IPU: Produkters livscyklusomkostninger - Metodebeskrivelse og manual. Internt arbejdsrapport, 1993.

## 2 Erfaringer med opgørelse af LCO

I dette afsnit beskrives erfaringer fra hver enkelt casestudie med henblik på at synliggøre, anvendelsesmuligheder for LCO, samt for at opstille foreløbige retningslinier for gennemførelse af LCO-opgørelser. Afsnittet er inddelt efter trinene i opgørelsesmetoden. Til opgørelsesmetoden /7/ er der angivet en række hjælpeskemaer. Erfaringer omkring brugen af disse og evt. forslag til ændringer er også angivet. I kapitel 3 diskuteres de generelle konklusioner.

Formålet med disse casestudier var at vurdere, om livscyklusomkostninger (LCO) kan anvendes i praksis. Livscyklusomkostningerne (LCO) for et produkt er defineret som samtlige omkostninger der udløses - ikke nødvendigvis afholdes - gennem hele produktets livscyklus fra frembringelse af råmaterialerne til bortskaffelse af produktet efter endt brug. I opgørelsen af LCO medtages forhold vedrørende ressourceforbrug, miljø og arbejdsmiljø som i livscyklusvurderinger (LCA). Derudover forsøges disse forhold prissat samtidigt med at omkostninger til råvarer, kapitalapparat og arbejds løn opgøres.

Størstedelen af arbejdet med caseopgørelserne er udført af COWI/IPU i dialog med den pågældende virksomhed, som har forestået dataindsamlingen internt på virksomheden.

En central del af datafundamentet for en opgørelse af LCO er økonomiske forhold på virksomheden, som er behæftet med den strengeste fortrolighed, og derfor normalt ikke udleveres til eksterne parter. I dette projekt er der dog gjort en undtagelse, idet projektets parter har fået fuld adgang til alle de nødvendige tal. Det har givet et godt erfaringsgrundlag, men de pågældende tal kan naturligvis ikke offentliggøres. Denne rapport indeholder primært en beskrivelse af de opsamlede erfaringer fra det praktiske arbejde med den udviklede metode samt den udarbejdede manual. Herudover beskrives erfaringer fra samarbejdet med virksomhederne omkring etablering af det nødvendige datagrundlag.

## 2.1 NOVOSlam

### 2.1.0 Sammenfatning

Produktionen af bl.a. enzymer og insulin foregår ved hjælp af gærings- teknik. Ved oprensning af gæringsvæsken adskilles produktet og bio- massen. I livscyklusopgørelsen er det denne biomasse, kaldet slam, der vurderes. Opgørelsen tager udgangspunkt i behandling af 1 m<sup>3</sup> slam ved en årlig produceret mængde slam på 900.000 m<sup>3</sup> svarende til Novo Nordisk' produktion i 1992.

Udgangspunktet i denne opgørelse er procesorienteret. Der er lavet en opgørelse over de samlede livscyklusomkostninger ved to forskellige meto- der til slambehandling:

- Stabilisering og anvendelse af slam som gødning (alternativ I)
- Stabilisering, afvanding og forbrænding af slam (alternativ II)

Som opsummering gives her i skema 2.0.1 og 2.0.2 en oversigt over livs- cyklusomkostningerne for de metoder til behandling af slam.

Umiddelbart viser opgørelserne klart, at alternativ I er økonomisk fordel- agtig både hvad angår aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Opgørelserne kan dog ikke anvendes uden at vurdere betydningen af fra- valg og sammenlignelighed af de to opgørelser.

I opgørelserne indgår der ikke arealforbrug samt støj- og lugtgener ved nogen af de vurderede processer. Derudover indgår der ikke ressource- forbrug, miljø og arbejdsmiljø ved fremstilling og vedligeholdelse af maskiner. Hvorvidt disse afgrænsninger har en betydning eller ej er ikke undersøgt nøjere. Ud fra en umiddelbar vurdering synes dette dog ikke at være tilfældet.

Skema 2.0.1 Oversigt over kvantificerbare omkostninger ved alternativ I: Stabilisering og anvendelse af slam som gødning.

Fase	Aktøromkost- ninger	Eksternalitets- omkostninger	Samlede om- kostninger
Udvinding af råmaterialer	.		
Fremstilling af hjælpestoffer	4,50	3,4 - 3,8	7,9 - 8,3
Slambehandling	11,50	0,39 - 0,48	11,9 - 12,0
Transport	32,50	0,3 - 4,7	32,8 - 37,2
Bortskaffelse	- 7,50	0,01	- 7,5
I alt	41,00	4,1 - 9,0	45 - 50

Skema 2.0.2 Oversigt over kvantificerbare omkostninger ved alternativ II: Stabilisering, afvanding og afbrænding af slam.

Fase	Aktøromkostninger	Eksternalitetsomkostninger	Samlede omkostninger
Udvinding af råmaterialer			
Fremstilling af hjælpestoffer	6,40	3,4 - 3,8	9,8 - 10,2
Slambehandling	57	22,8 - 111	80 - 168
Transport	0,8	0 - 0,1	0,8 - 0,9
Bortskaffelse	13	0,3	13,3
I alt	77	26,5 - 115	104 - 192

### Afgrænsning

I LCO opgørelsen for alternativ I ses der endvidere bort fra de ressource-, miljø- og arbejdsmiljømæssige eksternaliteter, der er undgået ved reduceret produktion og brug af handelsgødning som en følge af udspreddning af NOVOslam. Dette betyder, at der reelt er færre eksternalitetsomkostninger for NOVOslam end angivet i skema 2.0.1.

I LCO opgørelsen for alternativ II ses der bort fra forhold vedrørende ressourcer, miljø og arbejdsmiljø forbundet med fremstilling og anvendelse af kemikalier ved spildevandsrensning. Dette betyder, at eksternalitetsomkostningerne ved alternativ II reelt kan være endnu større end angivet i skema 2.0.2.

### Prissætning

I opgørelserne er vist to typer af omkostninger aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Aktøromkostninger er sammenlignelige idet, der er anvendt samme afskrivningsmetoder og alle omkostninger er relateret til 1 m<sup>3</sup> slam.

Eksternalitetsomkostningerne er stort set sammenlignelige forstået på den måde, at det næsten er de samme effekter, der er prissat. Ved alternativ II er miljøeffekterne (eutrofiering, iltvind m.m) ved udledning af rensat spildevand ikke opgjort. Prissætning af konkrete arbejdsulykker ved udspreddning af slam (alternativ I) er foretaget ved at opgøre omkostninger ved sygefravær (løn). Bortset fra prissætningen af disse to eksternaliteter er de øvrige eksternaliteter sammenlignelige, hvad angår prissætningen.

Det har ikke været muligt at prissætte ressourceforbrug. Den væsentligste forskel i ressourceforbrug for de to alternativer er, at der regenereres en del vand ved udspreddning af slam på marker. Denne ressourcegevinst er ikke værdisat.

For nogle af eksternaliteterne er der angivet et prisinterval, der afspejler usikkerhed ved prissætningen. Eksternalitetsomkostningerne er udtryk for nogle grove bud på omkostninger ved miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger. Der er derfor en større usikkerhed på eksternalitetsomkostninger i forhold til aktøromkostninger. Dette skal derfor tages med i betragtningerne, når opgørelsesskemaerne læses.

## Konklusion

Baseret på ovenstående kommentarer til opgørelserne i skema 0.1 og 0.2 må det konkluderes, at alternativ I er økonomisk fordelagtig både, hvad angår aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Det kan ikke afgøres, hvor præcise de angivne eksternalitetsomkostninger er.

### 2.1.1 Planlægning og afgrænsning

Formen på denne livscyklusopgørelse følger princippet SETACs metode til livscyklusvurdering /10/. Dette princip bygger på faserne "inventory, classification og valuation". I denne opgørelse er "valuation" kaldet konvertering. Her gøres et forsøg på prissætning af ressource-, miljø- og arbejdsmiljøforhold.

Livscyklusopgørelsen er opdelt i følgende fem afsnit:

- Planlægning og afgrænsning, her planlægges arbejdet og produktets livscyklus afgrænses mht. processer og typer af miljøpåvirkninger, der skal indgå i opgørelsen.
- Inventering, indeholder opgørelser over fysiske størrelser for ressourceforbrug, miljø- og arbejdsmiljøbelastning samt aktøromkostninger. Dette afsnit kan læses som et dokumentationsafsnit.
- Klassificering, her samles fysiske størrelser sammenlignelige grupper.
- Konvertering, her prissættes ressource, miljø og arbejdsmiljøforhold.
- Opgørelse, her opsummeres aktør- og eksternalitetsomkostninger. Opgørelsen valideres primært mht. afgrænsninger, data og prissætning af eksternaliteter.

Det er valgt at sammenligne livscyklusopgørelser for to forskellige metoder til behandling af slam. Dette er gjort for at synliggøre praktisk anvendelse af livscyklusomkostninger.

### Organisation

Arbejdet med opgørelse af livscyklusomkostninger for NOVOslam er udført i et samarbejde mellem afdelingsleder Anders Brinck Larsen og Lene Christensen fra afdelingen for miljøteknik i Novo Nordisk' fabrik i Kalundborg og COWIconsult/IPU. Novo Nordisk har bidraget med oplysninger om aktøromkostninger (dvs. Miljøteknik Novo Nordisk' egne omkostninger), forbrug af hjælpestoffer samt arbejdsulykker ved udførelse af slambehandlings- og distributionsprocesserne. Øvrige oplysninger er indsamlet, beregnet m.v. af COWIconsult/IPU.

### Formål

Formålet er at illustrere LCO anvendt i praksis samt at vise, hvor langt det er muligt at prissætte ressourceforbrug, miljø og arbejdsmiljø. Dette er illustreret ved vurdering af to alternative metoder til behandling af slam fra Novo Nordisk produktion af bl.a. enzymer og insulin.

### Produktdefinition

Produktionen af bl.a. enzymer og insulin foregår ved hjælp af gærings-teknik. Ved oprensning af gæringsvæsken adskilles produktet og bio-

massen. I livscyklusopgørelsen er det denne biomasse, kaldet slam, der vurderes. Opgørelsen tager udgangspunkt i behandling af 1 m<sup>3</sup> slam ved en årlig produceret mængde slam på 900.000 m<sup>3</sup> svarende til Novo Nordisk' produktion i 1992.

Udgangspunktet i denne opgørelse er ikke et traditionelt industriprodukt, men er derimod i højere grad procesorienteret. Der gennemføres en vurdering af de samlede (livscyklus) omkostninger ved to forskellige metoder til slambehandling:

- Stabilisering og anvendelse af slam som gødning
- Stabilisering, afvanding og forbrænding af slam

#### *Baggrund*

Afgrænsning af livscyklus:

Novo Nordisk' fabrik i Kalundborg er inddelt således, at slambehandlingen foregår i en fabrik adskilt fra selve produktionen. Slambehandlingsfabrikken har således sine egne anlæg, regnskaber, personale m.v. Den primære funktion i afdelingen er spildevandsrensning og slambehandling. Novo Nordisk har valgt at anvende stabiliseret slam som gødning i det omkring liggende landbrug. Novo Nordisk står selv for transport og udspreddning af slam.

#### *Afgrænsning*

Udgangspunktet for livscyklusvurdering af NOVOslam er miljø-, arbejdsmiljø- og ressourcebelastning ved forbrug af energi, fremstilling og anvendelse af hjælpestoffer og processer ved behandling af slam. Sammensætning af gæringsvæske, gæring og oprensning af gæringsvæske indgår således ikke i opgørelserne.

I opgørelserne indgår der ikke vurdering af ressource, miljø- og arbejdsmiljøkonsekvenser ved fremstilling og vedligeholdelse af procesudstyr. Der indgår ikke vurderinger af udvinding, oparbejdning distribution m.v. af hjælpematerialer. Ligeledes indgår der ikke forhold vedrørende støj- og lugtgener.

Anvendelse af NOVOslam som gødning medfører en reduktion i anvendelsen (og dermed produktionen) af handelsgødning. Omkostningsbesparelsen af denne reduktion af handelsgødning er opgjort og inddraget. Derimod indgår undgåede miljø-, arbejdsmiljø- og ressourcebelastninger ved reduktion af handelsgødningsproduktionen ikke i opgørelsen. Afgrænsning er illustreret i skema 2.1.1. Betydning af afgrænsninger er efterfølgende vurderet.

#### *Ressourcer*

Arealforbrug er ikke medtaget i vurderingerne. Ved arealforbrug menes den fysiske plads udførelse af processer kræver. Ved begge alternative metoder til slambehandling kræves der et vist areal. Arealforbrug vurderes dog ikke at være et væsentligt problemområde i denne sammenhæng.

Forbrug af råmaterialer og energi til fremstilling og vedligeholdelse af maskiner vurderes i denne sammenhæng som værende marginalt i forhold til de mængder af slam, der skal behandles. Dette fravalg vurderes således ikke at have nogen betydning.

Skema 2.1.1 Livscyklusafgrænsning - processer til vurdering af eksternaliteter som ikke indgår i casestudiet.

Fase	Ressourcer	Miljø	Arbejds miljø
Udvinding af råmaterialer	Arealforbrug	Støj- og lugtgener Kalkudgravning Methanol og jernklorid (alt. II)	Arbejds miljø ved fremstilling af maskiner og vedligeholdelse af maskiner  Udvinding af kalk, materialer til methanol og jernklorid
Fremstilling af hjælpestoffer	Arealforbrug Materialer i gæringsvæske Kemikalier til spildevandsrensning (alternativ II) Materialer til maskiner og vedligehold af maskiner	Miljøforhold ved fremstilling af maskiner og vedligeholdelse af maskiner  Miljøforhold ved gæring og oprensning  Kemikalier til spildevandsrensning (alternativ II)	Arbejds miljø ved gæring og oprensning  Fremstilling og anvendelse af - kemikalier til spildevandsrensning (alternativ II)
Slambehandling	Arealforbrug Materialer til vedligehold af anlæg	Støj- og lugtgener	Vedligeholdelse af maskiner (inklusive rensning)
Transport	Arealforbrug	Støj	
Bortskaffelse	Undgået ressource tab ved fremstilling af gødning (alternativ I)	Undgået miljøbelastning ved fremstilling af gødning (alternativ I)	Undgået arbejds miljøbelastning ved fremstilling af gødning (alternativ I)

Materialer anvendt i gærings- og oprensningsprocesserne er ikke inddraget. Dette betyder ikke noget for sammenligningen af ressourceforbruget ved de to slambehandlingsmetoder idet denne del af slammets livscyklus er identisk.

Der er ikke foretaget vurdering af ressourceforbruget ved anvendelse af kemikalier i spildevandsrensningen (alternativ II), hvorfor dette må vurderes før valg af metode.

### Miljø

Støj- og lugtgener er ikke medtaget p.g.a. manglende kendskab til lokale forhold og fordi, det ikke har været muligt at skelne støj- og lugtgener fra fabrikkens øvrige anlæg, da tilbunds gående kildevurdering ikke har været inddraget. Typiske eksternalitetsomkostninger ved støj- og lugtgener er værdiforringelse af eksponerede ejendomme og arealer. Lugtgener på Novo Nordisk ved afvanding og afbrænding af slam vurderes umiddelbart at være større end de er ved den nuværende slambehandling. Derimod er

der lugtgener uden for Novo Nordisk' arealer ved udspreddning af slam på marker. Hvorvidt der er væsentlig forskel på lugtgener ved de to alternativer kan ikke umiddelbart vurderes. Støjforhold vurderes at være i samme størrelsesforhold ved selve slambehandlingsprocesserne. Disse forhold bør derfor afvejes før et egentligt valg af metode.

Der ses bort fra udvinding, oparbejdning og distribution af hjælpematerialer. Dette betyder, at udvinding af kalk ikke vurderes. Typiske emissioner ved denne proces er støv og støj. Miljø- og arbejdsmiljøbelastning ved processen vurderes at være marginal sammenlignet med de øvrige processer, der vurderes.

Miljøforhold ved produktion og anvendelse af hjælpepestoffer i vedligeholdelse (inklusive rensning) af procesudstyr indgår ikke i opgørelsen. Dette forhold må derfor afvejes før et egentligt valg af slambehandlingsmetode.

Miljøforhold ved fremstilling og vedligeholdelse af maskiner til slambehandling vurderes at være marginale i forhold til de behandlede mængder slam for begge de to slambehandlingsmetoder.

Der indgår ikke vurdering af miljøforhold ved gæring og oprensning. Valg af hjælpepestoffer og processer kan dog have væsentlig indvirkning på miljøeffekterne ved efterfølgende slambehandling. Miljøeffekter bør derfor vurderes ved endeligt valg af metode.

Der er ikke foretaget vurdering af miljøbelastningen ved fremstilling af kemikalier i spildevandsrensningen (alternativ II), hvorfor dette må vurderes før valg af metode.

### *Arbejdsmiljø*

Arbejdsmiljø ved fremstilling og vedligeholdelse af maskiner til slambehandling indgår ikke. Det vurderes, at denne arbejdsmiljøbelastning er marginal i forhold til de mængder hjælpepestoffer og slam der behandles. Vedligeholdelse bør dog vurderes før valg af metode.

Der indgår ikke vurdering af arbejdsmiljøforhold ved gæring og oprensning. Dette skyldes, at disse forhold ikke kan ændres, og derfor er ens for de to slambehandlingsmetoder. Valg af hjælpepestoffer og processer kan dog have indvirkning på arbejdsmiljøet ved efterfølgende slambehandling. Dette bør derfor vurderes før endeligt valg af metode.

Der er ikke foretaget vurdering af arbejdsmiljøbelastningen ved fremstilling og anvendelse af kemikalier i spildevandsrensningen (alternativ II), hvorfor dette må vurderes før valg af metode.

Det understreges, at afgrænsningen er afgørende for resultatet af LCO opgørelsen. Ved at undlade særlige forhold kan man ændre konklusionen væsentligt. Da formålet her er illustration af et koncept, er forhold vedrørende afgrænsning derfor ikke afgørende. Det er dog tilstræbt at foretage en vurdering af de to metoder til behandling af slam, der så vidt muligt er sammenlignelig.

## 2.1.2 Inventering

### Aktivitetsliste

I skema 2.1.2 er beskrevet, hvilke processer og ressourceforbrug, der indgår i LCO-opgørelsen.

Skema 2.1.2 Aktivitetsliste for LCO-opgørelse af slambehandling.

Fase	Alternativ I	Alternativ II
Udvinning af råmaterialer		
Fremstilling af hjælpestoffer	Fremstilling af kalk	Fremstilling af kalk
Slambehandling	Slamstabilisering	Slamstabilisering Afvanding Spildevandsrensning Afbrænding af slam
Transport	Transport og udspredning af slam på marker	Transport af aske
Bortskaffelse	Anvendelse af slam som gødning	Deponering af aske

### Beskrivelsesparametre

I LCO-opgørelserne indgår der udover de direkte afholdte omkostninger (aktøromkostningerne) vurderinger af omkostninger ved sideeffekter (eksternalitetsomkostningerne).

Sideeffekter i LCO-opgørelsen findes ved vurderinger af, hvorvidt der ved et givet ressourceforbrug sker en ikke bæredygtig ressourceudnyttelse og, hvorvidt der ved en given proces sker miljø- eller arbejdsmiljøbelastninger, der umiddelbart efter eller på sigt kan medføre omkostninger for tredje-mand og samfundet som helhed (eksternalitetsomkostninger). I hver af disse vurderinger er det forskellige beskrivelsesparametre, der ligger til grund for vurderingerne. I de følgende afsnit er aktøromkostninger og eksternaliteter opgjort.

### Aktøromkostninger:

Omkostninger forbundet med anskaffelse af materialer, arbejdsløn og kapital indgår i opgørelsen af aktøromkostninger. Anskaffelse af hjælpe-materialer, hjælpeudstyr og andre lignende omkostninger, der er relativt små i forhold til de øvrige omkostninger afholdt i forbindelse med processerne jvf. skema 2.1.3 og 2.1.4, indgår ikke i opgørelserne. Dog er det forsøgt at få identificeret og opgjort samtlige omkostninger ved slambe-handlingen, der er forbundet med arbejdsmiljøforanstaltninger som f.eks. sikkerhedsorganisation, personlige værnemidler og sikkerhedskurser.

#### a) Alternativ I: Anvendelse af stabiliseret slam til gødning

Der er ikke fundet oplysninger om omkostninger til udvinning af materialer (vand, kalk og fossile brændsler). Disse omkostninger er indeholdt i markedsprisen, der må formodes at dække såvel udvindings-, produktions-, distributions- og salgsomkostninger.

Oplysninger vedrørende omkostninger til materialer, energi og anlæg samt medgået arbejdstid er oplyst af Novo Nordisk. Omkostninger til produktionsanlæg består i denne opgørelse kun af afskrivninger. Forrentning er ikke medtaget, ligesom afskrivning af bygninger m.v. ikke er opgjort.

#### *Sikkerhedskurser*

Omkostninger til sikkerhedsuddannelse er vurderet ud fra følgende: Der gives på Novo Nordisk et § 9 kursus af 40 timers varighed til arbejdsleder og arbejdstager, derudover tilbydes grundkurser og opfølgingskurser i brand, førstehjælp og håndtering af trykluftbeholdere af henholdsvis 4 og 2 timers varighed. Det antages, at en sikkerhedsrepræsentant udskiftes efter 5 år, at leder og arbejdstager hver bruger 10 timer per år, at hver medarbejder i produktion og distribution kommer på et grundkursus og et opfølgingskursus hvert år og, at den gennemsnitlige timeløn for arbejdstagere og -ledere er sat til henholdsvis 150 og 300 kr. Omkostninger til § 9 kursus er sat til 3940 kr /6/ (LOs og DAs § 9 kurser a 32 timers varighed koster p.t. 3150 kr,  $3940 = 3150 \times (40/32)$ ). Der ses bort fra kursusomkostninger til mindre kurser. Med 8 ansatte i afdelingen og med ovenstående antagelser bliver omkostninger til sikkerhedskurser i alt 15375 kr.

#### *BST*

På Novo Nordisk i Kalundborg består BST af en læge ansat 10 timer ugentligt, en laborant og en fysioterapeut begge ansat fuld tid. Antages det at lønomkostninger til BST udgør 450000 kr/år og, at afdelingen for miljøteknik udgør 1 % af de ansatte på fabrikken, bliver lønomkostninger til BST 4500 kr/år. Hvis der endvidere regnes med "overhead"omkostninger svarende til lønomkostningerne, bliver de samlede omkostninger til BST 9000 kr/år, hvilket svarer til ca. 0,01 kr/m<sup>3</sup> slam.

Gødningsværdien ved anvendelse af NOVOslam er opgjort efter indhold af kvælstof, fosfor og kalium i slam sammenlignet med pris på handelsgødning. Omkostningerne (den økonomiske fordel for landmanden) er beregnet af Novo Nordisk til 7,50 kr/m<sup>3</sup> slam.

Aktøromkostningerne for denne metode til slambehandling fremgår af skema 2.1.3.

#### b) Alternativ II: Afvanding og afbrænding af slam

Processerne stabilisering og varmebehandling af slam indgår i begge metoder til behandling af slam. For de øvrige processer er omkostningerne fremkommet ved overslagsberegninger. Anlæg til afvanding, afbrænding og rensning af spildevand er således dimensioneret til lejligheden. Ved at relatere omkostninger til en årlig slammængde på 900.000 m<sup>3</sup> og beregne afskrivninger som 20 % af anlægspris er aktøromkostningerne ved alternativ II beregnet.

#### *Afvanding*

Anlæg til afvanding består af: 3 stk. dekantercentrifuger á 80 kW. Pris 6.000.000 kr. svarende til 1,3 kr/m<sup>3</sup>.

Bemanding: 1/2 tid med operatør. Pris 126.000 kr. svarende til 0,14 kr/m<sup>3</sup>  
Elforbrug: 1,25 Kwh/m<sup>3</sup> svarende til 0,41 kr/m<sup>3</sup> (ved 5000 driftstimer per år).

Dekantercentrifugerne udskiller 30 m<sup>3</sup> slam/h med tørstofindhold på 20 % og 95 m<sup>3</sup> spildevand/h med minimalt tørstofindhold.

Skema 2.1.3 Aktøromkostninger ved alternativ I: NOVOslam opgjort i kr/m<sup>3</sup> behandlet slam.

Fase	Type	Mængde	Omkostning i kr/m <sup>3</sup> slam
Udvinding af råmaterialer	Hydratkalk	8 kg	4,50
Fremstilling af hjælpematerialer			
Slambehandling	El	1,4 kWh	0,72
	Damp	41,7 Kwh	3,00
	Løn	1 formand 5 operatører 2 funktionærer	Løn i alt: 2,56
	Afskrivninger	Prod. anlæg	8,67
	Personlige værnemidler	Hjelme, handsker m.v.	0,02
	Sikkerhedsuddannelse	§9kurser, møder	0,02
	BST	Læge, laborant og fysioterapeut	0,01
Transport	Lastbil Udspreddning	Gns. 20 km	22,50
		60 m <sup>3</sup> /ha	10,00
Bortskaffelse	Gødningensværdi	0,6 kg P 1,65 kg N	-7,50

### Spildevandsanlæg

Spildevandsanlæg dimensioneret til 2500 m<sup>3</sup>/døgn og med vandmiljøhåndlingsplanens udledningskriterier (BI<sub>5</sub> < 15 mg/l, N < 8 mg/l og P < 1,5 mg/l) koster følgende per m<sup>3</sup> slam (900.000 m<sup>3</sup> per år):

Anlæg: 20.000.000 kr. svarende til 4,4 kr/m<sup>3</sup>

Kemikalier: 1.700.000 kr./år svarende til 1,9 kr/m<sup>3</sup>

Mandskab: 75.000 kr./år svarende til 0,08 kr/m<sup>3</sup>

Elforbrug: 700.000 Kwh/år svarende til 0,26 kr/m<sup>3</sup>

Der anvendes methanol som ekstern kulstofkilde og jernklorid som fældningskemikalie. Der påregnes en slamproduktion på 350 m<sup>3</sup>/ døgn. Slam fra spildevandsanlæg afbrændes sammen med afvandet slam. Kemisk slam fra fosforfældningen er ikke vurderet i forbindelse med askeproduktion ved afbrænding af slam.

Der skal endvidere betales en udledningsafgift på ca. 7 kr./m<sup>3</sup> svarende til 4,7 kr./m<sup>3</sup> slam.

### Afbrænding og deponering

Oplysninger vedrørende energiforbrug, kapacitet, pris, askemængder og bemanning ved drift af afbrændingsanlæg er oplyst af Atlas Industries /19/.

Der er valgt det største anlæg, der udbydes til slag. Kapaciteten fra dette anlæg svarer til 1/8 i forhold til den mængde slam, der skal behandles. Alle forhold ved anlægget, der indgår her, er således multipliceret med en faktor 8.

Kapacitet:	320.000 m <sup>3</sup> afvandet slam/år
Pris:	144.000.000 kr. svarende til 32 kr/m <sup>3</sup> .
Elforbrug:	12,44 Kwh/m <sup>3</sup> NOVOslam svarende til 4,1 kr/m <sup>3</sup>
Biogas:	1.000.000 Nm <sup>3</sup> (1.00 kr./Nm <sup>3</sup> ) svarende til 1,1 kr/m <sup>3</sup>
Vedligehold:	2.880.000 kr. svarende til 3,2 kr/m <sup>3</sup>
Aske:	33.600 ton/år svarende 0,04 ton/m <sup>3</sup>
Deponering:	350 kr./ton aske svarende til 13 kr/m <sup>3</sup>

Transportomkostninger kan beregnes ud fra oplysninger om transportomkostninger alternativ I (22 tonkm/22,50 kr). Alternativ II fordrer transport af 0,75 tonkm (afstand 20 km x 0,04 ton), svarende til 0,77 kr.

Aktøromkostninger for alternativ II kan ses i skema 2.1.4.

Skema 2.1.4 Aktøromkostninger ved alternativ II: Afvanding og afbrænding af slam - opgjort i kr/m<sup>3</sup> behandlet slam.

Fase	Type	Mængde	Omkostning i kr/m <sup>3</sup> slam
Udvinding af råmaterialer			
Fremstilling af hjælpepestoffer	Hydratkalk	8 kg	4,50
	Jernklorid	? kg	1,1
	Methanol	? kg	0,78
Slambehand- ling	El	6,2 Kwh	2,05
	Damp	41,7 Kwh	3,00
	Biogas	1,1 Nm <sup>3</sup>	1,1
	Løn	1 formand 5½ operatører 2 funktionærer	Løn i alt: 2,78
	Afskrivninger	Prod. anlæg	46 kr
	Vedligehold	Prod. anlæg	3,2
	Personlige værnemidler	Hjelme, handsker m.v.	0,02
	Sikkerhedsuddannelse	§ 9 kurser, møder	0,02
	BST	Læge, laborant og fysioterapeut	0,01
	Udledningsafgift	7 kr/m <sup>3</sup>	4,7
Transport	Lastbil	Gns. 20 km	0,77 kr
Bortskaffelse	Deponering	0,04 ton	13 kr

Omkostninger til BST, personlige værnemidler og sikkerhedsuddannelse er identiske med alternativ I.

## Ressourceforbrug

I det følgende er materialeforbrug opgjort.

- Vand*
- a) Alternativ I: Anvendelse af stabiliseret slam som gødning.  
Ved udspreddning af slam på marker tilføres der store mængder vand, idet slammet indeholder omkring 95 % vand (der er regnet med 1 m<sup>3</sup> vand/m<sup>3</sup> slam). Den del af slammet, der spredes i sommermånederne, altså rundt regnet halvdelen, vil næppe forøge de tilgængelige vandressourcer, idet vandet vil fordampe fra jordoverfladen eller via planterne. Af det slam, der spredes i vinterhalvåret vurderes det, at 50 % af vandet vil nedsive til grundvand og 50 % vil via afstrømning og dræn gå til overfladevand. På årsbasis kan der således regnes med en tilførsel af 0,25 m<sup>3</sup> grundvand per m<sup>3</sup> slam og 0,25 m<sup>3</sup> overfladevand per m<sup>3</sup> slam.
- Kalk*
- Til fremstilling af 8 kg hydratkalk skal udvindes mindst 11 kg kalk afhængigt af kvaliteten (beregnet støkiometrisk ud fra en forudsætning om, at 75 kg brændt kalk svarer 100 kg hydratkalk). Kalk anvendt i den kemiske industri er ofte relativt rent som f.eks. koralkalk /1/.
- Energi*
- Ved kulbaseret el-produktion regnes der med en virkningsgrad på 0,3. Damp anvendt i slambehandlingsprocessen stammer fra overskudsvarme fra el-produktionen på Asnæsværket udnyttes. Der regnes derfor ikke med noget energiforbrug til fremstilling af damp. Der anvendes 2,2 Kwh/m<sup>3</sup> ved slambehandling i form af elektricitet svarende til 7,8 MJ. Med en virkningsgrad på 0,3 skal der således anvendes 26,2 MJ termisk energi svarende til 0,89 kg kul.
- Energiforbruget ved kalkbrænding varierer afhængigt af, hvilken teknologi der anvendes. Energiforbrug ved forskellige ovne til kalkbrænding er rapporteret mellem 3560 og 8370 kJ/kg /2/. Energiforbrug i sten- ler- og glasindustri i Danmark fordeler sig på 9 % el, 34 % fast brændsel, 32 % flydende brændsel, 24 % gas og 9 % el /8/. Der er her regnet med et energiforbrug ved processen på 4500 KJ/kg brændt kalk, svarende til 3375 KJ/kg hydratkalk.
- Energiindholdet i kul (fast brændsel og elektricitet) og råolie (her regnet som gas og flydende brændsel) er henholdsvis 29,5 og 43,3 MJ/kg /5/. Forbruget af fossile brændsler til fremstilling af 8 kg hydratkalk er af ovenstående beregnet til 1,13 kg olie og 0,27 kg kul.
- Ved distribution af slam regnes der med et energiindhold i dieselolie på 47 MJ/kg. Øvrige forudsætninger ved beregning af energiforbrug ved lastbiltransport fremgår af afsnittet om ydre miljø. Energiforbrug ved udspreddning indgår ikke i opgørelsen.
- Vand*
- b) Alternativ II: Afvanding og afbrænding af slam.  
Der anvendes ikke procesvand ud over vaskevand, hvilket ikke indgår i opgørelsen. Slammet indeholder store mængder vand, hvoraf størstedelen udledes efter rensning i den sydlige del af Kattegat. Det resterende indhold af vand fordamper ved afbrænding. Der sker således ingen eller kun ubetydelig regenerering af ferskvand ved slambehandlingen.

Skema 2.1.5 Ressourceforbrug behandling af 1 m<sup>3</sup> slam: Alternativ I anvendelse af slam som gødning.

Fase i livscyklus	Råmateriale/-proces	Ressource	
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af hjælpestoffer	Hydratkalk	Kalk	11 kg
	El	Kul	0,27 kg
	Termisk energi	Råolie	1,13 kg
Slambehandling	El og damp	Kul	0,89 kg
Transport	Lastbil	Diesel	0,8 kg
Bortskaffelse	Gødning Nedsivning og afstrømning	Kvælstof	- 1,56 kg
		Fosfor	- 0,6 kg
		Grundvand	- 0,25 m <sup>3</sup>
		Overfladevand	- 0,25 m <sup>3</sup>

#### Kemikalier

Der anvendes methanol som ekstern kulstofkilde og jernklorid til fældning af fosfor ved rensning af spildevand. Der er ikke foretaget en ressourcevurdering af disse kemikalier.

#### Energi

Energiforbrug ved fremstilling af kalk er beskrevet ved alternativ I. Der anvendes elektricitet, damp og biogas ved selve slambehandling.

Der skal anvendes 6,2 Kwh elektricitet svarende til 74,4 MJ: til fremstilling af denne mængde skal der anvendes 2,5 kg kul. Energiindholdet i kul er 29,5. Der er regnet med en virkningsgrad for kulbaseret el-produktion på 0,3.

Biogas produceres ved anaerob fermentering af organisk stof og erstatter gas og olie som termisk energikilde. Energiindholdet i 1 Nm<sup>3</sup> biogas (regnet som methan) er ca. 36 MJ.

#### Ydre miljø

Fysiske påvirkninger af miljøet, der forekommer i forbindelse med NO-VOslams livscyklus jvf. skema 2.1.2, er gennemgået og påvirkninger og emissioner, der vurderes at kunne medføre sideeffekter (eksternaliteter), er udvalgt m.h.p. en kvantitativ opgørelse.

#### Luftforurening

##### a) Alternativ I: Anvendelse af stabiliseret slam som gødning

Energiforbrug og relaterede emissioner ved fremstilling af råmaterialer (kalk) er beregnet ud fra følgende emissionsfaktorer: SO<sub>2</sub>: 584 mg/MJ, NO<sub>x</sub>: 200 mg/MJ, CO<sub>2</sub>: 95 g/MJ /3/.

Fremstilling af hydratkalk medfører emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og partikler ved kalkbrændingen. Det er ikke fundet kvantificerbare oplysninger om emission af SO<sub>2</sub> og partikler. Ud fra indholdet af carbonat i kalk er emission af CO<sub>2</sub> beregnet til 1,05 kg CO<sub>2</sub>/kg hydratkalk.

Der er regnet med et energiforbrug ved processen på 4500 Kj/kg brændt kalk, svarende til 3375 Kj/kg hydratkalk. Dette medfører, at de samlede emissioner (SO<sub>2</sub> og partikler undtaget) ved fremstilling af 1 kg hydratkalk er 2 g SO<sub>2</sub>, 0,7 g NO<sub>x</sub> og 1,37 kg CO<sub>2</sub>.

Skema 2.1.6 Ressourceforbrug behandling af 1 m<sup>3</sup> slam: Alternativ II  
 afvanding og afbrænding af slam.

Fase i livscyklus	Råmateriale/- proces	Ressource	
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af hjælpestoffer	Hydratkalk	Kalk	11 kg
	El (til fremstilling af kalk)	Kul	0,27 kg
	Termisk energi (til fremstilling af kalk)	Råolie	1,13 kg
		Methanol	? kg
		Jernklorid	? kg
Slambehandling	El og damp Biomasse	Kul Ikke opgjort	2,5 kg ? kg
Transport	Lastbil	Forbrug af diesel ikke opgjort	? kg
Bortskaffelse	Kontrolleret losseplads	Areal ikke opgjort	? m <sup>2</sup>

Ved slamstabiliseringen bruges der energi i form af elektricitet og damp fra Asnæsværket. Damp anvendt i slambehandlingsprocessen stammer fra overskudsvarme fra el-produktionen på Asnæsværket.

Der regnes derfor ikke med noget energiforbrug til fremstilling af damp. Ved el-produktionen regnes der med følgende emissionsfaktorer: 94 g CO<sub>2</sub>/MJ, 524 mg SO<sub>2</sub>/MJ og 468 mg NO<sub>x</sub>/MJ /3/.

Ved distribution af slam med lastbil regnes der med en gennemsnitlig transportafstand på 20 km, et energiforbrug på 1,8 MJ/tonkm samt en massefylde af slam på 1100 kg/m<sup>3</sup> svarende til 22 tonkm/m<sup>3</sup>.

Følgende emissionsfaktorer er anvendt ved lastbiltransport: 135 g CO<sub>2</sub>/tonkm, 0,16 g SO<sub>2</sub>/tonkm og 1,72 g NO<sub>x</sub>/tonkm /4/.

Slammets indhold af organisk stof vil delvist blive mineraliseret og/eller, der vil foregå en ophobning af jordens indhold af carbon (organisk såvel som uorganisk). Mineraliseringen af organisk stof medfører dannelse af CO<sub>2</sub>.

Den dannede mængde CO<sub>2</sub> vil fordele sig i gasfase og væskefase. Fordelingen afhænger bl.a. af jordvæskens pH. CO<sub>2</sub> opløst i vand vil indgå i carbonat ligevægtsystemet og afhængigt af jordvæskens pH og indhold af calcium, vil der udfældes kalk. NOVOSlams indhold af kalk bevirker, at der kan bindes større mængder CO<sub>2</sub> i jordvæsken. Hvor stor CO<sub>2</sub>emission, der sker ved udspredning af NOVOSlam kan ikke umiddelbart beregnes.

Slammets indhold af organisk stof stammer fra vegetabiliske produkter som f.eks. glukose. Mineralisering af glukose er CO<sub>2</sub> neutral og bidrager derfor ikke til drivhuseffekten. Da det må forventes, at det ikke er alt organisk stof, der mineraliseres, bidrager udspredning af NOVOSlam til reduktion af CO<sub>2</sub> emission.

## Udvaskning

I forbindelse med denne vurdering skønnes det, at slammets indhold af N, P og K erstatter handelsgødning.

Forbruget af gødning i landbruget medfører som bekendt problemer i vandmiljøet på grund af udvaskning af næringssalte. Anvendelse af NO-VOSlam i landbruget forventes ikke at ændre udvaskningen af næringssalte i forhold til anvendelse af almindelig handelsgødning. Dette skyldes, at slammets indhold af næringsstoffer erstatter forbruget af handelsgødning (N, P og K).

Skema 2.1.7 Miljøpåvirkninger ved behandling af 1 m<sup>3</sup> slam, alternativ I: Anvendelse af stabiliseret slam som gødning.

Fase	Proces	Mængde/type
Udvinding af råmaterialer		
Fremstilling af hjælpestoffer	Energiforbrug ved fremstilling af hydratkalk	2,6 kg CO <sub>2</sub> 16 g SO <sub>2</sub> 6 g NO <sub>x</sub>
	Emission ved fremstilling af hydratkalk	8,4 kg CO <sub>2</sub> ? kg SO <sub>2</sub> ? kg partikler
Slambehandling	Forbrug af El og damp ved slamstabilisering	0,47 kg CO <sub>2</sub> 2,6 g SO <sub>2</sub> 2,3 g NO <sub>x</sub>
Transport	Lastbil	3 kg CO <sub>2</sub> 3,5 g SO <sub>2</sub> 37 g NO <sub>x</sub>
Bortskaffelse	Udvaskning af næringssalte	0 kg N 0 kg P
	Mineralisering	? kg CO <sub>2</sub>

## Spildevand

b) Alternativ II: Afvanding og afbrænding af slam

Der skal renses omkring 600.000 m<sup>3</sup> spildevand per år. Med overholdelse af vandmiljøhandlingsplanens krav om indhold af BI<sub>5</sub> (15 mg/l), N (8 mg/l) og P (1,5 mg/l) er udledningen beregnet til:

BI<sub>5</sub>: 9 ton/år svarende til 10 g/m<sup>3</sup> slam

N: 4,8 ton svarende til 5 g/m<sup>3</sup> slam

P: 0,9 ton svarende til 1 g/m<sup>3</sup> slam

Omkring 300.000 m<sup>3</sup> vand fordampes ved afbrænding af slam. Der vurderes ikke at være nogen miljøbelastning herved.

## Luftforurening

Ved afbrænding af slam sker der en luftforurening med røggas og sodpartikler.

Stort set al kvælstof i slammet (ca. 1,7 kg N/m<sup>3</sup>) er på organisk form. Kvælstof vil omdannes til kvælstofoxid NO<sub>x</sub> ved forbrænding (beregnet som NO<sub>2</sub>). Ved forbrænding af slam vil der således dannes op til ca. 3,3 kg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> slam. Tilsvarende vil der dannes SO<sub>2</sub> ved afbrænding af slam. Slammet indeholder ca 0,5 kg S/m<sup>3</sup>, hvilket i værste fald svarer til en

emission af SO<sub>2</sub> på ca. 1 kg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> slam. Slammets indhold af carbon vil medfører emission af CO<sub>2</sub>. Denne emission er CO<sub>2</sub> neutral fordi det er biomasse der afbrændes.

Emission ved el-produktion og forbrug af termisk energi ved fremstilling af kalk (biogas undtaget) er beskrevet i afsnittet ovenfor.

Emissionen fra el-produktion til slambehandling er beregnet til:  
CO<sub>2</sub>: 2.1 kg/m<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub>: 10 g/m<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub>: 12 g/m<sup>3</sup>.

Ved el-produktionen er der regnet med følgende emissionsfaktorer: 94 g CO<sub>2</sub>/MJ, 524 mg SO<sub>2</sub>/MJ og 468 mg NO<sub>x</sub>/MJ /3/. Biogas er CO<sub>2</sub> neutral. Der ses bort fra emission af NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> fra afbrænding af biogas.

Ved transport af aske med lastbil regnes der med en gennemsnitlig transportafstand på 20 km, et energiforbrug på 1,8 MJ/tonkm. Der skal transporteres 37 kg aske/m<sup>3</sup> slam, hvilket svarer til 0,75 tonkm/m<sup>3</sup>. Følgende emissionsfaktorer er anvendt ved lastbiltransport: 135 g CO<sub>2</sub>/tonkm, 0,16 g SO<sub>2</sub>/tonkm og 1,72 g NO<sub>x</sub>/tonkm /4/. Derudover sker der en vis støjbelastning ved transporten. Denne er dog ikke vurderet nærmere her.

Det vurderes, at der ikke er miljøproblemer forbundet med deponering af aske. Dette begrundes med, at asken deponeres på kontrolleret losseplads og, at indholdet af tungmetaller er relativt lavt på grund af de krav der stilles til gæringsvæskens indhold af tungmetaller.

#### Arbejdsmiljø

##### a) Alternativ I: Anvendelse af stabiliseret slam som gødning

#### Kalk

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader som kan relateres til en produceret mængde kalk. I stedet er der anvendt brancherelaterede data /8/ fra sten-, ler- og glasindustrien. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 sårskader, forstuvninger og bløddelsskader, der udgjorde omkring 75 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991.

Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 høreskader, bevægeapparatlidelser og luftvejssygdomme. Disse udgjorde omkring 70 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### Produktion af el

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader som kan relateres til en produceret mængde elektricitet. I stedet er der anvendt brancherelaterede data /8/ fra energi- og vandforsyning, hvor ca. 67 % af de ansatte i 1991 var beskæftiget på elværker. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 forstuvninger, sårskader og bløddelsskader, der udgjorde omkring 75 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 høreskader, bevægeapparatlidelser og luftvejssygdomme. Disse udgjorde 78 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### Slamstabilisering

Arbejdsmiljøforholdene ved slamstabilisering vurderes generelt som gode. De ansatte er ikke under normal drift eksponeret for støj, kemikalier eller

hårdt fysisk arbejde i længere perioder /7/. Processerne er i høj grad automatiseret og operatører opholder sig i lokaler, hvor eksponering for støj og kemikalier undgås. Der arbejdes dog med risikobetonede kemikalier og processer. Ved slamstabiliseringen har der ikke været nogle ulykker i løbet af 1992, hvilket er udgangspunktet for opgørelsen. De ansatte vurderes ikke at være eksponeret for kemiske stoffer eller fysiske påvirkninger, der kan medføre kroniske skader.

Skema 2.1.8 Miljøpåvirkninger ved behandling af 1 m<sup>3</sup> slam, alternativ II: Afvanding og afbrænding af slam.

Fase	Proces	Mængde/type
Udvinding af råmaterialer		
Fremstilling af hjælpestoffer	Energiforbrug ved fremstilling af hydratkalk	2,6 kg CO <sub>2</sub> 16 g SO <sub>2</sub> 6 g NO <sub>x</sub>
	Emission ved fremstilling af hydratkalk	8,4 kg CO <sub>2</sub> ? kg SO <sub>2</sub> ? kg partikler
	Fremstilling af methanol	? kg ?
	Fremstilling af jernklorid	? kg ?
Slambehandling	Forbrug af El og damp ved slamstabilisering	2,1 kg CO <sub>2</sub> 12 g SO <sub>2</sub> 10 g NO <sub>x</sub>
	Udledning af spildevand	10 g BI <sub>5</sub> 5 g N 1 g P
	Afbrænding af slam	3,3 kg NO <sub>x</sub> 1,0 kg SO <sub>2</sub>
Transport	Lastbil	100 g CO <sub>2</sub> 0,1 g SO <sub>2</sub> 1,3 g NO <sub>x</sub>
Bortskaffelse	Deponering	0 kg

#### Transport af slam

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader som kan relateres til et givet transportarbejde. I stedet er der anvendt brancherelaterede data /8/ fra transportvirksomhed, hvor ca. 33 % af de ansatte i 1991 var beskæftiget inden for vognmandsforretninger eller anden landtransportvirksomhed. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 forstuvninger, bløddelskader og sårskader, der udgjorde omkring 80 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 bevægeapparatlidelser, høreskader og hudsygdomme. Disse udgjorde 79 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### Udspredding af slam

Ved udspreddingen af slam på marker er der i 1992 sket to uheld, hvor montører har fået slam i øjnene. Skadernes omfang var omtrent ens; et kort besøg på skadestue (skylning af øjne) med efterfølgende sygefravær på ca. en uge.

*Kalk* b) Alternativ II: Afvanding og afbrænding af stabiliseret slam.  
Som beskrevet i alternativ I.

*Produktion af el* Som beskrevet i alternativ I.

*Slamstabilisering* Som beskrevet ved transport af slam alternativ I.

Ud over slamstabilisering skal slammet afvandes og brændes. Endvidere skal der renses store mængder spildevand. Disse processer er i høj grad automatiseret, hvorfor der ikke forventes at være kemiske eller fysiske arbejdsmiljøproblemer. Der kan være dampe og støvgener forbundet med dosering af kemikalier (methanol og jernklorid). Det har ikke været muligt at opgøre omfanget af disse potentielle problemer.

*Transport af aske* Som alternativ I

*Deponering* Det har ikke været muligt at opgøre arbejdsmiljøproblemer ved deponering af aske. Branchedata kan ikke umiddelbart anvendes, idet branchen "tjenesteydelser" vurderes at være for inhomogen, således at arbejdsulykker og anmeldte lidelser ikke giver et rimeligt billede. Omfanget af arbejdsmiljøproblemer ved deponering af aske vurderes dog ikke at være særligt stort i forhold til de øvrige processer der er vurderet.

### 2.1.3 Klassificering

Klassificeringen består i at "lægge" de forskellige fysiske størrelser (resourceforbrug, miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger) sammen i et overskueligt antal grupper. Princippet for inddeling i grupper er effektkategorisering.

*Ressourcer* I dag er der ingen bred konsensus om, hvordan ressourcer operationelt kan klassificeres. Ofte tales der om inddeling af ressourcer i fornyelige versus ikke fornyelige ressourcer eller bæredygtige versus ikke bæredygtige ressourcer, men der er ingen operationelle kriterier. I denne opgørelse er der ikke foretaget nogen yderligere klassificering af ressourcer end den, der fremgår af inventeringen.

*Miljø* I livscyklussammenhænge arbejdes der på at finde så mange operationelle "klasser" af miljøpåvirkninger som muligt. Det er dog kun en relativ lille andel af de miljøbelastninger, der kendes i dag, hvor der er bred konsensus om klassificering. Dette gælder for drivhuseffekt, nedbrydning af ozonlaget, forsuring, eutrofiering, dannelse af fotooxidanter og til en vis grad gener som støj og lugt. For de mere komplekse effekter som f.eks. human sundhed og økotoxicitet er der ikke nogen klassificering, der er bredt anerkendt og samtidigt kan anvendes operationelt. Der er dog udarbejdet flere forskellige metoder til klassificering af human sundhed og økotoxicitet. Her kan bl.a. nævnes diverse former for scoringsmetoder. Disse vil ikke blive benyttet her, fordi det primære formål er økonomisk vurdering af effekterne.

I inventeringen er der opgjort en række forskellige miljøeffekter. Disse kan

klassificeres efter drivhuseffekt (CO<sub>2</sub> ækvivalenter), eutrofiering (næringsværdi i forhold til NO<sub>3</sub>, hvor et P atom regnes som 10 N atomer) og forsurening (SO<sub>2</sub> ækvivalenter) afhængigt af recipient (luft eller vand). Eksempelvis svarer 1 kg NO<sub>x</sub> til 0,7 kg SO<sub>2</sub> ækvivalenter. Et eksempel på klassificering af de kvantificerbare miljøpåvirkninger ved de to alternativer fremgår af skema 2.1.9.

## Arbejds miljø

Arbejds miljø vurderet ud fra brancheniveau er klassificeret efter arbejdstilsynets klassificering af skadekategorier.

I opgørelsen over arbejds miljøpåvirkninger ved distribution af slam indgår en skadetype: Uheld, hvor personer har fået NOVOslam i øjnene i forbindelse med udsprejning.

Skaderne var af mindre alvorligt omfang, idet de uheldsramte i begge tilfælde var raske efter kort behandling på skadestue og omkring en uges sygefravær.

Skema 2.1.9 Klassificering af miljøbelastning

Fase	Alternativ I	Alternativ II
Udvinding af råmaterialer		
Fremstilling af hjælpestoffer	11 kg CO <sub>2</sub> 20 g SO <sub>2</sub>	11 kg CO <sub>2</sub> 20 g SO <sub>2</sub>
Slambehandling	0,47 kg CO <sub>2</sub> 4 g SO <sub>2</sub>	2,1 kg CO <sub>2</sub> 3,3 kg SO <sub>2</sub> 15 g nitrat
Transport	3 kg CO <sub>2</sub> 30 g SO <sub>2</sub>	0,1 kg CO <sub>2</sub> 1 g SO <sub>2</sub>
Bortskaffelse	0 kg NO <sub>x</sub>	

### 2.1.4 Konvertering

#### Aktøromkostninger

Aktøromkostninger er opgjort i afsnit 2.1.2.

For nogle af omkostningerne sondres der ikke mellem forskellige omkostningstyper (løn, afskrivninger, råmaterialer osv.).

I dette afsnit er fordelingen af disse omkostningstyper vurderet ud fra oplysninger om fordeling af disse omkostninger på brancheniveau. Der er således gjort et forsøg på at illustrere, hvordan aktøromkostninger er fordelt i livscyklus.

Bortskaffelse i alternativ II (deponering) er ikke medtaget fordi branchen (serviceydelser) vurderes at være for inhomogen.

Endvidere er størstedelen af omkostningerne ved deponering et udtryk for afgifter, hvilket ikke indgår i statistikken.

Som det fremgår af skema 2.1.10 udgør råmaterialer 42 % af omkostningerne i sten- ler- og glasindustri.

Skema 2.1.10. Fordeling af omkostningselementer på brancheniveau

Branche	Relativ fordeling (%)	
Råstofudvinding (Udvinding af kalk)	Råmaterialer	29
	Energi	1,5
	Løn	7,5
	Restindkomst*	63
Sten- ler- og glasindustri (kalkfremstilling)	Råmaterialer	42
	Energi	6
	Løn	31
	Restindkomst*	22
Transport	Råmaterialer	42
	Energi	6
	Løn	27
	Restindkomst*	27
Kemisk industri (kunstgødning)	Råmaterialer	58
	Energi	6
	Løn	21
	Restindkomst*	19

\* Restindkomst dækker aflønning af selvstændig arbejde, kapitalapparat og afskrivning af kapitalapparat.

Dette svarer til 1,9 kr i forhold til 4,5 kr, der anvendes til køb af kalk. I alternativ II anvendes der methanol og jernklorid, produkter fra den kemiske industri, der beløber sig til 1,9 kr. I den kemiske industri udgør råmaterialer 58 %, hvilket svarer til 1,1 kr.

På baggrund af dette er aktøromkostningerne over livscyklus illustreret i skema 2.1.11.

#### Eksternalitetsomkostninger

Af de forskellige miljøforhold, som er blevet opgjort, er det ikke alle, hvor en prissætning umiddelbart er muligt. Følgende forhold er det muligt at prissætte, når man tager forbehold for at der ved alle prissætninger er ganske betydelig usikkerhed:

- Luftforurening i form af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> emissioner, hvor det er skaderne ved luftforureningen som vurderes.
- CO<sub>2</sub> emissioner. Her det en afgift på CO<sub>2</sub>, som vurderes.
- Eksternalitetsomkostninger ved transport vurderet ud fra skader og offentlige udgifter.
- Arbejdsmiljøulykker og -skader bestemt ud fra offentlige udgifter og produktionstab.

#### Ressourceforbrug

I det følgende beskrives kort, hvad de anvendte priser indeholder. Ressourceforbrug og spildevandsudledninger er ikke prissat. For forbrug af udtømmelige ressourcer gælder, at en prissætning kræver en bestemmelse af de tilgængelige reserver samt et omkostningsestimat på en alternativ teknologi. Dette er i princippet muligt, men der foreligger ikke direkte tilgængelige beregninger, hvorfor det er udeladt i denne opgørelse. For

forbrug af fornyelige ressourcer, primært vandforbrug, vurderes der ikke at være en umiddelbar mangelsituation. Det ligger uden for denne analyses rammer at gennemføre en mere langsigtet analyse. En langsigtet analyse vil bestå i, at man vurderer, om der vil opstå knaphed på grundvand i området, og hvis det er tilfældet, omkostningsvurderer forbruget af grundvand ud fra den meromkostning, som substitution til overfladevand eller transport af vand for områder med overskud.

Skema 2.1.11 Aktøromkostninger

Faser	Alt. I	Alt. II
Udvinding af råmaterialer	1,90 kr*	3,00 kr *
• materialer	0,55	0,87
• energi	0,03	0,05
• løn	0,14	0,23
• restindkomst	1,20	1,89
Fremst. af hjælpestoffer	2,40 kr	0,8 + 2,40 kr
• materialer	se ovenfor	se ovenfor
• energi	0,27	0,29
• løn	1,40	1,57
• restindkomst	0,93	1,08
Slambehandling	11,50 kr	62 kr
• materialer	se ovenfor	se ovenfor
• energi	3,72	5,05
• løn	2,56	2,78
• restindkomst	8,72	53,95 (inkl. afgift)
Transport	32,50 kr	0,77 kr
• materialer	13,65	0,32
• energi	1,30	0,03
• løn	8,78	0,21
• restindkomst	8,78	0,21
Bortskaffelse	- 7,50 kr	13,00 kr
• materialer	-4,35	Omkostninger er primært et udtryk for afgift
• energi	-0,15	
• løn	-1,58	
• restindkomst	-1,42	

#### Spildevand

For spildevandsudledningerne gælder, at de mængder, der vil blive udledt ved alternativ 2, overholder vandmiljøhandlingsplanens krav. Hvis en yderligere reduktion af næringssaltudvaskning er ønskelig vurderes en sådan at kunne opnås billigere ved reduktioner i landbrugets udledninger end ved øgede krav til kommunale og industrielle rensningsanlæg. Derfor er der ikke tillagt spildevandsudledningerne en eksternalitetsomkostning.

#### Ydre miljø

Luftforureningen i form af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> giver anledning til en lang række skader af både lokal, regional og global art. I det omkostningsvurderinger som ligger til grund for de anvendte priser er det følgende typer af skader, der er forsøgt vurderet og prissat:

- effekter på menneskers sundhed
- skader på naturen (skovdød p.g.a. forsurening og mindske landbrugsproduktion p.g.a. ozon)
- materiale skader i form af øget korrosion på bygninger og maskiner.

Omkostninger ved sundhedsskader kan fx. være vurderet ved at sammenligne sygelighed i områder med forskellig luftforureningsbelastning og heraf vurdere effekten af luftforureningen. Omkostningsvurderingerne af de ovenfor nævnte effekter fører til et samlet vurderingen af luftforurenings-skaderne. Disse fordeles ud på de enkelte emissionstyper på grundlag af en toksikologisk vurdering.  $\text{NO}_x$  er således skønnet at være ca. 25% mere skadeligt end  $\text{SO}_2$  /11/.

Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at der er en lang række forhold som ikke er med i de ovennævnte omkostningsvurderinger. Det betyder, at de anvendte priser på luftforurening er meget usikre og må betragtes som minimumsskøn.

For  $\text{CO}_2$ -emissionernes vedkommende er det ikke muligt at lave en opgørelse af skaderne ved drivhuseffekten. Det skyldes primært at der er tale om fremtidige forhold, som kun kan skønnes med meget stor usikkerhed.

Generelt anses drivhuseffekten for et så stort problem, at man kan forvente indgreb for at forebygge skader som følge af store klimaændringer. Sådanne indgreb kan fx. tænkes at have form som en afgift på  $\text{CO}_2$ -emissioner. For at give en eksempel på effekten af en afgift, for vurderingen af de to slambehandlingsmetoder, er det valgt at beregne effekten af en  $\text{CO}_2$  afgift på 300 kr pr. tons. En afgift af den størrelse skønnes på længere sigt at kunne reducere den danske  $\text{CO}_2$  emission med 25% pr. år. /11/

Transportsektoren er en af de bedst beskrevne med henblik på at opgøre branchens eksternalitetsomkostninger.

Ved vurderingen af transportydelsen anvendes en eksternalitetsomkostning pr. tonkm. som er en gennemsnitsværdi for lastbiltransportydelser. Der er således ikke taget stilling til de konkrete forhold omkring transporten af NOVOslam. Den anvendte eksternalitetspris inkluderer følgende typer af effekter: omkostninger til vejslid, ulykkes-, støj-, og luftforurenings-omkostninger. /12/.

#### *Arbejds miljø*

Til vurdering af arbejdsmiljørelaterede eksternalitetsomkostninger, vil der blive anvendt branchedata og konkrete registrerede arbejdsskader i forbindelse med slambehandling.

Branchetal dækker over to typer omkostninger ved dårligt arbejdsmiljø: offentlige sundhedsudgifter og produktionstab ved sygefravær.

Sammenfattende er forudsætningerne om de anvendte priser vist i skema 2.1.12.

#### *Arbejds miljø*

Omkostninger ved de konkrete arbejdsulykker, der er indtruffet ved udsprengning af slam gennemgås i det følgende: Det antages, at de uheldsramte personer tjener 150 kr/time, medgår der således 2 (personer) x 150 (kr/time) x 37 (time/uge) svarende til 11.100 kr i omkostninger ved sygefravær.

Det antages at Novo Nordisk afholder halvdelen af omkostningerne ved løn under sygdom, den anden halvdel betales via offentlig støtte til sygedagpenge og opgøres derfor under eksternaliteter. Dette beløb svarer til 0,006 kr/m<sup>3</sup>. Dertil skal lægges omkostninger til behandling. Disse er ikke opgjort. I det følgende antages det, at omkostninger til lægelig behandling er i samme størrelsesorden. Eksternalitetsomkostningerne beløber sig således til 0,01 kr/m<sup>3</sup> slam.

*Forudsætninger om priser*

Skema 2.1.12. Anvendte enhedspriser til bestemmelse af eksternalitetsomkostninger.

Emission/påvirkning	Grundlag for prissætning	Estimeret pris
		1993 Kr.
SO <sub>2</sub> (kg) NO <sub>2</sub> (kg)	Vurdering af skader	4,50 - 22,00 5,00 - 26,50
CO <sub>2</sub> (kg)	Afgift	0,30
Ton-kilometer for lastbiler	Vurdering af skader	0.00 - 0,20
Arbejds miljøomkostninger	Vurdering af skader	Brancherelaterede arbejds-skader følger senere

Eksternalitetsomkostninger på brancheniveau er opgjort ud fra skadesomkostninger og relateret til produktionsværdi /8/. I skema 2.1.13 er de brancherelaterede eksternalitetsomkostninger vist.

Skema 2.1.13 Eksternalitetsomkostninger (arbejds miljø) på brancheniveau fra /8/.

Branche	eksternalitetsomkostninger per 100 kr produktionsværdi
Sten- ler- og glasindustri	4,47
Transportindustri	1,32
Kemisk industri	1,18
Energi og vand	0,67
Tjeneste ydelser	1,97
Bygge- og anlæg	2,53

Ved at relatere aktøromkostninger til brancherelaterede eksternalitetsomkostninger er eksternalitetsomkostninger for arbejds miljø beregnet. Omkostninger til kalk er relateret til sten-, ler- og glasindustri, omkostninger til fældningskemikalier er relateret til kemisk industri, omkostninger til energi er relateret til energi og vand, omkostninger til transport er relateret til transportindustri, omkostninger til deponering er (i mangel af bedre branchedefinitioner) relateret til tjenesteydelser endelig er afskrivninger af produktionsanlæg relateret til bygge- og anlægsindustri.

I skema 2.1.14 og 2.1.15 er eksternaliteter for de to slambehandlingsalternativer prissat. Udgangspunktet for opgørelse af eksternaliteter er skema 2.1.7 og 2.1.8 og ikke de klassificerede miljøbelastninger jævnfør skema 2.1.9. Dette skyldes, at der er fundet estimater af omkostninger for effekter forårsaget af NO<sub>x</sub> for transport.

Skema 2.1.14 Prissætning af miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger ved slambehandling, alternativ I

Fase	Proces	Mængde/type	Omkostninger i kr.
Råmaterialer			
Hjælpestoffer	Energiforbrug ved fremstilling af hydratkalk	2,6 kg CO <sub>2</sub>	0,78
		16 g SO <sub>2</sub> 6 g NO <sub>x</sub>	0,07 - 0,35 0,03 - 0,16
	Emission ved fremstilling af hydratkalk	8,4 kg CO <sub>2</sub> Arb.skader	2,52 0,01
Slambehandling	Produktion af El og damp ved slamstabilisering	0,47 kg CO <sub>2</sub> 2,6 g SO <sub>2</sub> 2,3 g NO <sub>x</sub> Arb.skader	0,14 0,02 - 0,06 0,01 - 0,06 0,02
	Afskrivninger	Arb.skader	0,22
Transport	Lastbil	22 tonkm Arb.skader	0 - 4,40 0,30
Bortskaffelse	Gødningsanvendelse	0 kg NO <sub>3</sub> 2 ulykker	0 0,01

Skema 2.1.15 Prissætning af miljø- og arbejdsmiljøpåvirkn. ved slambehandling, alternativ II

Fase	Proces	Mængde/type	Omkostninger(kr)
Råmaterialer			
Hjælpestoffer	Energiforbrug ved fremstilling af hydratkalk	2,6 kg CO <sub>2</sub>	0,78
		16 g SO <sub>2</sub> 6 g NO <sub>x</sub>	0,07 - 0,35 0,03 - 0,16
	Emission ved fremstilling af hydratkalk	8,4 kg CO <sub>2</sub> arb.skader	2,52 0,01
	Fremstilling af methanol	? kg Arb.skader	? 0,01
	Fremstilling af jernklorid	? kg Arb.skader	? 0,01
Slambehandling	Produktion af El og damp ved slamstabilisering	2,1 kg CO <sub>2</sub> 12 g SO <sub>2</sub> 10 g NO <sub>x</sub> Arb.skader	0,63 0,05 - 0,26 0,05 - 0,26 0,04
	Udledning af spildevand	10 g BI <sub>5</sub> 5 g N 1 g P	? ? ?
	Afbrænding af slam	3,3 kg NO <sub>x</sub> 1,0 kg SO <sub>2</sub>	16,5 - 87,5 4,50 - 22,0
	Afskrivninger	Arb.skader	1,16
Transport	Lastbil	tonkm Arb.skader	0 - 0,15 0,01
Bortskaffelse	Deponering	0 kg Arb.skader	0 0,26

Eksternalitetsomkostninger for transport bygger således ikke er de tidligere anførte emissioner, men derimod beregnede tonkm jævnfør forklarende tekst i kapitel 2.1.2.2

### 2.1.5 Opgørelse

Som opsummering gives her skema 2.1.16 og 2.1.17 en oversigt over foreløbigt opgjorte aktør- og eksternalitetsomkostninger for de to slambehandlingsmetoder.

Umiddelbart viser opgørelserne klart, at alternativ I er økonomisk fordelagtig, både hvad angår aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Opgørelserne kan ikke anvendes uden at vurdere betydningen af fravalg og sammenligneligheden af de to opgørelser.

### Afgrænsning

I de to opgørelser indgår der ikke arealforbrug samt støj- og lugtgener ved nogen af de vurderede processer. Derudover indgår der ikke ressourceforbrug, miljø og arbejdsmiljø ved fremstilling og vedligeholdelse af maskiner. Hvorvidt disse afgrænsninger har en betydning eller ej er ikke undersøgt nøjere. Ud fra en umiddelbar vurdering synes dette dog ikke at være tilfældet jvf. afsnittet om afgrænsning.

Skema 2.1.16. Oversigt over kvantificerbare omkostninger ved alternativ I: Stabilisering og anvendelse af slam som gødning.

Fase	Aktøromkostninger	Eksternalitetsomkostninger	Samlede omkostninger
Udvinning af råmaterialer			
Fremstilling af hjælpestoffer	4,50	3,4 - 3,8	7,9 - 8,3
Slambehandling	11,50	0,39 - 0,48	11,9 - 12,0
Transport	32,50	0,3 - 4,7	32,8 - 37,2
Bortskaffelse	- 7,50	0,01	-7,5
I alt	41,00	4,1 - 9,0	45,1 - 50,0

Skema 2.1.17 Oversigt over kvantificerbare omkostninger ved alternativ II: Stabilisering, afvanding og afbrænding af slam.

Fase	Aktøromkostninger	Eksternalitetsomkostninger	Samlede omkostninger
Udvinning af råmaterialer			
Fremstilling af hjælpestoffer	6,40	3,4 - 3,8	9,8 - 10,2
Slambehandling	57	22,8 - 111	80 - 168
Transport	0,8	0 - 0,1	0,8 - 0,9
Bortskaffelse	13	0,3	13,3
I alt	77	26,5 - 115	104 - 192

I LCO opgørelsen for alternativ I ses der endvidere bort fra de ressource-, miljø- og arbejdsmiljømæssige eksternaliteter, der er undgået ved reduceret produktion og brug af handelsgødning som en følge af udspredding af NOVOslam. Dette betyder, at der reelt er færre eksternalitetsomkostninger for NOVOslam end angivet i skema 2.1.16.

I LCO opgørelsen for alternativ II ses der bort fra forhold vedrørende ressourcer, miljø og arbejdsmiljø forbundet med fremstilling og anvendelse af kemikalier ved spildevandsrensning. Dette betyder, at eksternalitetsomkostningerne ved alternativ II reelt kan være endnu større end angivet i skema 2.1.17.

### *Prissætning*

I opgørelserne er vist to typer af omkostninger aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Aktøromkostninger er sammenlignelige idet, der er anvendt samme afskrivningsmetoder og alle omkostninger er relateret til 1 m<sup>3</sup> slam.

Eksternalitetsomkostningerne er stort set sammenlignelige forstået på den måde, at det næsten er de samme effekter, der er prissat. Ved alternativ II er miljøeffekterne (eutrofiering, iltsvind m.m) ved udledning af rensset spildevand ikke opgjort. Prissætning af konkrete arbejdsulykker ved udspredding af slam (alternativ I) er foretaget ved at opgøre omkostninger ved sygefravær (løn). Bortset fra prissætningen af disse to eksternaliteter er de øvrige eksternaliteter sammenlignelige, hvad angår prissætningen.

Det har ikke været muligt at prissætte ressourceforbrug. Den væsentligste forskel i ressourceforbrug for de to alternativer er, at der regenereres en del vand ved udspredding af slam på marker. Denne ressourcegevinst er ikke værdisat.

For nogle af eksternaliteterne er der angivet et prisinterval, der afspejler usikkerhed ved prissætningen. Eksternalitetsomkostningerne er udtryk for nogle grove bud på omkostninger ved miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger. Der er derfor en større usikkerhed på eksternalitetsomkostninger i forhold til aktøromkostninger. Dette skal derfor tages med i betragtningerne når opgørelsesskemaerne læses.

### *Konklusion*

Baseret på ovenstående kommentarer til opgørelserne i skema 2.1.16 og 2.1.17 må det konkluderes, at alternativ I er økonomisk fordelagtig både, hvad angår aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger. Det kan ikke afgøres, hvor præcise de angivne eksternalitetsomkostninger er.

### 2.1.6 Referencer til kapitel 2.1

- /1/ Institut for miljø og samfund, RUC. Kalk. Rapport udført for Fredningsstyrelsen 1986.
- /2/ Elvers B et al. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Fifth, Completely Revised Edition, Vol. A15, 1990.
- /3/ Andersen F M et al. INDUS-version 2 EMIS. En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. Forskningscenter Risø, 1991.
- /4/ COWiconsult. Referencemodel for den danske transportsektor 1988-2030. Arbejdsrapport til trafikministeriet, 1990.
- /5/ Miljøstyrelsen. Miljø- og arbejdsmiljøvurdering af materialer. Miljøprojekt nr. 204, 1992.
- /6/ Pris på LOs § 9 kursus maj måned 1993 er 3150 kr. DAs § 9 kursus koster 3150 kr juli 1993. Priser oplyst ved telefonisk henvendelse til Uddannelsesafdelingerne i hhv. LO og DA i maj måned 1993.
- /7/ Vurderet ud fra besigtigelse af arbejdspladsen samt samtale med Anders Brinck Larsen, afdelingsleder. COWiconsult/IPU 1993.
- /8/ COWiconsult/IPU. Miljø- og arbejdsmiljøomkostninger på brancheniveau - Et pilotprojekt. Foreløbig Rapportudkast udarbejdet for Miljøstyrelsen September 1993.
- /9/ Atlas Industries A/S. Massebalance samt diverse tekniske og økonomiske nøgletal for "EcoDry 380", beregningseksempel udført af Benny Johansen, Atlas Industries 1992.
- /10/ SETAC. Life-cycle Assessment. Published by Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe. 1992.
- /11/ COWiconsult. Monetary Valuation of Transport Environmental Impact - The Case of Air Pollution. December 1993.
- /12/ Det Økonomiske råd. Dansk økonomi. Maj 1993.

## 2.2 S-tog

### 2.2.0 Sammenfatning

I dette afsnit opgøres livscyklusomkostninger (LCO) for to generationer af S-tog. Formålet er at belyse anvendelse af LCO-opgørelser for et kompliceret industriprodukt som et S-tog.

LCO-opgørelsen er gennemført for et nyt 4. generations S-tog og for de nuværende 2. generations tog. De to generationer af S-tog er ikke egentlige alternativer, men illustrerer de miljømæssige konsekvenser af den teknologiske udvikling i produktionen af S-tog. Samtidigt får man vist principperne ved anvendelse af LCO-opgørelser til sammenligning mellem alternative produkter.

#### *Afgrænsning*

Opgørelsen tager udgangspunkt i et togsæt bestående af 4 vogne. Togsættet antages at have en levetid på 25 år.

S-toget er et meget kompliceret industriprodukt. Det er derfor ikke muligt at medtage alle materialer og alle komponenter i opgørelsen. Konkret er materialer, der indgår med mindre end 1% af togets vægt, ikke medtaget. Det drejer sig om ca. 10% af vægten, der udgøres af ikke-medtagne materialer. En sådan afgrænsning kan være kritisk, hvis der er specielle øko- eller humantoksiske stoffer blandt de ikke-medtagne.

Det er tidligere argumenteret, at mulige uønskede materialer sandsynligvis kan substitueres med mindre skadelige stoffer. I en analyse, der eventuelt skal danne baggrund for beslutning om valg af et bestemt alternativ, bør sådanne skadelige stoffer identificeres, således at man kan sikre, at de bliver erstattet med mindre skadelige materialer.

#### *Prissætning*

Prissætningen er det centrale i LCO-opgørelsen, som har til formål at belyse størrelsen af miljøomkostninger med henblik på at kunne identificere det mest miljøvenlige alternativ.

Ved beregningen af både aktør- og eksternalitetsomkostninger i drifts- og vedligeholdelsesfasen er der lavet nutidsværdiberegninger. Det betyder, at alle omkostninger i S-togets levetid (25 år) er tilbagediskonteret til 1993 kr. med brug af en realrente på 6%.

Aktøromkostningerne kan i den foreliggende opgørelse primært anvendes til at sammenligne størrelsesordenen af de direkte produktions og driftsomkostninger med miljøomkostningerne.

Det har kun været muligt at prissætte visse typer af luftforurening, støj samt arbejdsmiljø. Luftforureningen er prissat ud fra skadesvurderinger, som danner baggrund for estimation af enhedspriser. Dette gælder for SO<sub>2</sub>

og NO<sub>x</sub>. For CO<sub>2</sub> er anvendt et andet princip, idet omkostningen her er bestemt ud fra en afgift pr. kg CO<sub>2</sub>. Eksternalitetsomkostningen ved støjbelastning er beregnet ud fra Vejdirektoratets støjpris. Den bygger på

undersøgelser af betalingsvillighed og inkluderer som den eneste af de anvendte eksternalitetspriser også individeres velfærdstab.

Arbejdsmiljøomkostningerne er baseret på branchedata, og der er ikke taget stilling til om produktion og drift af S-tog adskiller sig fra forholdene i de respektive brancher. For driftsfasen er der dog anvendt DSB's egne ulykkestal.

Der er betydelig usikkerhed forbundet med de anvendte eksternalitetspriser. Denne usikkerhed har to niveauer. For det første usikkerhed om alle væsentlige effekter fra en given emission er inkluderet i prissætningen. Dernæst om de medtagne effekters størrelse er rigtigt vurderet. Derfor er usikkerheden større end de intervaller, der er angivet i tabellerne.

Eksternaliteter ved vandforbrug og spildevandsudledning, samt eksternaliteter ved affaldsbortskaffelse har det ikke været muligt at prissætte.

### Konklusion

I tabellerne 2.2.0A og 2.2.0B er de samlede LCO omkostninger opgjort for de to alternativer. Opgørelsen viser, at eksternalitetsomkostningerne udgør ca. 5% af de samlede LCO omkostninger. Den største del af eksternalitetsomkostningerne ligger i driftsfasen. Det vil som oftest være tilfældet for produkter, der har en lang driftsfase i forhold til selve produktionen.

Skema 2.2.0A Opgjorte livscyklusomkostninger for 2. generations S-tog i mio. kr.

Fase	Aktøromkostninger (mio. kr.)	Eksternalitetsomkostninger (mio. kr.)
Udvinding og fremstilling af råmaterialer	0,385	0,18 - 0,23
Forarbejdning af materialer og produktfremstilling	73,615	1,94 - 2,08
Drift og vedligehold	66,00	6,80 - 7,13
Bortskaffelse	0,210	?

Skema 2.2.0B Opgjorte livscyklusomkostninger for 4. generations S-tog i mio. kr.

Fase	Aktøromkostninger	Eksternalitetsomkostninger
Udvinding og fremstilling af råmaterialer	0,440	0,34 - 0,47
Forarbejdning af materialer og produktfremstilling	51,560	1,40 - 1,54
Drift og vedligehold	54,300	3,26 - 3,51
Bortskaffelse	0,018	?

Det ses endvidere, at for de enkelte faser er det råmaterialefremstillingen, der har de største eksternalitetsomkostninger i forhold til ak-

tøromkostningen, mens de er mindst i selve produktionsfasen.

På grund af de forskellige principper for prissætningen af luftforurening, støj og arbejdsmiljø kan man ikke umiddelbart sammenligne størrelsen af de tre eksternalitetstyper.

Sammenligningen af de to generationer viser, at det nye S-tog har en mindre miljøbelastning i driftsfasen, både luftforurening og støj. Til gengæld er der et større ressourceforbrug i råmaterialefasen. Dette illustrerer samtidigt de store vanskeligheder med at anvende LCO-opgørelser til at vælge mellem alternativer. Er ikke alle eksternaliteter prissat må man inkludere en kvalitativ vurdering af de ikke-prissatte forhold.

Ved sammenligning af de to generationer af S-tog skal man være opmærksom på, at enheden her er et togsæt. De nye S-tog forventes at få flere sidepladser end 2. generationstogene. Hvis en større kapacitet pr. togsæt betyder, at der bliver transporteret flere passagerer, vil man ved sammenligning mellem de to S-tog skulle beregne LCO pr. personkilometer i stedet for pr. togsæt.

### 2.2.1 Planlægning og afgrænsning

#### Organisation

Opgørelse af livscyklusomkostninger for DSBs nye S-tog er udført i et samarbejde mellem Ulrik Winge fra DSBs projektjeneste og COWIconsult/IPU.

#### Formål

Formålet er at illustrere livscyklusomkostninger for et kompliceret produkt som et S-tog samt at vise LCO-konceptet anvendt i praksis ved sammenligning af aktøromkostninger og eksternalitetsomkostninger for et nyt 4. generations S-tog og et nuværende 2. generations S-tog.

#### Produktdefinition

Udgangspunkt for opgørelsen er beskrivelser af tekniske og materialemæssige data om DSBs nye S-tog vurderet ud fra tilbudsmaterialet. Derudover er der indsamlet oplysninger om de nuværende 2. generations S-tog. I opgørelsen regnes der med en levetid for S-tog på 25 år. Det antages at begge tog produceres i dag med samme teknologi, miljø- og arbejdsmiljølovgivning m.v.

#### Afgrænsning af livscyklus

Opgørelsen fokuserer på S-tog alene, dvs. der indgår ikke vurderinger af omkostninger til administration, drift og vedligeholdelse m.m. af bane, stationer m.v. Skift til nye S-tog medfører omkostninger til justering af baneforholdene. Dette indgår ikke i opgørelsen, og må derfor tilføjes ved sammenligning af samtlige omkostninger forbundet med valg af S-togkoncept.

*Kun S-tog*

*Distribution*

Transport (distribution) af råmaterialer, halvfabrikata og materialer til vedligeholdelse indgår ikke i LCO opgørelsen. Dette begrundes med, at

der ikke forventes væsentlig forskel på den samlede transport (distribution) for hver af de to alternativer. Endvidere er denne transport så lille i forhold til S-togenes transportarbejde over levetid, at fravalget formentlig kun har lidt betydning i den samlede livscyklusopgørelse.

### Materialer

Materialer anvendt i mindre mængder (i størrelsesordenen mindre end 1 % af togvægt) bliver ikke vurderet. Dette betyder, at særlige materialer i teknisk udstyr og i apteringsdelen ikke bliver vurderet. Afgrænsningen omhandler omkring 10% af vægten. Dette vurderes ikke at have væsentlig indflydelse på sammenligningen af de to togkoncepter, da det formentlig er den samme type materialer der ses bort fra. Endvidere vurderes det, at disse materialer i højere grad end "bulk" materialer kan substitueres, hvis der indgår særligt uønskede materialer. Ved vurdering af de samlede eksternalitetsomkostninger, må der selvfølgelig tages højde for fravalget af materialer, der indgår i små mængder. Ressourcemæssigt vurderes det, at fravalget ingen betydning har på grund af den relativt lille mængde. Der kan være eksternaliteter ved miljø- og arbejdsmiljøforhold fra denne materialegruppe.

### Vedligehold

Vask og rengøring af tog er ikke opgjort. Der er ikke fundet oplysninger om forbrug vand og rengøringsmidler ved vask og rengøring af S-tog. Der anvendes formentlig relativt store mængder vand og rengøringsmidler til vask af S-tog. For IC3 tog er det årlige forbrug af rengøringsmidler opgjort til 8 ton per togsæt (inklusive vand) /7/ svarende til et forbrug i størrelsesordenen 200 ton over en levetid på 25 år.

Ved sammenligning af 2. og 4. generations S-tog kan det være relevant at vurdere vandforbrug fordi vaskehyppigheden bl.a. afhænger af farvevalg. Et hvidt tog skal f.eks. vaskes oftere end et rødt.

Skema 2.2.1 Afgrænsning af livscyklus - Processer der ikke vurderes.

	Ressourcer	Miljø	Arbejds miljø
Råmaterialer	Materialer der indgår < 1%	Udvind. og fremst. af materialer der indgår < 1%	Udvind. og fremst. af materialer der indgår < 1%
		Distribution	Distribution
Produktion	Hjælpe materialer ved produktion	Distribution	Distribution
Anvendelse	Areal, bane, stationer m.v.	Administration	Administration
	Vandforbrug til vask og rengøring	Spildevand fra vask	Rengøring
Bortskaffelse	Materialer der indgår < 1%	Transport	Transport
		Genanvendelse af materialer	Genanvendelse af materialer

## 2.2.2 Inventering

### Aktivitetsliste.

I skema 2.2.2 er beskrevet, hvilke processer og ressourceforbrug, der indgår i vurderingen af sideeffekter (eksternaliteter), samt hvilke omkostninger der opgøres.

### Beskrivelsesparametre.

I LCO-opgørelsen indgår der udover de direkte afholdte omkostninger (aktøromkostningerne) vurderinger af omkostninger ved ressourcestab samt miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger (eksternalitetsomkostningerne).

Skema 2.2.2 Aktivitetsliste for opgørelse af eksternaliteter

	Ressourcer/økonomi	Miljø	Arbejdsmiljø
Råmaterialer	Råmaterialer til fremstilling af "Bulk" materialer samt pris på disse materialer	Miljøbelastning ved fremstilling af "Bulk" materialer	Arbejdsskader ved råstofudvinding og materialefremstilling (brancherelateret)
Produktion	Energiforbrug ved fremstilling af togsæt, pris på et togsæt	Miljøbelastning vurderet ud fra branchedata	Arbejdsskader (brancherelateret)
Anvendelse	Energi- og materialeforbrug til drift og vedligehold samt omkostninger hertil	Støj- og energiforhold Jord- og grundvandsforurening	Arbejdsskader ved drift og vedligehold
Bortskaffelse	Materialetab ved deponering og forbrænding, omkostninger og indtægter ved bortskaffelse/genanvendelse af materialer	Emission ved bortskaffelse (Afbænding og deponering)	Arbejdsskader (brancherelateret)

Eksternaliteter opgøres ved vurderinger af, hvorvidt der ved et givet ressourceforbrug sker en ikke bæredygtig ressourceudnyttelse og, hvorvidt der ved en given proces sker miljø- eller arbejdsmiljøbelastninger, der umiddelbart efter eller på sigt kan medføre omkostninger for tredjemand og samfundet som helhed (eksternalitetsomkostninger). I hver af disse vurderinger er det forskellige beskrivelsesparametre, der ligger til grund for vurderingerne.

I opgørelsen af aktøromkostninger og eksternaliteter for processer, der ligger uden for DSBs arbejdsområde, er bearbejdning af materialer, produktionsmetoder m.v. ikke er kendt. Det betyder, at de forudsætninger der ligger til grund for opgørelserne, i nogen tilfælde ikke holder i praksis. Eksempelvis kan nævnes, at der ved fremstilling af aluminium er regnet med et energiforbrug baseret på kul. Nogle aluminiumsværker anvender elektricitet baseret på vandkraft. Præcis hvilken aluminiumsproducent, der har leveret eller skal levere aluminium kendes ikke. I mangel af bedre er kulbaseret elforbrug derfor skønnet.

#### Aktøromkostninger.

Omkostninger til udvinding og fremstilling af råmaterialer afspejles i markedspriser. Disse omkostninger er dels offentligt tilgængelige priser på børshandlede råvarer samt priser oplyst af producenter, grossister m.v. Følgende materialepriser for metaller er fundet: 11.000 kr/ton kobber, 7.200 kr/ton aluminium og 1.400 kr/ton jern. Priser på forskellige typer polymere varierer meget, men er i størrelsesordenen 5.000 kr/ton for de mest almindelige typer. Almindelig planglas koster i størrelsesordenen 5000 kr/ton; hærdet planglas koster omkring 10.000 - 15.000 kr/ton. Omkostninger til træ og øvrige materialer er ikke opgjørt.

Prisen for et 2. generations S-tog var 26 millioner i 1975, hvilket svarer til 74 millioner i 1993 kr ved anvendelse af prisindex for maskiner og værktøj, herunder transportmidler /14/.

Der er ikke indsamlet oplysninger om priser på delkomponenter. Fremstilling af delkomponenter (Elmotorer, bremsesystemer m.v.) er indeholdt i prisen for et S-tog. Livscyklusfasen "produktion" indeholder således al forarbejdning af materialer. Omkostninger til produktion beregnes ved at fratække materialeomkostninger fra pris for S-tog. Materialesammensætning for 2. generations S-tog er skønnet /12/. Materialesammensætningen for 4. generations S-tog er oplyst af leverandør i forbindelse med udbuds-materialet. Materialesammensætningen fremgår af skema 2.2.3 og 2.2.4.

Omkostninger til elforbrug til drift af S-tog er beregnet ud fra en pris på 0,33 kr per Kwh, en realrente på 6 % betalt i årlige terminer over 25 år. Energiforbrug for 4. generations S-tog er anslået til 107 TJ over en levetid på 25 år. Energiforbruget over levetid for 2. generations S-tog er, i mangel af bedre information, beregnet ud fra det anslåede energiforbrug for 4. generations S-tog samt en forventning om en reduktion af energiforbruget på 25 %. Energiforbruget over levetid for 2. generations S-tog er således beregnet til 143 TJ.

Omkostninger til drift og vedligehold er skønnet på baggrund af regnskabs-tal. DSB har 598 S-togvogne svarende til ca. 150 S-togsæt bestående af 4 vogne. De samlede driftsomkostninger for S-togsdivisionen var i 1992 på ca 774 mio. kr. Under den forudsætning at alle vogne kører lige meget, bliver den årlige omkostning til drift og vedligehold på ca. 5,2 mio. kr. i 1992 per vognsæt. Over en levetid på 25 år bliver omkostninger til drift og vedligeholdelse 66 mio. kr. (beregnet med en realrente på 6%). Det er ikke muligt at opgøre omkostninger til drift og vedligehold for de nye 4. generations S-tog bortset fra omkostninger til energiforbrug. Det forudsættes derfor, at omkostninger til drift og vedligehold er identiske, bortset fra omkostninger til elforbrug. Disse omkostninger er således opgjørt for hver type S-tog.

Der er ikke fundet præcise oplysninger om, hvor stor en andel de forskellige materialer, der kan genanvendes. Det vurderes, at 95 % af metallerne kan genanvendes ved sortering og omsmelting. Glas og andre ikke brændbare materialer, herunder PVC og ikke specificerbare materialer, deponeres på kontrolleret losseplads. Omkostninger til deponering er beregnet ud fra en takst på 485 kr/tons affald /6/.

Der er anvendt asbest i 2. generations S-tog, hvilket er særligt besværligt at fjerne. Asbest skal demonteres under kontrollerede forhold, dvs. arbejdet skal være lukket inde i en lufttæt boks og arbejdere skal være under fuld beskyttelse. Derudover skal asbestholdigt affald forsegles og deponeres efter særlig aftale på kontrolleret losseplads. Omkostninger til fjernelse af asbest i bygninger er i størrelsesordenen 350 - 400 kr/m<sup>2</sup>. Med forbehold for den usikkerhed der er, vurderes det, at omkostninger til fjernelse og deponering af asbest er omkring 200.000 kr. per togsæt.

Det har ikke været muligt at finde oplysninger vedrørende omkostninger til skrotning af S-tog. Udgifter til transport, arbejds løn og maskiner forbundet med demontering, separation af materialefraktioner og transport er således ikke opgjort.

I skema 2.2.3 og 2.2.4 er aktøromkostninger igennem livscyklus. Omkostninger til produktion af S-tog er beregnet ved at trække omkostninger til råmaterialer fra de opgivene priser på S-tog. Gummi er regnet som plast.

a) Aktøromkostninger 2. generations S-tog.

Skema 2.2.3 Aktøromkostninger 2. generations S-tog (pr. togsæt)

Fase	Type	Mængde	Omkostning (kr)
Udvinding og fremstilling af råmaterialer	Jern	99 ton	138.600
	Aluminium	7 ton	50.400
	Kobber	7 ton	77.000
	Glas	7 ton	105.000
	Plast	1,5 ton	15.000
	Gummi	1,5 ton	?
	Træ	15 ton	?
	Andet	4 ton	
Produktfremstilling og forarbejdning af materialer	S-tog	1 stk.	73,6 mio. kr
Anvendelse	El	143 TJ	6,7 mio. kr
	Øvrige drifts-omkostninger		59,3 mio. kr
Bortskaffelse	Jernskrot	94 ton	? kr
	Kobberskrot	7 ton	? kr
	Aluminiumsskrot	7 ton	? kr
	Ikke brændbart	20 ton	9.700 kr
	Asbest	? ton	200.000 kr

Ressourceforbrug:

I det følgende gennemgås forudsætninger og beregninger til opgørelse af ressourceforbruget. Ressourceforbruget er beregnet ud fra S-togenes materialesammensætning. Materialespild ved forarbejdning og montering er ikke opgjort. I de fleste tilfælde vil materialespild ved forarbejdning og montering blive recirkuleret eller regenereret. I disse tilfælde er der ikke noget egentligt spild af råvarer, men der skal anvendes energi og hjælpe-materialer til regenerering. Der er ikke fundet kvantitative data om denne type spild.

Ved beregning af ressourceforbrug til fremstilling af energi, er der for kulbaseret elektricitet og ved termisk energi regnet med en virkningsgrad

på henholdsvis 0,3 og 0,8. For kul og olie er der regnet med brændværdier på henholdsvis 29,5 MJ/kg kul og 43,4 MJ/kg olie.

b) Aktøromkostninger 4. generations S-tog:

Skema 2.2.4 Aktøromkostninger 4. generations S-tog (pr. togsæt)

Fase	Type	Mængde	Omkostning (kr)
Udvinding og fremstilling af råmaterialer	Jern	50 ton	70.000
	Aluminium	32 ton	230.400
	Kobber	5 ton	55.000
	Glas	3 ton	45.000
	PVC	1 ton	5.000
	Melamin	4 ton	20.000
	Chloropren	3 ton	15.000
	Andet	22 ton	?
Produktfremstilling og forarbejdning af materialer	S-tog	1 stk.	51,6 mio. kr
Anvendelse	El	107 TJ	5,0 mio. kr
	Øvrige drifts-omkostninger		59,3 mio kr
Bortskaffelse	Jernskrot	47,5 ton	? kr
	Kobberskrot	4,8 ton	? kr
	Aluminiums-skrot	30,4 ton	? kr
			? kr
	Ikke brændbart	38 ton	18.430 kr

### Jern

Til fremstilling af primær jern udvindes malm indeholdende 35,4 % jern i gennemsnit på verdensplan /1/. Dette svarer til et gennemsnitligt ressourceforbrug af jernmalm på 2,8 ton jernmalm/ton jern. Ved fremstillingen af jern anvendes der endvidere ca. 480 kg koks/ton jern som reduktionsmateriale /1/. Derudover anvendes der energi i form af elektricitet og olie. Det samlede energiforbrug ved fremstilling af jern er angivet til 7000 Kwh/ton /3/. Dette dækker såvel energi i koks, elektricitet og olieforbrug. Elektricitets- og olieforbruget til fremstilling af jern beregnes ved at fratække energiindhold i den tilsatte mængde koks fra det samlede energiforbrug ved fremstilling af jern og antage, at fordelingen mellem elektricitets- og olieforbruget er ens. Dette giver energiforbrug fra såvel elektricitet som olie på ca. 1600 Kwh/ton. Det samlede kvantificerbare ressourceforbrug ved fremstilling af jern er således:

- Malm: 2,8 ton/ton jern
- Kul: 1,0 ton/ton jern
- Olie: 0,17 ton/ton jern

### Kobber

Det gennemsnitlige indhold af kobber i kobbermalm på verdensplan er omkring 1 %. Den største mængde kobbermalm bliver imidlertid brudt fra åbne miner med et kobber indhold på 0,3 % /4/, hvilket giver et ressourceforbrug af kobbermalm på 330 ton/ton kobber. Energifobruget ved fremstilling af kobber angives af forskellige kilder til omkring 60-70 MJ/kg kobber /3/.

Regnes der med et energiforbrug på 65 MJ/kg kobber fordelt ligeligt mellem kulbaseret elektricitet og mekanisk energi baseret på olie, bliver

ressourceforbruget til energi 3,67 kg kul/kg kobber og 0,94 kg råolie/kg kobber. Det samlede kvantificerbare ressourceforbrug ved fremstilling af jern er således:

- Malm: 330 ton/ton kobber
- Kul: 3,7 ton/ton kobber
- Olie: 0,94 ton/ton kobber

### *Aluminium*

Aluminium fremstilles ud fra bauxit. Der medgår ca. 5 kg bauxit samt 0,5 kg kulstof (anodemateriale) per kilo aluminium /5/. Der anvendes omkring 235 MJ/kg aluminium /3/. Energikilde til aluminiumsproduktion er primært elektricitet.

I nogle lande som f.eks. Norge anvendes vandkraft for en stor del af energiproduktionen, mens andre aluminiumproducerende lande som f.eks. USA anvender naturgas. I det følgende regnes med kulbaseret elektricitetsproduktion, idet oprindelsesland og energikilde ikke kendes. Dette svarer til et forbrug på 26 kg kul/kg aluminium. Det kvantificerbare ressourceforbrug ved fremstilling af aluminium er således:

- Bauxit: 5 ton/ton aluminium
- Kul: 26 ton/ton aluminium

### *Glas*

Til fremstilling af glas anvendes calciumcarbonat, soda og siliciumdioxid (sand). Der er ikke fundet oplysninger om ressourceforbruget. Det skønnes, der per kg glas medgår 0,75 kg sand og 0,125 kg calciumcarbonat og 0,125 kg natriumkarbonat.

Energiforbruget til fremstilling af glas er i størrelsesordenen 19 MJ/kg /3/. Regnes der med et kulbaseret elektricitetsforbrug som den primære energikilde bliver forbruget af kul ca. 2,2 kg/kg glas, hvis der regnes med en virkningsgrad på 0,3 m.h.t. kulbaseret elektricitetsproduktion. Det kvantificerbare ressourceforbrug er således:

- Sand: 0,75 ton/ton glas
- Karbonat: 0,25 ton/ton glas
- Kul: 2,2 ton/ton glas

### *Polymere*

Polymere fremstilles ud fra petrokemiske produkter, der primært raffineres fra råolie. Det specifikke forbrug af råolie til de forskellige typer af polymere, der anvendes i S-tog, er ikke opgjort. Der regnes i det følgende med at der anvendes 1 kg råolie per kg polymer.

Der regnes endvidere med kulbaseret elforbrug. Energiforbruget ved fremstilling af polymere (PVC, melamin og chloropren gummi) er i størrelsesordenen 70 MJ/kg polymer. Kulforbruget ved fremstilling af polymere er således omkring 8 kg/kg polymer, hvis der regnes med en virkningsgrad på 0,3 m.h.t. kulbaseret elektricitetsproduktion. Det kvantificerbare ressourceforbrug er således:

- Olie: 1 ton/ton polymer
- Kul: 8 ton/ton polymer

### *Produktion af S-tog*

Livscyklusfasen produktion af S-tog indeholder fremstilling af komponenter (motorer, bremse- og ventilationssystemer m.v.), fremstilling af

vognkasse, montering af komponenter og finish. Disse processer foregår hos en lang række underleverandører og hos selve togproducenten. Det skønnes, at der ikke er væsentlig forskel på ressourceforbruget ved fremstilling af 2. og 4. generations S-tog.

Det samlede energiforbrug for disse processer er vurderet til at være i størrelsesorden 4-6 TJ per togsæt /8/. Det skønnes, at energiforbruget ved produktion af S-tog fordeler sig på samme måde som anslået for jern- og metalindustrien /9/, hvilket svarer til 46,2 % el, 32,3 % flydende brændsel (fyringsolie), 20,0 % gas (methan) og 1,5 % fast brændsel (kul). Ressourceforbruget til fremstilling af elektricitet svarer til 450-680 ton kul (virkningsgrad på 0,3 og 29,5 MJ/kg kul).

For de andre energiforbrug er ressourceforbruget beregnet ud fra brændværdien svarende til en virkningsgrad på 1. Ressourceforbruget fra de øvrige energiformer bliver således: 16-23,5 ton methan (51 MJ/kg), 30-45 ton råolie (43,3 MJ/kg) og 2-3 ton kul (29,5 MJ/kg). Brændværdier er alle fra /3/.

Der er ikke fundet oplysninger om vandforbrug ved fremstilling af S-tog. Vandforbruget i 1992 jern- og metalbranchen i Danmark er estimeret til 6.3 mio. m<sup>3</sup> /9/, hvilket kan ses i forhold til en produktionsværdi i 1992 på 113.649 mio. kr. Med forbehold for usikkerhed ved relatering af vandforbrug og produktionsværdi opgøres vandforbrug ved fremstilling af S-tog til omkring 3000 m<sup>3</sup> (beregnet ud fra en værdi af S-tog på 50 mio. kr.).

Det har ikke været muligt at finde oplysninger om forbrug af hjælpematerialer (materialer der ikke indgår i S-tog, men anvendes i forbindelse med produktion af toget), der direkte kan relateres til produktion af et S-tog.

#### *El til S-tog*

Det elektricitet DSB anvender til S-tog består typisk af 67 % dansk produceret elektricitet og 33 % svensk produceret elektricitet /10/. 1 MJ elektricitet produceret på Sjælland er fremstillet ud fra 2,7 MJ kul, 0,1 MJ naturgas og 0,15 MJ olie /10/.

Tilsvarende er 1 MJ svensk elektricitet fremstillet ud fra 0,06 MJ olie, 1,24 MJ atomkraft og 0,62 MJ vandkraft /11/. Heraf er sammensætning af elektricitet til S-tog beregnet nedenfor.

1 MJ leveret elektricitet:

- Kul: 1,79 MJ, svarende til 0,22 kg kul/Kwh
- Naturgas: 0,08 MJ, svarende til 6 g methan/Kwh
- Olie: 0,12 MJ, svarende til 10 g råolie/kWh
- A-kraft: 0,41 MJ, ressourcer ikke opgjort
- Vandkraft: 0,20 MJ

Elforbruget over levetid er vurderet til henholdsvis 107 TJ og 143 TJ for henholdsvis 4. og 2. generations S-tog, hvilket svarer til ca. 30 millioner kWh for 4. generations S-tog og 30 millioner kWh for 2. generations S-tog.

#### *Materialer til vedligehold*

Til vedligeholdelse af S-tog anvendes der hovedsageligt smøremidler (olie

og fedt), bremsebelægninger og -bakker, ringe til hjul og bremsegrus. Materialeforbruget for de nuværende 2. generations S-tog er opgjort ud fra S-togs divisionens samlede årlige forbrug af reservedele og hjælpestoffer. Materialeforbruget til vedligeholdelse af 4. generations S-tog kan ikke opgøres på samme måde fordi togene endnu ikke er taget i brug. Ud fra de konstruktionsmæssige forskelle, der er mellem 2. og 4. generations S-tog, kan der forudsiges en vis reduktion af materialeforbruget. Dette skyldes, at antallet af aksler i 4. generations S-tog er reduceret med 50 % i forhold til 2. generations S-tog. Dette medfører isoleret set et større akseltryk og dermed et større slid på de enkelte aksler. Totalt set reduceres materialeforbrug til vedligehold.

Endvidere introduceres der ny teknologi i bl.a. bremse- og vedligeholdelsessystemer og en betydelig reduktion af togvægten, hvilket medfører et mindre materialeforbrug til vedligehold. Hvor stor en besparelse af materialer disse forhold giver anledning til kan ikke umiddelbart opgøres. Med forbehold for usikkerheden skønnes det, at der i løbet af togets levetid vil kunne opnås en reduktion i materialeforbruget på op til 50 %.

Der anvendes i størrelsesordenen 1,5 ton maling til et togsæt. Det skønnes, at et tog males en gang i løbet af en levetid på 25 år svarende til et forbrug af maling på 1,5 ton i vedligeholdelsesfasen. I opgørelserne er der ikke regnet med en forskel i forbrug af maling på 2. og 4. generations S-tog.

#### *Bortskaffelse/genanvendelse*

Der er ikke fundet præcise oplysninger om, hvor stor en andel af de forskellige materialer, der kan genanvendes. Det vurderes, at 95 % af metallerne kan genanvendes ved sortering og omsmelting.

Glas og andre ikke brændbare materialer, herunder PVC og ikke specificerede materialer, deponeres på kontrolleret losseplads.

I skema 2.2.5 og 2.2.6 er ressourceforbrug for 2. og 4. generations S-tog opgjort.

#### **Ydre miljø**

Energirelaterede emissioner er i det følgende beregnet ud fra følgende emissionsfaktorer /2/:

El:	605 mg SO <sub>2</sub> /MJ, 94 g CO <sub>2</sub> /MJ og 403 mg NO <sub>x</sub> /MJ (1990 data)
Gas:	0,5 mg SO <sub>2</sub> /MJ, 56,9 g CO <sub>2</sub> /MJ og 100 mg NO <sub>x</sub> /MJ
Kul:	331 mg SO <sub>2</sub> /MJ, 104 g CO <sub>2</sub> /MJ og 161 mg NO <sub>x</sub> /MJ (1987 data)
Råolie:	182 mg SO <sub>2</sub> /MJ, 75 g CO <sub>2</sub> /MJ og 238 mg NO <sub>x</sub> /MJ (1987 data)

#### *Råmaterialer*

Ved fremstilling af primær jern er støv indeholdende tungmetaller et væsentligt miljøproblem. Typisk emitteres 1,4 kg støv per ton råstål /1/ (stål fremstilles ved at "rense" råjern for kul). Derudover sker der emission af CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ved reduktion af jernoxider til jern med koks samt ved forbrug af energi i øvrigt. Ved fremstilling af jern anvendes der 25 MJ/kg. Heraf udgør ca. 23 % elektricitet, 23 % koks og 54 % olie jævnfør afsnit 2.2.2.

Det antages, at emissionsfaktorer for koks er identiske med emissionsfaktorer for kul. Med udgangspunkt i ovenstående er følgende

emissionsfaktorer beregnet for jern:

- CO<sub>2</sub>: 2,2 ton/ton jern
- SO<sub>2</sub>: 7,9 kg/ton jern
- NO<sub>x</sub>: 6,4 kg/ton jern
- Støv: 1,4 kg/ton jern

Skema 2.2.5 Ressourceforbrug 2. generations S-tog

Fase i livscyklus	Råmateriale/proces	Ressource
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af "Bulk" materialer	Jern	Jernmalm 277 ton
	Kobber	Kobbermalm 330 ton
	Aluminium	Bauxit 35 ton
	Glas	Sand 5 ton
		Soda + kalk 2 ton
	Polymere og energi til fremstilling	Kul 346 ton Råolie 27 ton
Produktfremstilling	Energiforbrug	Kul 450-680 ton
		Methan 16-23,5 ton
		Råolie 30-45 ton
	Materialer	Vand 3000 m <sup>3</sup>
		Hjælpematerialer ? ton
Anvendelse	El-forbrug	Kul 8.800 ton
		Gas 240 ton
		Olie 400 ton
	Smøremidler	Olie/Fedt 2,8 ton
		Hjul 12 ton
	Bremsler	Bremsebelægning 8 ton
		Bremsegrus 27 ton
	Motor	Kul 0,2 ton
		Maling 1,5 ton
	Bortskaffelse	Genanvendelse
Kobber 6,7 ton		
Aluminium 6,7 ton		
Deponering		Glas 7 ton
		Plast/Gummi 3 ton
		Andre materialer 4 ton
		Metaller 6 ton
		Afbrænding

Ved fremstillingen af kobber er emission af SO<sub>2</sub> den væsentligste procesrelaterede emission. Den mest almindeligt anvendte kobbermalm indeholder kobbersulfid, hvorfor der dannes ca. 1 kg SO<sub>2</sub> per kg kobber. I dag er det efterhånden almindelig standard at rense røggas for SO<sub>2</sub>. Det antages at udskilningsgraden for SO<sub>2</sub> er 99,9 %, hvilket medfører en emission af SO<sub>2</sub> på ca 10 g/kg kobber. Energiforbruget ved fremstilling af kobber er i størrelsesordenen 65 MJ/kg. Heraf er 50 % elektricitet og 50 % olie. Med udgangspunkt i ovenstående er følgende emissionsfaktorer beregnet for kobber:

- CO<sub>2</sub>: 5,5 ton/ton kobber
- SO<sub>2</sub>: 36 kg/ton kobber
- NO<sub>x</sub>: 21 kg/ton kobber

Der sker en miljøpåvirkning ved fremstilling af aluminium i form af dannelse af store mængder affald (5 kg affald/kg aluminium jvf. afsnit 2.2.2), stort energiforbrug samt emission af støv, fluorider og polyaromatiske hydrocarboner (PAH). Det har ikke været muligt at finde oplysninger om størrelser på emission af støv, fluorider og polyaromatiske hydrocarboner.

Der medgår 235 MJ til fremstilling af et kg aluminium. Det er antaget, at der kun anvendes kulbaseret elektricitet ved fremstillingen af aluminium. Med udgangspunkt i dette er beregnet følgende emissionsfaktorer ved fremstilling af aluminium:

- CO<sub>2</sub>: 22 ton/ton aluminium
- SO<sub>2</sub>: 142 kg/ton aluminium
- NO<sub>x</sub>: 95 kg/ton aluminium
- Affald: 5 ton/ton aluminium

Skema 2.2.6 Ressourceforbrug 4. generations S-tog

Fase i livscyklus	Råmateriale/proces	Ressource
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af råmaterialer	Jern	Jernmalm 140 ton
	Kobber	Kobbermalm 1716 ton
	Aluminium	Bauxit 162 ton
	Glas	Sand 2,5 ton
		Soda + kalk 0,8 ton
	Polymere og energi til fremstilling	Råolie 22 ton
		Kul 970 ton
Produktfremstilling	Energi- og materialeforbrug	Kul 450-680 ton
		Methan 16-23,5 ton
		Råolie 30-45 ton
		Vand 3000 m <sup>3</sup>
		Hjælpematerialer ? ton
Anvendelse	El-forbrug	Kul 6.600 ton
		Olie 300 ton
		Gas 180 ton
		Olie/Fedt 1,4 ton
	Smøremidler	Hjul 6 ton
		Bremser 4 ton
	Motor	Bremsebelægning 4 ton
		Bremsegrus 13,5 ton
		Kul 0,1 ton
		Maling 1,5 ton
Bortskaffelse	Genanvendelse	Jern 47,5 ton
		Aluminium 30,4 ton
		Kobber 4,8 ton
	Deponering	Plast/gummi 8 ton
		Metaller 4 ton
		Andre materialer 22 ton

Ved fremstilling af polymere sker der emission af hydrocarboner, støv, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> samt en lang række forskellige organiske forbindelser afhængigt af polymertypen. Der er ikke foretaget en vurdering af de forskellige polymere m.h.p. procesrelaterede emissioner.

Energirelaterede emissioner er derimod opgjort samlet for de 3 typer af polymere der indgår i LCO-opgørelsen af S-tog. Energiforbrug ved fremstilling af polymere er i størrelsesordenen 70 MJ/kg. Det antages, at al energi til fremstilling af polymere er kulbaseret elektricitet. Heraf er beregnet følgende emissionsfaktorer:

- CO<sub>2</sub>: 6,6 ton/ton polymer
- SO<sub>2</sub>: 42 kg/ton polymer
- NO<sub>x</sub>: 28 kg/ton polymer

Ved glasfremstilling sker der emission af støv og SO<sub>2</sub> ved smelteprocesserne. Størrelsesordenen og miljøeffekten af denne emission afhænger af råmaterialernes indhold af svovl og tungmetaller. Der er ikke fundet nogle kvantitative data vedrørende procesrelaterede emissioner. Energirelaterede emissioner ved fremstilling af glas er beregnet ud fra en antagelse om anvendelse af kulbaseret elektricitet. Der medgår ca. 19 MJ til fremstilling af 1 kg glas. Heraf er beregnet følgende emissionsfaktorer:

- CO<sub>2</sub>: 1,8 ton/ton glas
- SO<sub>2</sub>: 11 kg/ton glas
- NO<sub>x</sub>: 8 kg/ton glas

### *Produktion af S-tog*

Energiforbruget ved fremstilling af S-tog er skønnet til at være i størrelsesordenen 4-6 TJ /8/. Det skønnes, at energiforbruget ved produktion af S-tog fordeler sig på samme måde som anslået for jern- og metalindustrien /9/ svarende til 46,2 % el, 32,3 % flydende brændsel (fyringsolie), 20,0 % gas (methan) og 1,5 % fast brændsel (kul). Emissionsfaktorer er beregnet til:

- CO<sub>2</sub>: 80 g/MJ
- SO<sub>2</sub>: 344 mg/MJ
- NO<sub>x</sub>: 285 mg/MJ

Der er ikke fundet andre specifikke oplysninger om miljøforhold ved produktion af S-tog og miljø. Jern- og metalbranchen i Danmark udleder årligt i størrelsesordenen 4.300 ton VOC'er. Med forbehold for usikkerhed ved relatering af produktionsværdi til udledning af VOC'er kan udledningen af VOC'er ved produktion af et S-tog med en værdi på 50 mio. kr. relateres til en udledning på 1,9 ton VOC'er.

I forhold til et S-togs produktionsværdi udledes der i størrelsesordenen 3000 m<sup>3</sup> spildevand set i forhold til jern- og metalbranchens vandforbrug og -afledning. Skønsmæssigt indhold af miljøskadelige stoffer i spildevand fra jern- og metalbranchen fremgår af skema 2.2.7.

### *Drift og vedligehold*

De største miljøpåvirkninger ved drift af S-tog er luftforurening fra produktion af elektricitet og støj. Luftforurening ved el-produktion er beregnet ud fra elektricitet baseret på kul, naturgas, olie, atomkraft og vandkraft. Fordelingen 1 MJ leveret elektricitet er:

- Kul: 1,79 MJ, svarende til 0,22 kg kul/kWh
- Naturgas: 0,08 MJ, svarende til 6 g methan/kWh
- Olie: 0,12 MJ, svarende til 10 g råolie/kWh
- A-kraft: 0,41 MJ, ressourcer ikke opgjort
- Vandkraft: 0,20 MJ

Med udgangspunkt i denne fordeling er der beregnet emissionsfaktorer baseret på kul-, olie- og gasforbrænding. Der er ikke beregnet eller anvendt emissionsfaktorer fra atom- og vandkraft. Emissionsfaktorer for leveret elektricitet beregnet ud fra en virkningsgrad på 0,3 er:

- 60 g CO<sub>2</sub>/MJ leveret el
- 186 mg SO<sub>2</sub>/MJ leveret el
- 99 mg NO<sub>x</sub>/MJ leveret el

Skema 2.2.7 Miljøskadelige stoffer i spildevand fra jern- og metalbranchen

"Stof"	Koncentration kg/m <sup>3</sup>	Udledning ton
COD	94	282
BOD	0,5	1,5
N	9,2	27,6
P	1,0	3
Tungmetaller	1,1	3,3
Olie	4,6	13,8

Der sker et spild af smøremidler. Dette fører til jordforurening langs banestrækningerne.

Undersøgelser foretaget på banestrækningen mellem Holte og Hillerød viste, at der ikke var fare for nedsivning af olie til grundvand. Forureningen vurderes af DSB /13/ alene som et æstetisk problem.

De nye 4. generations S-tog forventes at have mindre spild af olie p.g.a. færre aksler. DSB afprøver for tiden forskellige bionedbrydelige smøremidler således, at eventuelle spild ikke vil kunne udvaskes i grundvand.

Støj fra S-tog er primært relevant på de rene S-togsstrækninger (Nordbanen Farumbanen, Frederikssundsbanen og Køge Bugtbanen). På de øvrige strækninger (Klampenborg og Taastrupgrenene) er støj fra S-tog mindre betydende pga. støj fra de øvrige tog (fjerntog, regionaltog og godstog). Forskel i støjniveauet fra 2. og 4. generations S-tog er således kun relevant på de rene S-banegrene. På disse vil der blive en støjreduktion i døgnstøjniveauet på ca. 6-7 dB(A), hvis de nye tog kører med samme hastighed som de nuværende (hovedsageligt 2. generations S-tog), hvor hastigheden er 100 km/t. En fremtidig køreplan, hvor man udnytter de nye togs max hastighed på 120 km/t vil medføre en reduktion af døgnstøjniveauet på ca. 3-4 Db(A) i forhold til dagens situation.

#### *Bortskaffelse*

Ved skrotning af S-tog antages det, at materialer som ikke genanvendes (5 % af metaller, ikke brændbare materialer, PVC og komposit) bliver deponeret på kontrolleret losseplads. Der vurderes derfor ikke at være eksterne-liteter ved affaldshåndteringen. Det vurderes, at der kan forekomme støj og støv ved demontering og transport af materialer til genanvendelse og deponering, men miljøpåvirkningen kan ikke kvantificeres. Miljøbelastning ved genanvendelse af metaller vurderes ikke.

#### *Arbejdsmiljø*

#### *Råmaterialer*

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader, der kan relateres til en produceret mængde råmaterialer (jern, kobber plast osv.). I stedet er der anvendt brancherelaterede data.

Ud fra dansk branchestatistik over arbejdsulykker og -lidelser kan de typiske skader og sygdomme identificeres og opgøres. I det følgende er de 3 hyppigste skader og sygdomme identificeret.

Skema 2.2.8 Miljøpåvirkninger for 2. generations S-tog

Fase	Proces	Mængde/type
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af råmaterialer	Emission ved produktion af energi fremstilling af jern, kobber, aluminium, polymere og glas	CO <sub>2</sub> 443 ton SO <sub>2</sub> 2 ton NO <sub>x</sub> 1,5 ton Støv 0,1 ton Affald 35 ton Sp.vand ? ton
Produktfremstilling	Emission ved produktion af energi, forarbejdning, tilskæring, montering m.v. af materialer ved produktion af S-tog	CO <sub>2</sub> 320-480 ton SO <sub>2</sub> 1,4-2,0 ton NO <sub>x</sub> 1,1-1,7 ton COD 282 ton BOD 1,5 ton N 27,6 ton P 3 ton Tungmet. 3,3 ton Olie 13,8 ton
Anvendelse	Produktion af el  Drift	CO <sub>2</sub> 8580 ton SO <sub>2</sub> 27 ton NO <sub>x</sub> 14 ton Støj Se tekst
Bortskaffelse	Deponering, afbrænding	?

Skema 2.2.9 Miljøpåvirkninger for 4. generations S-tog

Fase	Proces	Mængde/type
Udvinding af råmaterialer og fremstilling af råmaterialer	Emission ved produktion af energi, fremstilling af jern, kobber, aluminium, polymere og glas	CO <sub>2</sub> 900 ton SO <sub>2</sub> 5 ton NO <sub>x</sub> 3,5 ton Støv 0,1 ton Affald 160 ton Sp.vand ? ton
Produktfremstilling	Emission ved produktion af energi, forarbejdning, tilskæring, montering m.v. af materialer ved produktion af S-tog	CO <sub>2</sub> 320-480 ton SO <sub>2</sub> 1,4-2,0 ton NO <sub>x</sub> 1,1-1,7 ton  COD 282 ton BOD 1,5 ton N 27,6 ton P 3 ton Tungmet. 3,3 ton Olie 13,8 ton
Anvendelse	Produktion af el  Drift	CO <sub>2</sub> 6420 ton SO <sub>2</sub> 20 ton NO <sub>x</sub> 11 ton Støj Se tekst
Bortskaffelse	Deponering, afbrænding	?

Arbejds miljø ved udvinding og fremstilling af jern, kobber og aluminium vurderes ud fra typiske anmeldte arbejdsulykker i jern- og metalværker og støberier. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 sårskader, forstuvninger og bløddelsskader, der udgjorde omkring 72 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991 /9/. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 høreskader, bevægeapparatlidelser og luftvejssygdomme. Disse udgjorde omkring 70 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

Arbejdsmiljø ved udvinding og fremstilling af plast og gummi vurderes ud fra anmeldte arbejdsulykker inden for kemisk industri. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 sårskader, forstuvninger og bløddelskader, der udgjorde omkring 73 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991 /9/. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 bevægeapparatlidelser, hudsygdomme og høreskader. Disse udgjorde omkring 63 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

Arbejdsmiljø ved udvinding og fremstilling af glas vurderes ud fra brancherelaterede data /9/ fra sten-, ler- og glasindustrien. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 sårskader, forstuvninger og bløddelskader, der udgjorde omkring 75 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 høreskader, bevægeapparatlidelser og luftvejssygdomme. Disse udgjorde omkring 70 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### *Produktion af el*

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader som kan relateres til en produceret mængde elektricitet. I stedet kan anvendes brancherelaterede data /8/ fra energi- og vandforsyning, hvor ca. 67 % af de ansatte i 1991 var beskæftiget på elværker. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsulykker var i 1991 forstuvninger, sårskader og bløddelsskader, der udgjorde omkring 75 % af alle anmeldte arbejdsulykker inden for branchen i 1991. Tilsvarende var de 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 høreskader, bevægeapparatlidelser og luftvejssygdomme. Disse udgjorde 78 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### *Drift og vedligehold*

Arbejdsskader kan ikke opgøres på de nye S-tog eftersom de ikke er taget i brug endnu. Det er ikke muligt på nuværende tidspunkt at vurdere om antallet af arbejdsskader vil ændre sig ved indførelse af nye S-tog. I det følgende antages det, at der ikke vil være forskel på antallet af arbejdsskader i drift og vedligeholdelse af 2. og 4. generations S-tog.

DSB fører en omfattende statistik med arbejdsulykker ved drift og vedligeholdelse af S-tog. Antallet af arbejdsulykker i 1992 er illustreret nedenfor.

Der er ikke fundet konkrete oplysninger om arbejdsbetingede lidelser. I stedet anvendes data fra transportbranchen. De 3 hyppigst anmeldte arbejdsbetingede lidelser i 1991 var bevægeapparatlidelser, høreskader og hudsygdomme. Disse udgjorde omkring 79 % af alle anmeldte arbejdsbetingede lidelser inden for branchen i 1991.

#### *Bortskaffelse*

Der er ikke fundet oplysninger om arbejdsskader ved bortskaffelse af S-tog og ved den efterfølgende affaldsbehandling. Skrotning og affaldshåndtering indgår ikke i homogen branche. Det er derfor ikke muligt at opgøre arbejdsmiljøbelastningen ud fra branchedata.

Antallet af arbejdsskader kan opgøres ved at relatere forholdet mellem antal beskæftigede i konkrete virksomheder og antal beskæftigede i branchen med det samlede antal arbejdsskader i branchen. Dette er kun muligt,

hvis der er kendskab til antallet af beskæftigede i konkrete virksomheder. I LCO opgørelsen for S-tog er det kun i drift og vedligeholdelse, der er kendskab til antal beskæftigede. En anden metode til at opgøre antal arbejdsskader er at relatere forholdet mellem aktøromkostninger og en branches produktionsværdi med antallet af arbejdsskader i branchen. Dette er gjort for de øvrige faser i livscyklus.

Skema 2.2.10 Arbejdsulykker ved drift og vedligehold af S-tog i 1992.

Proces	Antal ulykker	Antal sygedage
Styring	1	12
Klargøring	9	326
Værksteder	28	356
Rengøring	2	69
Revisorer	20	229
Lokomotivpersonel	17	231

I skema 2.2.11 er angivet en opgørelse over eksternalitetsomkostninger ved arbejdsskader (ulykker + lidelser) på brancheniveau.

Skema 2.2.11 Arbejds miljøomkostninger (ulykker og lidelser) på brancheniveau fra /9/.

Branche	Eksternalitetsomkostninger per 100 kr produktionsværdi
Jern- og metalstøberier og værker	9,33
Sten- ler- og glasindustri	4,47
Kemisk industri	1,18
Energi og vand	0,67
Transportindustri	1,05 <sup>1</sup>

1) Kun arbejdsmiljøbetingsede lidelser.

Opgørelsen af skader i råvarer- og produktionsfaserne er baseret på aktøromkostninger og branchernes årlige produktionsværdier. I drift og vedligehold er antallet af ulykker per togsæt beregnet ud fra skema 2.2.10 ved at dividere med antal togsæt (150). Omkostningerne ved arbejdsbetingsede lidelser er beregnet ud fra aktøromkostningerne i driftsfasen i forhold til produktionsværdien i "Transport" branchen.

### 2.2.3 Klassificering

Klassificeringen består i at lægge de forskellige fysiske størrelser (ressourceforsøg, miljø- og arbejdsmiljøpåvirkninger) sammen i et overskueligt antal grupper. Princippet for grupperinddelingen er effekt kategorisering.

### Ressourcer

I dag er der ingen bred konsensus om, hvordan ressourcer operationelt kan klassificeres. Ofte tales der om inddeling af ressourcer i fornyelige versus ikke fornyelige ressourcer eller bæredygtige versus ikke bæredygtige ressourcer, men der er ingen operationelle kriterier. I denne opgørelse er der ikke foretaget nogen yderligere klassificering af ressourcer end den,

der fremgår af inventeringen.

## Miljø

I livscyklussammenhænge arbejdes der på at finde så mange operationelle "klasser" af miljøpåvirkninger som muligt. Det er dog kun en relativ lille andel af de miljøbelastninger, der kendes i dag, hvor der er bred konsensus om klassificering. Dette gælder for drivhuseffekt, nedbrydning af ozonlaget, forsuring, eutrofiering, dannelse af fotooxidanter og til en vis grad gener som støj og lugt. For de mere komplekse effekter som f.eks. human sundhed og økotoxicitet er der ikke nogen klassificering, der er bredt anerkendt og samtidigt kan anvendes operationelt. Der er dog udarbejdet flere forskellige metoder til klassificering af human sundhed og økotoxicitet. Her kan bl.a. nævnes diverse former for scoringsmetoder. Disse vil ikke blive benyttet her, fordi det primære formål er økonomisk vurdering af effekterne. I inventeringen er der indsamlet data om udledning af VOC'er. Denne gruppe af stoffer er således klassificeret. Princippet for den klassificering er den stoffernes fysiske egenskaber.

I inventeringen er der opgjort en række forskellige miljøeffekter. Nogle af disse kan klassificeres efter drivhuseffekt (CO<sub>2</sub> ækvivalenter), eutrofiering (næringsværdi i forhold til NO<sub>3</sub>, hvor et P atom regnes som 10 N atomer) og forsuring (SO<sub>2</sub> ækvivalenter) afhængigt af recipient (luft eller vand). Eksempelvis svarer 1 kg NO<sub>x</sub> til 0,7 kg SO<sub>2</sub> ækvivalenter. Et eksempel på klassificering af de kvantificerbare miljøpåvirkninger ved de to alternativer fremgår af skema 2.2.12.

Skema 2.2.12 Klassificering af miljøbelastning med stoffer

Fase	2. generations S-tog	4. generations S-tog
Udvinning og fremstilling af materialer	443 ton CO <sub>2</sub> 3,1 ton SO <sub>2</sub>	900 ton CO <sub>2</sub> 7,5 ton SO <sub>2</sub>
Forarbejdning af materialer og produktion af S-tog	320-480 ton CO <sub>2</sub> 2,2-3,2 ton SO <sub>2</sub> 1,9 ton VOC 41 ton nitrat 282 ton COD 1,5 ton BOD 3,3 ton tungmetal 13,8 ton olie	identisk med 2. generation
Drift og vedligeholdelse	8580 ton CO <sub>2</sub> 37 ton SO <sub>2</sub>	6420 ton CO <sub>2</sub> 28 SO <sub>2</sub>
Bortskaffelse	? ton CO <sub>2</sub> ? ton SO <sub>2</sub>	? ton CO <sub>2</sub> ? ton SO <sub>2</sub>

## Støj

Støj klassificeres ved at opgøre antallet af støjbelastede boliger inden for støjgrænserne 60-65 Db (A), 65-70 Db (A) og > 70 dB (A). DSB har lavet en meget foreløbig opgørelse over antallet af støjbelastede boliger langs de rene S-banestrækninger i døgnækvivalentintervallerne 60-65 Db (A), 65-70 Db (A) og > 70 Db (A). Støjniveauet afhænger af køreplanerne (hastigheden). Hvis der køres med den nuværende køreplan (S 93 V), vil de nye S-tog påvirke i størrelsesordenen 660 boliger i intervallet 60-65 Db (A). Støjniveauer og antal af belastede boliger ved indførelse af ny køreplan, hvor man udnytter de nye togs max hastighed, illustreres i skema 2.2.12.

I skema 2.2.13 angiver første tal i kolonnen antal boliger totalt set for S-togsdriften. Det andet tal angiver antal støjbelastede boliger relateret til et vognsæt. Det er forudsat, at alle S-togvogne kører lige meget og alle som 4-vogns togsæt. Det samlede antal støjbelastede boliger er således divideres med en faktor 150 for at finde et tal per vognsæt (150 svarer til 4 vogne/DSBs samlede antal vogne på 598).

### Arbejds miljø

Arbejds miljø er allerede klassificeret jævnfør afsnit 2.2.2 vedrørende arbejds miljø. Dette betyder ikke, at det ikke er muligt at klassificere arbejds-skader mere detaljeret.

Skema 2.2.13 Skønnet antal støjbelastede boliger.

Døgnstøjniveau	2. generations S-tog	4. generations S-tog	Relativ ændring
60 - 65 dB(A)	3240/22	800/5,3	-75 %
65 - 70 dB(A)	1760/12	490/3,3	-72 %
> 70 dB(A)	10/0,07	0/0	-100 %

### 2.2.4 Konvertering

#### Aktøromkostninger

Aktøromkostninger er opgjort i afsnit 2.2.2 og fremgår af skema 2.2.3 og 2.2.4. Konvertering er foretaget allerede ved dataindsamlingen.

#### Eksternaliteter

Af de forskellige miljøforhold, som er blevet opgjort, er det ikke alle, hvor en prissætning umiddelbart er muligt. Følgende forhold er det muligt at prissætte, når man tager forbehold for at der ved alle prissætninger er ganske betydelig usikkerhed:

- Luftforurening i form af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> emissioner, hvor det er skaderne ved luftforureningen som vurderes.
- CO<sub>2</sub> emissioner. Her det en afgift på CO<sub>2</sub>, som vurderes.
- Eksternalitetsomkostninger ved transport vurderet ud fra skader og offentlige udgifter.
- Arbejds miljøulykker og skader bestemt ud fra offentlige udgifter og produktionstab.

### Ressourceforbrug

I det følgende beskrives kort hvad de anvendte priser indeholder. Ressourceforbrug og spildevandsudledninger er ikke prissat. For forbrug af udtømmelige ressourcer gælder, at en prissætning kræver en bestemmelse af de tilgængelige reserver samt et omkostningsestimater på en alternativ teknologi. Dette er i princippet muligt, men der foreligger ikke direkte tilgængelige beregninger, hvorfor det er udeladt i denne opgørelse. For forbrug af fornybare ressourcer, primært vandforbrug, er princippet for vurdering om der skal beregnes en eksternalitetsomkostning lidt anderledes end for de udtømmelige.

Udgangspunktet vil være en vurdering af om det nuværende forbrug er bæredygtigt, således at der ikke sker en utømning af ressourcen. For hovedstadsområdet er der idag tale om transport af vand fra andre områder. Dette forhold er allerede afspejlet i en høj vandpris. En langsigtet analyse vil bestå i, at man vurderer om det nuværende forbrug kan opretholdes uden ekstra investeringer fx. til import af vand fra endnu fjernere områder samt anvendelse af overfladevand.

### *Spildevand*

For spildevandsudledningerne er der heller ikke gennemført en pris-sætning, idet der ikke foreligger anvendelige undersøgelser af skadesomkostningerne ved spildevandsudledninger.

### *Luftforurening*

Luftforureningen i form af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> giver anledning til en lang række skader af både lokal, regional og global art. I det omkostningsvurderinger som ligger til grund for de anvendte priser er det følgende typer af skader, der er forsøgt vurderet og prissat:

- effekter på menneskers sundhed
- skader på naturen (skovdød pga. forsurening og mindsket landbrugsproduktion pga. ozon)
- materiale skader i form af øget korrosion på bygninger og maskiner.

Omkostninger ved sundhedsskader kan fx. være vurderet ved at sammenligne sygelighed i områder med forskellig luftforureningsbelastning og derfra vurdere effekten af luftforureningen. Omkostningsvurderingerne af de ovenfor nævnte effekter fører til et samlet vurderingen af luftforurenings-skaderne. Disse fordeles ud på de enkelte emissionstyper på grundlag af en toksicitetsvurdering. NO<sub>x</sub> er således skønnet at være ca. 25% mere skadeligt end SO<sub>2</sub> /10/.

Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at der er en lang række forhold som ikke er med i de ovennævnte omkostningsvurderinger. Det betyder, at de anvendte priser på luftforurening er meget usikre og må betragtes som minimumsskøn.

For CO<sub>2</sub>-emissionernes vedkommende er det ikke muligt at lave en opgørelse af skaderne ved drivhuseffekten. Det skyldes primært at der er tale om fremtidige forhold, som kun kan skønnes med meget stor usikkerhed. Generelt anses drivhuseffekten for et så stort problem, at man kan forvente indgreb for at forebygge skader som følge af store klimændringer. Sådanne indgreb kan fx. tænkes at have form som en afgift på CO<sub>2</sub>-emissioner. For at give en eksempel på effekten af en afgift, er det valgt at beregne effekten af en CO<sub>2</sub> afgift på 300 kr pr. tons. En afgift af den størrelse skønnes på længere sigt at kunne reducere den danske CO<sub>2</sub> emission med 25% pr. år. /16/.

### *Støj*

Eksternalitetsomkostninger for støj er beregnet ved hjælp af Vejdirektoratets støjbelastningstal SBT /26/. Følgende formel og data er anvendt:

SBT = antal boliger i støjinterval 60-65 Db x 0,22

SBT = antal boliger i støjinterval 65-70 Db x 0,45

SBT = antal boliger belastet > 70 dB x 0,93

Eksternalitetsomkostninger på årsbasis: 33.315 kr/SBT. Nutidsværdien af eksternalitetsomkostningerne over en 25 årig periode kan derefter beregnes.

**Arbejds miljø**

Eksternalitetsomkostninger ved arbejdsskader opgøres ud fra gennemsnitsomkostninger ved behandling af skader og tabt arbejdsfortjeneste forårsaget af arbejdsmiljøpåvirkninger. Gennemsnitsomkostninger per ulykkestilfælde er opgjort til 64.000 kr. /9/.

Forudsætningerne for de anvendte priser vist i skema 2.2.14 nedenfor.

**Forudsætninger om priser**

Skema 2.2.14 Anvendte enhedspriser til bestemmelse af eksternalitetsomkostninger. (1993-kr.)

Emission/påvirkning	Grundlag for prissætning	Estimeret pris
SO <sub>2</sub> (kg)	Vurdering af skader	4,50 - 22,00
NO <sub>2</sub> (kg)		5,00 - 26,50
CO <sub>2</sub> (ton)	Afgift	300
Arbejdsskader (antal)	Gennemsnitsomkostning for ulykkestilfælde (død undtaget)	64.000
Støj 60-65 Db(A) 65-70 Db(A) > 70 Db(A)	Vejdirektoratets støjmodel for årlige omkostninger for støj	33.315/(boliger x 0,22) 33.315/(boliger x 0,45) 33.315/(boliger x 0,93)

I skema 2.2.15 og 2.2.16 nedenfor er miljøpåvirkningerne for de to typer S-tog prissat. Nutidsværdien for eksternalitetsomkostninger i anvendelsesfasen er beregnet med 6 % per år.

Skema 2.2.15 Eksternalitetsomkostninger for 2. generations S-tog

Fase i livscyklus	Proces	Mængde/type	Eksternalitetsomkost.(1000 kr)
Råmaterialer	Emission ved produktion af energi, fremstilling af jern, kobber, aluminium, polymere og glas	443 ton CO <sub>2</sub> 3,1 ton SO <sub>2</sub> arb.skader	133 14 - 68 3,0
Produktion	Emission ved produktion af energi, forarbejdning, tilskæring, montering m.v. af materialer ved produktion af S-tog	320-480 ton CO <sub>2</sub> 2,2-3,2 ton SO <sub>2</sub> 1,9 ton VOC 41 ton nitrat 282 ton COD 1,5 ton BOD 3,3 ton tungmetal 13,8 ton olie arb.skader	96 - 144 9,9 - 70 8,5 - 42 ? ? ? ? ? ? 1825
Anvendelse	Produktion af el Drift	8580 ton CO <sub>2</sub> 37 ton SO <sub>2</sub> arb.skader  Antal støjbelastede boliger: 60-65 dB 22 stk 65-70 dB 12 stk > 70 dB 0,07 stk	1316 85 - 416 1089  4.310
Bortskaffelse	Demontering Deponering	Ydre miljø Arb.miljø	? ?

Skema 2.2.16 Eksternalitetsomkostninger for 4. generations S-tog

Fase i livscyklus	Proces	Mængde/type	Eksternalitetsomkost. (1000 kr)
Råmaterialer	Emission ved produktion af energi fremstilling af jern, kobber, aluminium, polymere og glas	900 ton CO <sub>2</sub> 7,5 ton SO <sub>2</sub> arb.skader	270 34 - 165 36
Produktion	Emission ved produktion af energi, forarbejdning, tilskæring, montering mv. af materialer ved produktion af S-tog	320-480 ton CO <sub>2</sub> 2,2-3,2 ton SO <sub>2</sub> 1,9 ton VOC 41 ton nitrat 282 ton COD 1,5 ton BOD 3,3 ton tungmetal 13,8 ton olie arb.skader	96 - 144 9,9 - 70 8,5 - 42 ? ? ? ? ? ? 1280
Anvendelse	Produktion af el  Drift	6420 ton CO <sub>2</sub> 28 ton SO <sub>2</sub> arb.skader  Antal støjbelastede boliger: 60-65 dB 5,3 stk 65-70 dB 3,3 stk > 70 dB 0 stk	985 64 - 314 1078  1.130
Bortskaffelse	Demontering Deponering	Ydre miljø ? Arb.miljø ?	? ?

### 2.2.5 Opgørelse

#### Afgrænsning

De to generationer af S-tog er ikke egentlige alternativer, men illustrerer de miljømæssige konsekvenser af den teknologiske udvikling i produktionen af S-tog. Samtidigt får man dog vist principperne ved anvendelse af LCO-opgørelser til sammenligning mellem alternative produkter.

S-toget er et meget kompliceret industriprodukt. Det er derfor ikke muligt at medtage alle materialer og alle komponenter i opgørelsen. Konkret er materialer, der indgår med mindre end 1% af togets vægt, ikke medtaget. Det drejer sig om ca. 10% af vægten, der udgøres af ikke-medtagne materialer. En sådan afgrænsning kan være kritisk, hvis der er specielle øko- eller humantoksiske stoffer blandt de ikke-medtagne.

Det er tidligere argumenteret, at mulige uønskede materialer sandsynligvis kan substitueres med mindre skadelige stoffer. I en analyse, der eventuelt skal danne baggrund for beslutning om valg af et bestemt alternativ, bør sådanne skadelige stoffer identificeres, således at man kan sikre, at de bliver erstattet med mindre skadelige materialer.

#### Prissætning

Prissætningen er det centrale i LCO-opgørelsen, som har til formål at belyse størrelsen af miljøomkostninger med henblik på at kunne identificere det mest miljøvenlige alternativ.

Ved beregningen af både aktør- og eksternalitetsomkostninger i drifts- og vedligeholdelsesfasen er der lavet nutidsværdiberegninger. Det betyder, at alle omkostninger i S-togets levetid (25 år) er tilbagediskonteret til 1993 kr. med brug af en realrente på 6%.

Aktøromkostningerne kan i den foreliggende opgørelse primært anvendes til at sammenligne størrelsesordenen af de direkte produktions og driftsomkostninger med miljøomkostningerne.

Det har kun været muligt at prissætte visse typer af luftforurening, støj samt arbejdsmiljø. Luftforureningen er prissat ud fra skadesvurderinger, som danner baggrund for estimation af enhedspriser. Dette gælder for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. For CO<sub>2</sub> er anvendt et andet princip, idet omkostningen her er bestemt ud fra en afgift pr. kg CO<sub>2</sub>. Eksternalitetsomkostningen ved støjbelastning er beregnet ud fra Vejdirektoratets støjpris. Den bygger på undersøgelser af betalingsvillighed og inkluderer som den eneste af de anvendte eksternalitetspriser også individeres velfærdstab.

Arbejdsmiljøomkostningerne er baseret på branchedata, og der er ikke taget stilling til om produktion og drift af S-tog adskiller sig fra forholdene i de respektive brancher. For driftsfasen er der dog anvendt DSB's egne ulykkestal.

Der er betydelig usikkerhed forbundet med de anvendte eksternalitetspriser. Denne usikkerhed har to niveauer. For det første usikkerhed om alle væsentlige effekter fra en given emission er inkluderet i prissætningen. Dernæst om de medtagne effekters størrelse er rigtigt vurderet. Derfor er usikkerheden større end de intervaller, der er angivet i tabellerne.

Eksternaliteter ved vandforbrug og spildevandsudledning, samt eksternaliteter ved affaldsbortskaffelse har det ikke været muligt at prissætte.

## Konklusion

I tabellerne 2.2.17 og 2.2.18 er de samlede LCO omkostninger opgjort for de to alternativer.

Skema 2.2.17 Opgjorte livscyklusomkostninger for 2. generations S-tog i mio. kr.

Fase	Aktøromkostninger (mio. kr.)	Eksternalitetsomkostninger (mio. kr.)
Udvinning og fremstill. af råmaterialer	0,385	0,18 - 0,23
Forarbejdn. af materialer/produktfremstilling	73,615	1,94 - 2,08
Drift og vedligehold	66,00	6,80 - 7,13
Bortskaffelse	0,210	?

Skema 2.2.18 Opgjorte livscyklusomkostninger for 4. generations S-tog i mio. kr.

Fase	Aktøromkostninger	Eksternalitetsomkostninger
Udvinning og fremstilling af råmaterialer	0,440	0,34 - 0,47
Forarbejdn. af materialer/produktfremstilling	51,560	1,40 - 1,54
Drift og vedligehold	54,300	3,26 - 3,51
Bortskaffelse	0,018	?

Opgørelsen viser, at eksternalitetsomkostningerne udgør ca. 5% af de samlede LCO omkostninger. Den største del af eksternalitetsomkostningerne ligger i driftsfasen. Det vil som oftest være tilfældet for produkter, der har en lang driftsfase i forhold til selve produktionen. Det ses endvidere, at for de enkelte faser er det råmaterialefremstillingen, der har de største eksternalitetsomkostninger i forhold til aktøromkostningen, mens de er mindst i selve produktionsfasen.

På grund af de forskellige principper for prissætningen af luftforurening, støj og arbejdsmiljø kan man ikke umiddelbart sammenligne størrelsen af de tre eksternalitetstyper.

Sammenligningen af de to generationer viser, at det nye S-tog har en mindre miljøbelastning i driftsfasen, både luftforurening og støj.

Tilgængæld er der et større ressourceforbrug i råmaterialefasen. Dette illustrerer samtidigt de store vanskeligheder med at anvende LCO-opgørelser til at vælge mellem alternativer. Er ikke alle eksternaliteter prissat må man inkludere en kvalitativ vurdering af de ikke-prissatte forhold.

Ved sammenligning af de to generationer af S-tog skal man være opmærksom på, at enheden her er et togsæt. De nye S-tog forventes at få flere sidepladser end 2. generationstogene. Hvis en større kapacitet pr. togsæt betyder, at der bliver transporteret flere passagerer, vil man ved sammenligning mellem de to S-tog skulle beregne LCO pr. personkilometer i stedet for pr. togsæt.

### 2.2.6 Referencer til kapitel 2.2

- /1/ Elvers B, et al. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Fifth, Completely Revised Edition, Vol. A14, 1989.
- /2/ Andersen F M, et al. INDUS - version 2 EMIS. En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. Forskningscenter Risø, 1991.
- /3/ Miljøstyrelsen. Miljø- og arbejdsmiljøvurdering af materialer. Miljøprojekt nr. 204, 1992.
- /4/ Gerhartz W, et al. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Fifth, Completely Revised Edition, Vol. A7, 1986.
- /5/ Gerhartz W, et al. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Fifth, Completely Revised Edition, Vol. A1, 1985.
- /6/ Deponeringsomkostninger for 1 tons affald hos AV-Miljø per 19. maj 1993.
- /7/ DSB: Miljøteknisk Revision, Depotværkstederne, oversigt over miljørelationer IC3 værksted.
- /8/ Personlig oplysning: Klaus S Jensen, ABB Scandia. Oktober 1993.
- /9/ COWIconsult/IPU: Miljø- og arbejdsmiljøomkostninger på brancheniveau - Et pilotprojekt. Rapportudkast udarbejdet for Miljøstyrelsen september 1993.
- /10/ DSB, S-togsdivisionen. Luftemissioner ved personbilkørsel contra S-togskørsel. April 1993.
- /11/ Simapro, version 2.0. Softwaretool for LCA.
- /12/ Winge U. Personlig oplysning, nov. 1993.
- /13/ Kjems E. Personlig oplysning, nov. 1993.
- /14/ Danmarks statistik. Tiårsoversigt.
- /15/ Vejdirektoratet. Trafikøkonomiske enhedspriser. 1992.
- /16/ Det økonomiske råd. Dansk økonomi. Maj 1993

## 2.3 TV-apparat

Dette afsnit beskriver livscyklusomkostningerne for et 28" B&O farve-TV gennem en estimeret levetid på 10 år samt arbejdet med at opgøre disse. Caseopgørelsen er foretaget på B&O i Struer. Dette delprojekt er et af 4 casestudier, der er udarbejdet i forbindelse med LCO-projektet. De øvrige casestudier omhandler et NOVOslam, et S-tog og en højtryksrenser. COWiconsult og IPU har hver især udarbejdet casestudier i samarbejde med de implicerede virksomheder (Novo Nordisk, DSB, KEW og B&O) /2/, /3/, /4/ og /5/.

Dette casestudie har været det langt mest detaljerede af de 4, da projektgruppen her fik adgang til de meget detaljerede informationer, som er en forudsætning for en dækkende afprøvning. Dette gælder både informationer omkring miljøforhold og aktøromkostningssiden (bla. virksomhedens egne interne omkostninger). Sidstnævnte er uhyre centrale i en konkurrencesituation, og behæftet med fuld fortrolighed. Projektgruppen har derfor alene haft adgang til disse med det formål at kunne gennemføre en realistisk afprøvning af den udviklede metode. Dette har givet megen værdifuld erfaring om anvendelsen af metoden og manualen - omvendt betyder det, at der ikke kan publiceres nogle konkrete tal.

I de følgende afsnit gennemgås opgørelsesforløbet med henblik på at uddrage de centrale generelle erfaringer og konklusioner.

### 2.3.0 Sammenfatning

Der er ikke tale om en egentlig miljøvurdering af produktet, men om et estimat af de omkostninger, der udløses pga. de aktiviteter, som tilsammen udgør produktets livscyklus. Parallelt med de traditionelt betragtede omkostningselementer (aktøromkostninger) forsøges det offentlige udgifter samt øvrige eksternaliteter prissat og inddraget i analysen. I denne rapport er kun en meget lille del af samtlige potentielle eksternaliteter prissat og indregnet i LCO-opgørelsen. Det drejer sig om nogle få af de typisk energibaserede atmosfæriske emissioner, samt et udtryk for uhelds-omkostninger i forbindelse med vejbaseret godstransport.

En stor del af den resulterende opgørelse baserer sig på estimater, da de nødvendige informationer ikke har været tilstede på den ønskede form. Det repræsenterer dog det bedste skøn, der kan etableres. Som udtryk for aktøromkostningerne i produktionsfasen benyttes den del af B&Os samlede interne omkostninger, som var umiddelbart tilgængelig.

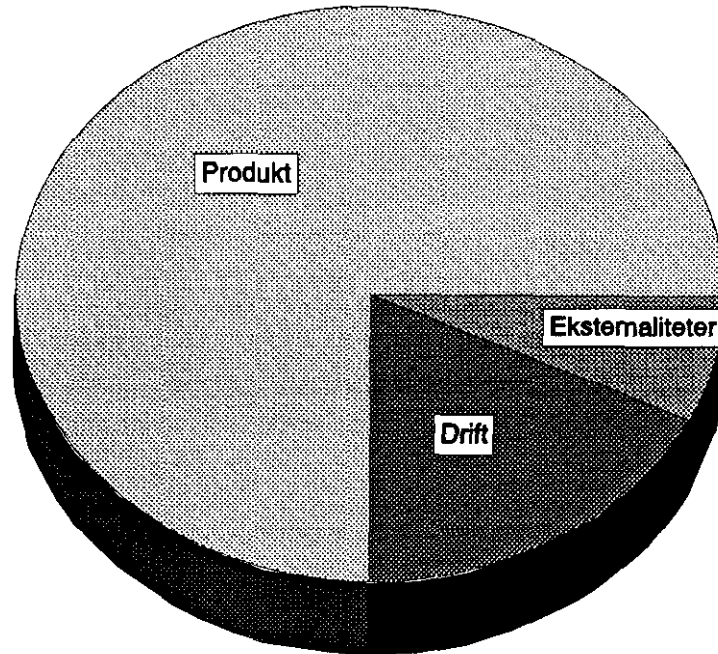
Arbejdet er udført i samarbejde med B&O, som har været behjælpelig med en stor del af talmaterialet bag denne opgørelse.

Størrelsesordenen af de opgjorte omkostningsgrupper set fra en brugers synspunkt er vist i figur 2.3.1.

Hele figuren dækker 100 % af LCO. Det skal endnu en gang bemærkes, at

tallet for "Eksternaliteter" (7 %) kun indeholder de elementer, som er opgjort i dette projekt. Det drejer sig primært om omkostninger ved atmosfærisk emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. "Drift" (18 %) dækker brugerens driftsomkostninger gennem hele livscyklus. "Produkt" (75 %) repræsenterer produktets markedsværdi.

FARVE TV  
Opgørelse af LCO



Figur 2.3.1 LCO for 28" Farve-TV.

### 2.3.1 Planlægning og afgrænsning

Et TV-apparat er et meget sammensat og komplekst produkt. Opgaven med at opgøre LCO for alle produktets dele ville i denne sammenhæng være for tidskrævende. Derfor blev opgørelsen i høj grad baseret på en eksisterende opgørelse af miljøforholdene for dette produkts livscyklus /8/.

Det skal bemærkes, at dette casestudie, hvad langt hovedparten af arbejdsindsatsen angår, er udført af IPU/COWI.

Livscyklusbeskrivelsen for TV-apparatet er beskrevet i ovennævnte rapport. Det blev valgt at anvende samme afgrænsning, da dette ville lette anvendelsen af data fra den eksisterende miljøopgørelse.

Formen på denne livscyklusopgørelse følger princippet SETACs metode til livscyklusvurdering /14/. Dette princip bygger på faserne "inventory, classification og valuation". I denne opgørelse er "valuation" kaldet konvertering. Her gøres et forsøg på prissætning af ressource-, miljø- og arbejdsmiljøforhold.

#### Skema 1. Formål og Afgrænsning

<u>Formål</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- Det primære formål er en absolut opgørelse.</li><li>- Evt. kan der opstilles alternativer på baggrund af identificerede variationsmuligheder.</li></ul>				
<u>Målgruppe</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- Målgruppen er B&amp;O som helhed. Der sigtes ikke mod én specifik virksomhedsfunktion.</li><li>- Sekundær målgruppe er IPU/COWI, som ønsker erfaringsopbygning mhp. revidering af metode/manual + vejledning.</li></ul>				
<u>Produktdefinition</u> Navn : Beovision LX5500. Type : 28" farve-TV. Enhed : 1 stk. TV i dets levetid (= 10 år) med 6 timers dagligt forbrug. Producent : Bang & Olufsen A/S, Struer, DK				
<u>Livscyklusafgrænsning</u>				
	Ressourcer	Ydre Miljø	Arbejds miljø	Økonomi
- Råmaterialer	Ja	Ja (energi-baseret)	Nej (ukendt)	Ja
- Produktion	Ja (energiressourcer)	Ja	Ja	Ja
- Distribution	Ja (energiressourcer)	Ja (energi-baseret)	Ja (uheldsforhold)	Ja
- Brug	Ja (energiressourcer)	Ja (energi-baseret)	Nej (uden betydning)	Ja
- Bortskaffelse	Ja	Ja	Nej (ukendt)	Ja

#### Formål

Det primære formål blev defineret som en absolut opgørelse i modsætning til en rent relativ betragtning, hvor kun afvigelser mellem det betragtede produkt og en reference analyseres. På baggrund af en absolut opgørelse kunne der efterfølgende - f.eks. hvis der identificeredes væsentlige

omkostningsinitiatorer - foretages relative analyser som f.eks. what-if scenarier.

Det overordnede formål med at lave denne opgørelse var at synliggøre livscyklusomkostningerne for produktets livscyklus.

I forbindelse med dette projekt skulle case-opgørelsen bruges til:

- at opbygge erfaring med metode og manualskemaer
- at få et illustrativt eksempel til forklaring af LCO-koncept og -metode
- at synliggøre anvendeligheden af LCO-konceptet overfor en bredere kreds.

Case-arbejdet blev gennemført mhp. at opfylde/tage hensyn til alle delformål samtidigt, så vidt dette var muligt.

Et TV består af mange delkomponenter, hvis fremstilling kræver udførelsen af en lang række aktiviteter. Det var ikke muligt - og heller ikke meningen med dette case-studie - at alle disse aktiviteter skulle beskrives detaljeret, men for at illustrere LCO-metoden og anvendelsen af skemaerne i manualen, blev der udvalgt en komponent og de aktiviteter, som udføres hos B&O for at fremstille netop denne komponent. Den øvrige LCO-opgørelse blev gennemført på et mere overordnet niveau.

#### *Målgruppe*

Rekvirenten af undersøgelsen og den primære målgruppe blev defineret som produktudviklingsfunktionen hos B&O. De udgjorde den umiddelbare indgang til virksomheden, og sørgede for at iværksætte og styre kommunikationen mellem øvrige virksomhedsfunktioner på B&O og IPU/COWI.

#### *Deltagere*

Udover B&Os produktudvikling deltog følgende fra berørte virksomhedsfunktioner:

- miljømedarbejder
- repræsentant fra den interne sikkerhedsorganisation
- repræsentant fra personaleafdelingen
- repræsentant fra økonomiafdelingen
- repræsentant fra salg/marketing (Teknisk Produkt Support)

#### *Arbejdsform*

Analyseforløbet blev startet med et møde efter den indledende kontakt. I dette møde deltog - udover B&Os produktudviklingsfunktion - repræsentanter fra de 3 førstnævnte funktioner i ovenstående liste og IPU/COWI. På mødet blev etableret de første kontakter til centrale virksomhedspersoner. Efterfølgende har IPU pr. tlf., brev og FAX (delvist via kontaktpersonen hos B&O) kontaktet de relevante personer hos B&O, og rekvireret de nødvendige informationer. Selve analysen blev således udført af IPU. Dvs. manualens skemaer har ikke været udsendt til virksomheden til udfyldelse.

#### *Produktdefinition*

Det betragtede produkt var et 28" farvefjernsyn, fabrikat B&O.

Produktenheden blev defineret som:

*1 stk produkt i dets levetid. Levetiden antages at være 10 år. I denne periode antages TV-et brugt 6 timer dagligt.*

#### *Afgrænsning*

Hele produktets livscyklus blev betragtet. Dvs. startende med fremstilling af råmaterialer over produktion, distribution og brug til bortskaffelse af produktet. Det skal bemærkes, at fasen "Distribution" dækker alle transporter af produktet (eller indgående materialer) gennem hele produktets livscyklus, og altså ikke kun distribution af produktet fra produktion til forbrugere.

#### *Fokusering*

Ikke alle dele af produktets livscyklus blev analyseret med samme detaljeringsgrad. Ligeledes var der forskel på, hvilke informationer, der blev fokuseret på i de forskellige livscyklusfaser. Dette illustreres i skema 1 ved "ja" eller "nej" udfor de 4 grupper af beskrivelsesparametre: Ressourcer, Ydre miljø, Arbejdsmiljø og Økonomi. Der er flere grunde til denne fokusering. For det første var der stor forskel på hvilke data, der var tilgængelige indenfor rammerne af analysens begrænsninger. Det har bl.a. været afgørende, hvor meget tid der var til analysen, hvilket formål analysen havde, hvilke informationer der var tilgængelige, etc.

De forhold (økonomiske og miljømæssige), der blev fokuseret på, kan inddeles i 4 kategorier:

#### Ressourcer

Ressourceparametrene dækker forbruget af materialer og energi. Hvad materialerne angår antoges dette dækkende beskrevet ved en opgørelse over de i produktet indgående materialer /8/ (tillagt 10 % produktionsspild hos råvareleverandører) samt en opgørelse over materialespildet i produktionsfasen hos B&O. Materialespild fra de øvrige livscyklusfaser eller forbrug af hjælpestoffer blev ikke medtaget.

Hvad energiressourcer angår, betragtedes energiforbruget til fremstilling af de indgående materialer, energiindholdet i materialerne (brændværdi), energi til produktfremstillingsprocesserne, energi til samtlige transporter i livscyklus, energiforbrug ved brug af produktet og energiforbrug/-produktion ved bortskaffelse.

#### Ydre miljø

Beskrivelsen af emissioner til ydre miljø opdeles i 2:

Procesbårne emissioner:

(emissioner hidrørende direkte fra de beskrevne livscyklusaktiviteter)

Energibårne emissioner:

(emissioner hidrørende fra fremstillingen af den i aktiviteterne forbrugte energi)

Energibårne emissioner blev medregnet generelt alle steder, hvor der skete et energiforbrug. Hvad procesbårne emissioner angår, medregnedes følgende i de enkelte livscyklusfaser:

Råmaterialer:	standardemissioner for nogle få udvalgte materialer.
Produktion:	oplysninger om emissioner til luft og vand samt fast affald fra produktionen og oplysninger om affaldsbehandling
Distribution:	standardemissioner for det opstillede transportscenarium
Brugsfasen:	intet
Bortskaffelse:	affaldsmængden fra det opstillede bortskaffelses-scenarium (en del af produkterne forbrændes, og der vil herfra være emissioner til luften, men disse er ikke medregnet her).

#### Arbejdsmiljø.

Arbejdsmiljøpåvirkningen (som måske i virkeligheden burde kaldes sundhed) blev primært vurderet for produktionsfasen og i begrænset omfang for distributionsfasen (data om uheldsforhold). Det skyldes dels, at det var de eneste dele af produktets livscyklus hvorom der fandtes relevante informationer, og dels at det øvrige skønnedes at være relativt uvæsentligt. Muligvis ville bortskaffelsen ved en nærmere analyse have vist sig interessant, men den blev her fravalgt. Endelig var der det specielle ved netop denne analyse, at et væsentligt formål var illustration af LCO-konceptet og principperne ved opgørelsesmetoden, og at dette ikke kræver at alle faser analyseres i alle detaljer for alle forhold. I takt med at de øvrige faser i dette projekt frembringer f.eks. branchetal for arbejdsmiljøforholdene, vil disse kunne indarbejdes. Dette kunne i alle tilfælde tænkes relevant for f.eks. minedrift, elektromekanisk produktion, transportsektoren, bortskaffelsesbranchen, osv.

#### Økonomi

Den sidste gruppe af beskrivelsesparametre er de privatøkonomiske forhold for aktørerne (aktøromkostningerne) omkring de pågældende aktiviteter. Disse er søgt beskrevet generelt overalt, hvor dette har været muligt.

Alle beløb friholdtes for moms, mens div. afholdte afgifter ikke udskiltes. På den måde opnåedes det bedste billede af den oplevede økonomiske belastning set fra de primære målgruppers side. Når afgifterne ikke blev udskilt betyder det samtidigt en afskærelse fra at kunne se på de indtægter, som det offentlige har fra disse afgifter. F.eks. regnedes der ikke i denne opgørelse med det offentliges indtægt fra registreringsafgift og vægtafgift som en konsekvens af transportaktiviteter. Man kunne måske argumentere for at disse skulle medregnes på indtægtssiden for det offentlige, eftersom vi indirekte medregnede det offentliges sygehusomkostninger som følge af de samme transportaktiviteter på udgiftssiden. Det kunne tænkes, at man kom frem til et andet resultat, hvis man foretog en komplet opgørelse af det offentliges omkostninger til transport, men det ville føre for vidt i denne analyse.

## Aktivitetsliste

### 2.3.2 Inventering

Andet trin i metoden er "Inventering", som startede med en opstilling af en liste over samtlige aktiviteter i produktets livscyklus. Aktivitetslisten er en sammenstilling af samtlige aktiviteter i produktets livscyklus. Det viste sig nødvendig at samle en række aktiviteter eller en hel fases aktiviteter til en samleaktivitet og beskrive denne som en aktivitet. Aktivitetslisten for det samlede produkts vedkommende er gengivet nedenstående i skema 2. I opstillingen af aktivitetslisten blev i virkeligheden foretaget endnu en afgrænsning.

Skema 2. Aktivitetsliste

<b>Råmaterialer</b> Fremstilling af: <ul style="list-style-type: none"><li>- Aluminium</li><li>- Kobber</li><li>- Jern</li><li>- Plast</li><li>- Glas</li><li>- Bly</li></ul>
<b>Produktion</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Sprøjtstøbning</li><li>- Klippe</li><li>- Stans/bukke</li><li>- Fræse</li><li>- Slibe</li><li>- Polere</li><li>- Rense/afgrate</li><li>- Alkalisk affedtning</li><li>- Anodisere</li><li>- Male/lakere</li><li>- Silke-/tampontryk</li><li>- Montage</li></ul>
<b>Distribution og salg</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Kabinetforp., kabinet og bagparti fra råvareleverandører til B&amp;O.</li><li>- HT-boxe, ALU-profil, frontglas og billedrør fra råvareleverandører til B&amp;O.</li><li>- Basenheder fra råvareleverandører til B&amp;O.</li><li>- TV fra B&amp;O til terminaler og salgsled.</li><li>- TV fra terminaler til brugere.</li><li>- TV fra brugere til deponi.</li><li>- TV fra brugere til forbrænding.</li></ul>
<b>Brug</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Almindelig brug (herunder service/reparation)</li></ul>
<b>Bortskaffelse</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Forbrænding af TV.</li><li>- Deponering af TV.</li></ul>

### Råmaterialefasen

I den aktuelle analyse er der foretaget følgende tilnærmelser:

Baggrunden for aktivitetslisten er en beskrivelse af materialeindholdet i 1 stk. produkt. Råmaterialefasen for hele produktet beskrives ved en samleaktivitet "fremstilling af råmaterialer".

### Produktionsfasen

Et dækkende udsnit af B&Os egne produktionsprocesser står beskrevet i /8/, hvorfra data er hentet til beskrivelse af fasens aktiviteter mht. materialeforbrug, emissioner og arbejdsmiljø. Angående økonomi og arbejdsskader/-ulykker er der indhentet yderligere information fra B&O /10/. Den samlede produktionsfase er beskrevet som en samleaktivitet, men for at illustrere principperne bag LCO-opgørelsen, blev der udvalgt en komponent til detaljeret analyse på aktivitetsniveau.

### Distributionsfasen

Distributionsfasen omfatter alle transporter i produktets livscyklus. På bag-

grund af en komplet opgørelse over alle transportere i livscyklus, blev denne fase inddelt i to samleaktiviteter:

- 1 Transporter fra leverandører til B&O og distribution til forhandlerled. Den transporterede mængde er de indgående materialer i 1 TV + 10 % spild i produktionen.
- 2 Transporter til kunden, under brug (bla. reparation/service) og til bortskaffelse. Spild som følge af uheld i forbindelse med transport medregnes ikke.

For hver af disse blev det samlede transportbehov opgjort og angivet ved typen af transportmiddel og mængden af transport. Mængden af transport blev baseret på transportafstand og vægten af det transporterede.

Det antoges, at den gennemsnitlige transportafstand fra forhandler/serviceværksted til brugeren er 20 km. I brugsfasen blev det antaget, at en reparation hver anden gang kræver at radiomekanikeren medtager TV'et til værksted for reparation, hvorefter han returnerer det til ejeren.

Den gennemsnitlige transportafstand fra bruger til forbrændingsanstalt blev vurderet til at være 30 km. Tilsvarende vurderedes afstanden fra bruger til deponi til at være 15 km.

#### *Brugsfasen*

Det antages i denne analyse, at brugeren anvender TV'et i 6 timer pr. døgn, og at TV'et i de resterende 18 timer står stand-by.

#### *Bortskaffelsesfasen*

En undersøgelse lavet i forbindelse med referenceproduktopgørelsen /8/, når frem til at bortskaffelsen af TV'et efter endt brug fordeles som følger:

- 30 % forbrændes hele i offentligt forbrændingsanstalt.
- 70 % deponeres

#### *Beskrivelsesparametre*

Ved hjælp af beskrivelsesparametrene blev alle aktiviteterne (eller samleaktiviteterne) i produktets livscyklus beskrevet med hensyn til deres økonomiske og miljømæssige konsekvenser. Dette blev gjort på en række niveauer, dækkende en enkelt aktivitet, en gruppe af aktiviteter (samleaktivitet), hele livscyklusfaser eller hele produktet. Til illustration af den detaljerede analyse, blev der udvalgt en komponent og dermed de aktiviteter, som denne komponent gennemløb i produktion hos B&O.

I det følgende beskrives datagrundlaget og talmæssige antagelser for hver livscyklusfase. De konkrete tal og kildematerialet bag tallene er fortroligt. Bla. drejer det sig om den eksisterende referenceproduktopgørelse, en intern kostprisopgørelse, opgørelse af virksomhedsspecifikke omkostninger til bortskaffelse af affalds- og spildprodukter, fordeling af virksomhedstal efter en estimeret fordelingsnøgle, f.eks. m<sup>2</sup> lager, m<sup>2</sup> kontor og m<sup>2</sup> produktion, etc.

#### *Råmaterialeaktiviteter*

Med de tidligere nævnte antagelser, kunne denne fases aktiviteter beskrives som en helhed (samleaktivitet).

Som udtryk for den økonomiske størrelsesorden af aktiviteterne i denne fase, blev B&Os indkøbspris for materialerne anvendt. Det er klart, at der derved blev introduceret en fejl, og at den teoretisk korrekte fremgangsmåde ville have været at spore de indgående materialer tilbage til minen. Dette ville dog have været en håbløs opgave, da mange af de indgående materialer allerede i sig selv er sammensatte og højt forarbejdede komponenter, med en lang produktionshistorie bag sig.

Mht. materialeforbruget antoges dette at være udtrykt ved materialeindholdet i det færdige produkt tillagt 10 % til produktionsspild.

Energiforbruget blev beregnet som bestående af 4 bidrag:

- 1) energiindholdet/brændværdien i de indgående råmaterialer (opgjort som ovenfor beskrevet).
- 2) energiforbruget til fremstilling af primære råmaterialer (standardtal).
- 3) energiforbruget til mekanisk produktion hos underleverandører = 2 x B&Os eget energiforbrug til produktion. Dette blev gjort ud fra en antagelse om at typen af produktion typemæssigt ligner B&Os produktion og omfanget af produktion hos underleverandører svarer til ca. det dobbelte af B&Os egne aktiviteter.
- 4) energiforbruget til fremstilling af udvalgt komponent.

Mht. Emissioner til ydre miljø, blev B&Os egen opgørelse anvendt ud fra standardtal for udvalgte materialer.

#### Produktionsfasen

#### *Produktionsaktiviteter*

Specielt for dette casestudie blev alle aktiviteter ikke beskrevet ned til mindste detalje. Til illustration af den detaljerede analyse, blev der udvalgt en komponent og dermed de aktiviteter, som denne komponent gennemløber i produktion hos B&O. Komponenten gennemløber i alt 11 aktiviteter, som i detaljer blev analyseret og beskrevet på skemaform. Denne måde at opgøre omkostninger på viste sig at være meget ulig den, som B&O benyttede til intern kostprisberegning af komponenten, og resultaterne blev således også væsentligt forskellige. Det viste sig at komponenten var betydeligt dyrere at producere for B&O, når alle spilstrømme og energiforbrug blev indregnet.

Beskrivelsen af hele produktet var således ikke en sammenstilling af beskrivelserne af samtlige delaktiviteter i produktionsforløbet af samtlige komponenter. Aktøromkostningerne blev estimeret på baggrund af B&O's egne interne produktionsomkostninger i produktionsfasen.

#### Distributionsfasen.

#### *Distributionsaktiviteter*

Aktøromkostningen ved transporter til B&O antoges at være inkluderet i B&Os indkøbspris. Denne blev derfor regnet for 0 i den samlede opgørelse. For eksemplets skyld blev aktøromkostninger ved transport dog medtaget i de skemaer, som beskriver enkelte underliggende aktiviteter. Til estimering af aktøromkostningerne forbundet med transport, blev takstblade fra Danske Vognmænd /12/ anvendt. Taksterne opgives til at være:

- små lastbiler: 6,10 kr/km + 204 kr/time ventetid
- store lastbiler: 10,80 kr/km + 319 kr/time ventetid

Mht. energiforbrug og emissioner anvendtes standardtal.

Arbejdsmiljø blev ikke medregnet.

#### *Brugsaktiviteter*

Brugsfasen

Angående aktøromkostninger blev der her medregnet:

- aktør = producent
  - garantiomkostninger
  
- aktør = bruger
  - produktets pris
  - driftsomkostninger (forbrugerpris for elforbrug)
  - reparationsomkostninger

Mht. materiale/energiforbrug, emissioner og arbejdsmiljø blev der kun medtaget energiforbruget til normal drift og hertil relaterede emissioner.

Det betyder at:

- materialeforbrug til reservedele blev sat til 0
- varmegærdi ved tændt TV i stuen ikke blev medregnet

#### *Bortskaffelsesaktiviteter*

Bortskaffelsesfasen

Det er estimeret, at 30 % (af alle B&O's TV) forbrændes med en estimeret varmegenvindingsvirkningsgrad på 60 % af hele TV'ets potentielt udnyttelige energiindhold. Det antoges, at kun plastkomponenterne har en brændværdi.

De resterende 70 % deponeres. Oplysninger om de resulterende affaldsmængder blev hentet fra /8/.

Fra disse typer bortskaffelse vil der være tale om atmosfæriske emissioner. Disse blev ikke medregnet.

Arbejdsmiljøforhold i forbindelse med bortskaffelse, som måske ville være interessant at analysere, blev heller ikke medregnet.

### **2.3.3 Klassificering**

I analysen blev eksternaliteterne i forbindelse med de enkelte aktiviteter alene klassificeret efter:

- emissioner af CO<sub>2</sub>
- emissioner af SO<sub>2</sub>
- emissioner af NO<sub>x</sub>
- antal km transport
- produktionsværdi hos relaterede brancheområder

Årsagen til dette var, at disse beskrivelsesparametre var de eneste, om

hvilke, der på nuværende tidspunkt eksisterer et bud på eksternalitetsomkostningernes størrelse.

#### Ressourcer

Aktiviteternes ressourcemæssige påvirkning blev ikke klassificeret. Der findes dog flere bud på mulige klassificeringsprincipper. Begreber som fornyelighed/ikke fornyelighed, bæredygtighed, størrelsen af kendte ressourcer, energi- og teknologi-omkostninger ved udnyttelse af marginalforekomster kunne tænkes inddraget.

I UMIP-projektet er udviklet et "person-ækvivalent"-begreb, som udtrykker, hvor stor en del af "en persons ration", som dette produkt forbruger (hvis alle ressourcer fordeles rigeligt blandt alle). Dette kan også benyttes som klassifikationskriterium.

#### Ydre miljø

Ækvivalentbegrebet, se UMIP rapport ang. drivhuseffekt, ozonlagsnedbrydning, eutrofiering, forsurening osv. kan anvendes til klassificering af forhold vedrørende det ydre miljø. I eksemplet med B&O fjernsyn er dette kun benyttet i begrænset omfang.

#### Arbejds miljø

Det blev besluttet at benytte B&Os egen opgørelse over antallet af arbejds-skader fordelt på typer som klassifikationskriterium. Opgørelsen er dog ikke brugt som grundlag for en prissætning af eksternaliteter, da prissætning på nuværende tidspunkt ikke er muligt.

Derudover blev B&Os egen opgørelse over antallet af sygedage inden for hver skadekategori medregnet. Dette blev efterfølgende konverteret til tabt arbejdsfortjeneste ved hjælp af en antaget fordelingsnøgle.

#### 2.3.4 Konvertering

Dette trin har til formål at konvertere data, som ikke allerede foreligger i økonomiske enheder, til kroner.

#### *Aktøromkostninger*

Aktøromkostninger foreligger pr. definition allerede som økonomiske størrelser. Alle beløb blev friholdt for moms, mens andre afgifter ikke blev udskilt.

#### *Eksternaliteter*

Eksternaliteterne opdeles i 2:

- offentligt afholdte udgifter
- øvrige

Omkostninger i gruppen "øvrige" dækker de omkostninger, der påføres andre end producent, bruger og det offentlige, samt de omkostninger/tab som pt. ikke afholdes.

Eksternalitetsomkostninger blev kun i en vis udstrækning anvendt i dette

casestudie. Det er ikke fordi, de skønnes uvæsentlige - tværtimod. Med den fortsatte udvidelse af listen over opgjorte eksternalitetsomkostninger, vil denne gruppe af omkostninger sikkert blive mere synlig. I casestudiet er der kun medtaget en del af det offentliges omkostninger i forbindelse med uheld under vejtransport. Der blev anvendt en pris på 0,05 kr/km transport /6/.

Herudover vil der senere blive mulighed for at indarbejde tal for det offentliges omkostninger hidrørende fra arbejdsskader og sygedage.

Bortskaffelse af brugte produkter medfører også udgifter for det offentlige. Bortskaffelsessystemerne er delvist offentligt drevet, og det er klart, at der er omkostninger forbundet med både forbrænding og deponering, men disse er som sagt ikke medregnet.

Skema 2.3.1 Anvendte enhedspriser til bestemmelse af eksternalitetsomkostninger.

Emission/påvirkning	Grundlag for prissætning	Estimeret pris
		1993 Kr.
SO <sub>2</sub> (kg)	Vurdering af skader	4,50 - 22,00
NO <sub>2</sub> (kg)		5,00 - 26,50
CO <sub>2</sub> (kg)	Afgift	0,30
Ton-kilometer for lastbiler	Vurdering af skader	0.00 - 0,20

### 2.3.5 Opgørelse

Opgørelsen består i af en summation af de beregnede omkostninger samt eventuelt ikke prissatte klassificerede eksternaliteter.

#### *Opgørelse af omkostninger*

Aktøromkostningerne for dette produkt vurderes at være rimeligt belyst. Derimod er det langt fra alle eksternalitetsomkostninger der er blevet opgjort. Dette skyldes dels problemer med at indsamle data om ressourcer, miljø og arbejdsmiljø og dels den lange liste af endnu ikke prissatte eksternaliteter.

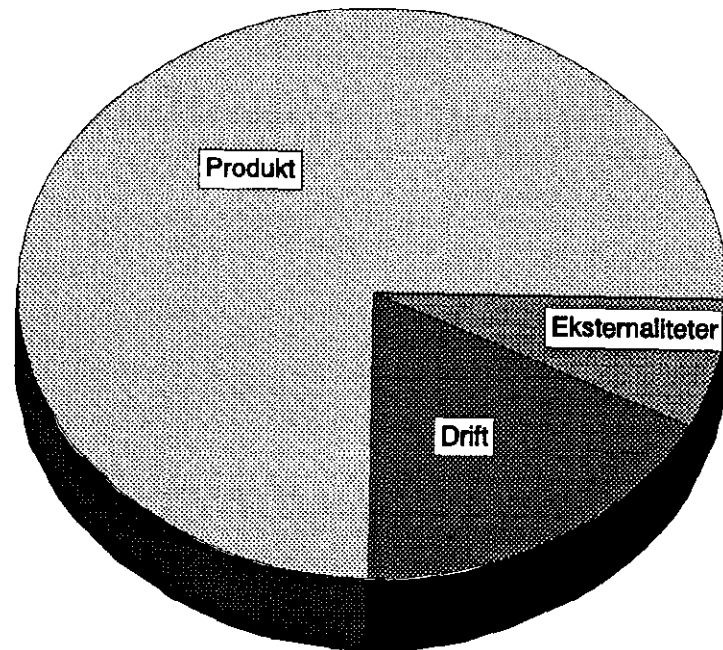
#### *Opgørelse af miljøforhold*

De medtagne forhold er primært energibårne emissioner, eftersom disse er de eneste, som på nuværende tidspunkt er prissat.

Størrelsesordenen af de opgjorte omkostningsgrupper set fra en brugers synspunkt er vist i figur 2.3.2.

Hele figuren dækker 100 % af LCO. Det skal endnu en gang bemærkes, at tallet for "Eksternaliteter" (7 %) kun indeholder de elementer, som er opgjort i dette projekt. Det drejer sig primært om omkostninger ved atmosfærisk emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. "Drift" (18 %) dækker brugerens driftsomkostninger gennem hele livscyklus. "Produkt" (75 %) repræsenterer produktets markedsværdi.

FARVE TV  
Opgørelse af LCO



**Figur 2.3.2** LCO for 28 " farve-TV.

### 2.3.6 Referencer til kapitel 2.3

- /1/ COWIconsult/IPU: Produkters Livscyklusomkostninger- Forstudie. Arbejdsrapport nr. 2, Miljøstyrelsen, 1993.
- /2/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for Novoslam, casestudie. Intern arbejdsrapport ,COWIconsult/IPU 1993.
- /3/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for DSBs nye S-tog, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU 1993.
- /4/ Pedersen, Morten Als; Jensen, Asger Hundkjær: LCO-opgørelse for B&O 28" farve TV, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /5/ Pedersen, Morten Als: LCO-opgørelse for KEW højtryksrenser, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /6/ Sørensen Michael Munk, Møtsfelt Malene: Udkast til rapport om prissætning af eksternaliteter, COWIconsult/IPU, 1993.
- /7/ COWIconsult/IPU: Produkters livscyklusomkostninger - Metodebeskrivelse og manual. Internt arbejdsrapport, 1993.
- /8/ Nedermark, R. (B&O), Christensen, H.W. (IPU)  
"Referenceprodukttopgørelse for B&O 28" farve-TV"  
Fortrolig rapport  
IPU, LCC, 1992
- /9/ Sørensen, A. (KEW), Christensen, H.W. (IPU)  
"Referenceprodukttopgørelse for KEW højtryksrenser"  
Fortrolig rapport  
IPU, LCC, 1992
- /10/ Interne økonomiberegninger fra B&O, 1992.  
Fortrolige oplysninger
- /11/ Interne økonomiberegninger fra KEW, 1993.  
Fortrolige oplysninger
- /12/ Priskurant, Danske Vognmænd, 1992.
- /13/ Miljøanalyse i produktudviklingen  
Fokusering, målsætning og valg af designstrategi  
UMIP-rapport, Under trykning  
1993.
- /14/ SETAC. Life-cycle Assessment. Published by Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe. 1992.

## 2.4 Højtryksrenser

Dette afsnit beskriver livscyklusomkostningerne for en højtryksrenser til hobbybrug gennem en estimeret levetid på 5 år samt arbejdet med at opgøre disse. Caseopgørelsen er foretaget på KEW i Hadsund.

Dette casestudie har ligeledes været forholdsvis detaljeret, da projektgruppen også her fik adgang til meget detaljerede informationer, som er en forudsætning for en dækkende afprøvning. Dette gælder både informationer omkring miljøforhold og aktøromkostningssiden (bla. virksomhedens egne interne omkostninger). Sidstnævnte er uhyre centrale i en konkurrencesituation, og behæftet med fuld fortrolighed. Projektgruppen har derfor alene haft adgang til disse med det formål at kunne gennemføre en realistisk afprøvning af den udviklede metode. Dette har givet megen værdifuld erfaring om anvendelsen af metoden og manualen - omvendt betyder det, at der ikke kan publiceres nogle konkrete tal.

I de følgende afsnit gennemgås opgørelsesforløbet med henblik på at uddrage de centrale generelle erfaringer og konklusioner.

### 2.4.0 Sammenfatning

Det skal bemærkes, at dette casestudie, hvad langt hovedparten af arbejdsindsatsen angår, er udført af IPU/COWIconsult. Opgørelsen er udført efter opgørelsen af TV-et, og erfaringerne fra denne opgørelse (se afsnit 2.3) har derfor i høj grad kunnet anvendes. Det har betydet, at forespørgslerne har været langt mere konkrete. Dette forhold, samt det faktum at producenten i dette caseeksempel styrer den daglige økonomi meget mere detaljeret end i det foregående tilfælde, betød, at arbejdsbyrden med denne opgørelse har været langt mindre end i B&Os tilfælde.

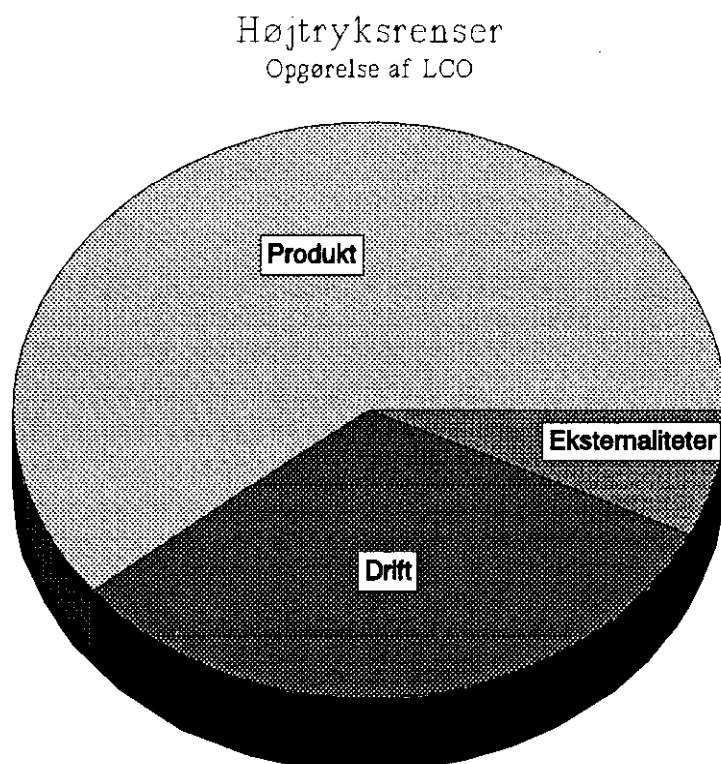
Der er ikke tale om en egentlig miljøvurdering af produktet, men om et estimat af de omkostninger, der udløses pga. de aktiviteter, som tilsammen udgør produktets livscyklus. Parallelt med de traditionelt betragtede omkostningselementer (aktøromkostninger) forsøges det offentlige udgifter samt øvrige eksternaliteter prissat og inddraget i analysen. I denne rapport er kun en meget lille del af samtlige potentielle eksternaliteter prissat og indregnet i LCO-opgørelsen. Det drejer sig om nogle få af de typisk energibaserede atmosfæriske emissioner, samt et udtryk for uhelds-omkostninger i forbindelse med vejbaseret godstransport.

En stor del af den resulterende opgørelse baserer sig på estimater, da de nødvendige informationer ikke har været tilstede på den ønskede form. Det repræsenterer dog det bedste skøn, der kan etableres. Som udtryk for aktøromkostningerne i produktionsfasen benyttes den del af B&Os samlede interne omkostninger, som var umiddelbart tilgængelig.

Arbejdet er udført i samarbejde med KEW, som har været behjælpelig med størstedelen af talmaterialet bag denne opgørelse.

Størrelsesordenen af de opgjorte omkostningsgrupper set fra en brugers synspunkt er vist i figur 2.4.1.

Hele figuren dækker 100 % af LCO. Det skal endnu en gang bemærkes, at tallet for "Eksternaliteter" (7 %) kun indeholder de elementer, som er opgjort i dette projekt. Det drejer sig primært om omkostninger ved atmosfærisk emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. "Drift" (32 %) dækker brugerens driftsomkostninger gennem hele livscyklus. "Produkt" (61 %) repræsenterer produktets markedsværdi.



Figur 2.4.1 LCO for højtryksrensere

#### 2.4.1 Planlægning og afgrænsning

En højtryksrenser er et forholdsvist sammensat og komplekst produkt. Opgaven med at opgøre LCO for alle produktets dele ville i denne sammenhæng være for tidskrævende. Derfor blev opgørelsen i høj grad baseret på en eksisterende opgørelse af miljøforholdene for dette produkts livscyklus /9/. Det skal bemærkes, at dette casestudie, hvad langt hovedparten af arbejdsindsatsen angår, er udført af IPU/COWI.

Livscyklusbeskrivelsen for højtryksrenseren er beskrevet i ovennævnte rapport. Det blev valgt at anvende samme afgrænsning, da dette ville lette anvendelsen af data fra den eksisterende miljøopgørelse.

Formen på denne livscyklusopgørelse følger princippet SETACs metode til livscyklusvurdering /14/. Dette princip bygger på faserne "inventory, classification og valuation". I denne opgørelse er "valuation" kaldet konvertering. Her gøres et forsøg på prissætning af ressource-, miljø- og arbejdsmiljøforhold.

Det overordnede formål med at lave denne opgørelse var at synliggøre livscyklusomkostningerne for KEWs produkt. I forbindelse med projektet skulle case-opgørelsen primært bruges til en realistisk afprøvning af metode og manualskeemaer med henblik på at forbedre disse og opbygge erfaring i anvendelsen i en konkret situation. Videre blev det tilstræbt, at få et illustrativt eksempel til forklaring af LCO-koncept og -metode for dermed at kunne synliggøre anvendelsespotentialerne af LCO-konceptet overfor en bredere kreds. Case-arbejdet blev gennemført mhp. at opfylde/-tage hensyn til alle disse delformål samtidigt, så vidt dette var muligt.

En højtryksrenser består af mange delkomponenter, hvis fremstilling kræver udførelsen af en lang række aktiviteter. Det var ikke muligt - og heller ikke meningen med dette case-studie - at alle disse aktiviteter skulle beskrives detaljeret. Derfor blev LCO-opgørelsen gennemført på et relativt overordnet niveau.

#### *Formål*

Det primære formål blev defineret som en absolut opgørelse i modsætning til en rent relativ betragtning, hvor kun afvigelser mellem det betragtede produkt og en reference analyseres. På baggrund af en absolut opgørelse kunne der efterfølgende - f.eks. hvis der identificeredes væsentlige omkostningsinitiatorer - foretages relative analyser som f.eks. what-if scenarier.

#### *Målgruppe*

Rekvirenten af undersøgelsen og den primære målgruppe blev defineret som KEW som helhed, dog med speciel fokus på produktudviklingsfunktionen hos KEW. De udgjorde den umiddelbare indgang til virksomheden, og sørgede for at iværksætte og styre kommunikationen mellem øvrige virksomhedsfunktioner på KEW og IPU.

#### Skema 1. Formål og Afgrænsning

<b>Formål</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Det primære formål er en absolut opgørelse af LCO for hele produktet i hele dets livscyklus.</li> <li>- Evt. kan der opstilles alternativer på baggrund af identificerede variationsmuligheder, som derefter kan vurderes relativt.</li> </ul>				
<b>Målgruppe</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Målgruppen er KEW som helhed. Der sigtes ikke mod én specifik virksomhedsfunktion.</li> <li>- Sekundær målgruppe er IPU/COWI, som ønsker erfaringsopbygning mhp. revidering af metode/manual + vejledning.</li> </ul>				
<b>Produktdefinition</b>				
Navn : KEW P 483. Type : Håndbåret højtryksrenser til hobbybrug. Enhed : 1 stk. højtryksrenser gennem en anslået levetid på 5 år med 1 times ugentligt forbrug i 26 uger om året Producent : KEW INDUSTRI, Hadsund, DK				
<b>Livscyklusafgrænsning</b>				
	Ressourcer	Ydre Miljø	Arbejds miljø	Økonomi
Råmaterialer	Ja	Ja (energi-baseret)	Nej (ukendt)	Ja
Produktion	Ja (energiressourcer)	Ja	Ja (delvist)	Ja
Distribution	Ja (energiressourcer)	Ja (energi-baseret)	Ja (uheldsforhold)	Ja
Brug	Ja (energiressourcer)	Ja (energi-baseret)	Nej (uvæsentlig ?)	Ja
Bortskaffelse	Ja	Ja (anslået)	Nej (ukendt)	Ja

### Deltagere

Alle informationer blev tilvejebragt gennem kontaktpersonen hos KEW. Det faktum, at dette var muligt, må anses som specielt, idet det oftest vil være nødvendigt, at skulle i direkte dialog med en lang række virksomhedsfunktioner. Årsagen til at det var muligt i KEWs tilfælde var dels at kontaktpersonen var en central person i organisationen, dels at KEW internt opsamler mange detaljerede informationer og bruger dem aktivt i virksomhedsstyringen og endelig, at dette casegennemløb nød godt af erfaringerne fra de øvrige caseeksempler.

### Arbejdsform

Som nævnt benyttedes en eksisterende opgørelse for det pågældende produkt som udgangspunkt for analysen. På den baggrund blev der udarbejdet en foreløbig opgørelse, som illustrerede de manglende informationer. Disse blev detaljeret beskrevet for kontaktpersonen, som herefter fremskaffede de nødvendige data. Selve analysen blev udført af IPU, dvs. manualens skemaer har ikke været udsendt til virksomheden til udfyldelse.

### Produktdefinition

Det betragtede produkt er en højtryksrenser til hobbybrug. Produktenheden blev defineret som:

*1 stk produkt i dets levetid. Levetiden antages at være 5 år. I denne periode antages apparatet brugt 1 time ugentligt i halvdelen af årets uger.*

### *Afgrænsning*

Som udgangspunkt blev hele produktets livscyklus betragtet. Dvs. startende med fremstilling af råmaterialer over produktion, distribution og brug til bortskaffelse af produktet. Det skal bemærkes, at fasen "Distribution" dækker alle transporter af produktet (eller indgående materialer) gennem hele produktets livscyklus, og altså ikke kun distribution af produktet fra produktion til forbrugere.

### *Fokusering*

Ikke alle dele af produktets livscyklus blev analyseret med samme detaljeringsgrad. Ligeledes var der forskel på, hvilke informationer, der blev fokuseret på i de forskellige livscyklusfaser. Dette illustreres ovenfor i skema 1 ved "ja" eller "nej" udfor de 4 grupper af beskrivelsesparametre: Ressourcer, Ydre Miljø, Arbejdsmiljø og Økonomi. Der er flere grunde til denne fokusering. Bl.a. har der været stor forskel på hvilke data, der var tilgængelige indenfor rammerne af analysens begrænsninger. Det afgørende har i denne sammenhæng været, hvor meget tid der var til analysen, hvilket formål analysen havde, hvilke informationer der var tilgængelige, etc.

De forhold (økonomiske og miljømæssige), der blev fokuseret på, kan inddeles i 4 kategorier:

#### Ressourcer

Ressourceparametrene dækker forbruget af materialer og energi. Hvad materialerne angår blev det antaget at være dækkende beskrevet ved en opgørelse over de i produktet indgående materialer /9/. Materialespild fra de øvrige livscyklusfaser eller forbrug af hjælpestoffer blev ikke medtaget.

Hvad energiressourcer angår, betragtedes energiforbruget til fremstilling af et udvalg af de indgående materialer, energiindholdet i materialerne (brændværdi), energi til produktfremstillingsprocesserne, energi til samtlige transporter i livscyklus, energiforbrug ved brug af produktet og energiforbrug/-produktion ved bortskaffelse.

#### Ydre miljø

Beskrivelsen af emissioner til ydre miljø er opdelt i 2:

- Procesbårne emissioner:  
emissioner hidrørende direkte fra de beskrevne livscyklusaktiviteter.
- Energibårne emissioner:  
emissioner hidrørende fra fremstillingen af den i aktiviteterne forbrugte energi.

Energibårne emissioner blev medregnet generelt alle steder, hvor der skete et energiforbrug. Hvad procesbårne emissioner angår, medregnedes disse kun i begrænset omfang. Det drejer sig om standardemissioner for det opstillede transportscenarium og overordnet opgørelse af emissionsmængden af rengøringsmiddel i brugsfasen.

### Arbejds miljø.

Arbejds miljøpåvirkningen (som måske i virkeligheden burde kaldes sundhed) blev primært vurderet for produktionsfasen og i begrænset omfang for distributionsfasen (data om uheldsforhold). Det skyldes dels, at det var de eneste dele af produktets livscyklus hvorom der fandtes relevante informationer, og dels at det øvrige skønnedes at være relativt uvæsentligt. Muligvis ville bortskaffelsen ved en nærmere analyse have vist sig interessant, men den blev her fravalgt. I takt med at de øvrige faser i dette projekt frembringer f.eks. branchetal for arbejdsmiljøforholdene, vil disse kunne indarbejdes. Dette kunne i alle tilfælde tænkes relevant for f.eks. minedrift, elektromekanisk produktion, transportsektoren, bortskaffelsesbranchen, osv.

### Økonomi.

Den sidste gruppe af beskrivelsesparametre er de privatøkonomiske forhold for aktørerne (aktøromkostningerne) omkring de pågældende aktiviteter. Disse er søgt beskrevet generelt overalt, hvor dette har været muligt.

Alle beløb friholdtes for moms, mens div. afholdte afgifter ikke udskiltes. På den måde opnåedes det bedste billede af den oplevede økonomiske belastning set fra de primære målgruppers side. Når afgifterne ikke blev udskilt, betyder det samtidigt en afskærelse fra, at kunne se på de indtægter, som det offentlige har fra disse afgifter. F.eks. regnedes der ikke i denne opgørelse med det offentlige indtægt fra registreringsafgift og vægtafgift som en konsekvens af transportaktiviteter. Man kunne måske argumentere for at disse skulle medregnes på indtægtssiden for det offentlige, eftersom vi indirekte medregnede det offentlige sygehusomkostninger som følge af de samme transportaktiviteter på udgiftssiden. Det kunne tænkes, at man kom frem til et andet resultat, hvis man foretog en komplet opgørelse af det offentlige omkostninger og indtægter ved transport, men det ville føre for vidt i denne analyse.

### 2.4.2 Inventering

#### *Aktivitetsliste*

Andet trin i metoden er "Inventering", som startede med en opstilling af en liste over samtlige aktiviteter i produktets livscyklus. Aktivitetslisten er en sammenstilling af samtlige aktiviteter i produktets livscyklus. Det viste sig nødvendigt og hensigtsmæssigt, at samle en række aktiviteter eller en hel fases aktiviteter til en samleaktivitet og beskrive denne som en aktivitet. Aktivitetslisten for det samlede produkts vedkommende er gengivet nedenstående i skema 2. I opstillingen af aktivitetslisten blev i virkeligheden foretaget endnu en afgrænsning.

I den aktuelle analyse er der foretaget følgende tilnærmelser:

#### *Råmaterialefasen*

Baggrunden for aktivitetslisten er en beskrivelse af materialeindholdet i 1 stk. produkt. Råmaterialefasen for hele produktet blev beskrevet ved en samleaktivitet "fremstilling af råmaterialer".

## Skema 2. Aktivitetsliste

<p><b>Råmaterialer</b> Betragtes som 1 samleaktivitet, som dækker: Fremstilling af:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 1400 g. stål</li><li>- 30 g. messing</li><li>- 1400 g. aluminium</li><li>- 350 g. kobber</li><li>- 2200 g. plast</li><li>- 150 g. gummi</li><li>- 3 g. bronze</li><li>- 900 g. pap/papir</li><li>- 400 g. træ</li><li>- 52 g. olie</li></ul>
<p><b>Produktion</b> - Betragtes som 1 samleaktivitet ud fra detaljerede oplysninger fra KEW</p>
<p><b>Distribution og salg</b> - råvarer fra råvareleverandører til KEW - produkt fra KEW til bruger - produkt fra bruget til bortskaffelse</p>
<p><b>Brug</b> - Almindelig brug (125 timers almindeligt brug over levetiden på 5 år - herunder service/repairation)</p>
<p><b>Bortskaffelse</b> Betragtes som 1 samleaktivitet dækkende:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Forbrænding af produkt</li><li>- Deponering af produkt</li></ul>

### *Produktionsfasen*

Et dækkende udsnit af KEW's egne produktionsprocesser står beskrevet i /9/, hvorfra data er hentet til beskrivelse af fasens aktiviteter mht. materialeforbrug, emissioner og arbejdsmiljø. Angående økonomi og arbejds-skader/-ulykker er der indhentet yderligere information fra KEW /11/. Den samlede produktionsfase er beskrevet som en samleaktivitet.

### *Distributionsfasen*

Distributionsfasen omfatter alle transporter i produktets livscyklus. På baggrund af en komplet opgørelse over alle transporter i livscyklus, blev denne fase inddelt i tre samleaktiviteter:

- 1 Transporter fra leverandører til KEW
- 2 Transporter fra KEW til forbruger
- 3 Transporter fra forbruger til bortskaffelse.

For hver af disse blev det samlede transportbehov opgjort og angivet ved typen af transportmiddel og mængden af transport. Mængden af transport blev baseret på transportafstand og vægten af det transporterede.

Hvad angår transporter fra KEW til forbruger, blev der på baggrund af /9/ opstillet et sammensat transportscenarie dækkende flere markeder for det pågældende produkt.

Den gennemsnitlige transportafstand fra bruger til forbrændingsanstalt blev vurderet til at være 30 km. Tilsvarende blev afstanden fra bruger til deponi vurderet til at være 15 km.

<i>Brugsfasen</i>	Som beskrivelse af denne fase anvendes en gennemsnitlig betragtning over en estimeret levetid på 5 år.
<i>Bortskaffelsesfasen</i>	Det antages her, at 50% af produkterne deponeres, mens de resterende 50% forbrændes.
<i>Beskrivelsesparametre</i>	Ved hjælp af beskrivelsesparametrene blev alle aktiviteterne (eller samleaktiviteterne) i produktets livscyklus beskrevet med hensyn til deres økonomiske og miljømæssige konsekvenser. Dette blev gjort på en række niveauer, dækkende en enkelt aktivitet, en gruppe af aktiviteter (samleaktivitet), hele livscyklusfaser eller hele produktet. I det følgende beskrives datagrundlaget og talmæssige antagelser for hver livscyklusfase. De konkrete tal og kildematerialet bag tallene er fortroligt. Bla. drejer det sig om den eksisterende referenceproduktopgørelse, interne kostprisopgørelser, opgørelse af virksomhedsspecifikke omkostninger til bortskaffelse af affalds- og spildprodukter, fordeling af virksomhedstal efter en estimeret fordelingsnøgle, f.eks. m <sup>2</sup> lager, m <sup>2</sup> kontor og m <sup>2</sup> produktion, etc.
<i>Råmaterialeaktiviteter</i>	<p><b>Råmaterialefasen</b></p> <p>Med de tidligere nævnte antagelser, blev denne fases aktiviteter beskrevet som en helhed (samleaktivitet).</p> <p>Som udtryk for den økonomiske størrelsesorden af aktiviteterne i denne fase blev KEWs købspris for materialerne anvendt. Det er klart, at man derved introducerede en fejl, og at den teoretisk korrekte fremgangsmåde ville være at spore de indgående materialer tilbage til minen. Dette ville dog være en håbløs opgave, da mange af de indgående materialer allerede i sig selv er sammensatte og højt forarbejdede komponenter, med en lang produktionshistorie bag sig.</p> <p>Energiforbruget anslåedes dækkende beskrevet ved energiindholdet/-brændværdien i de indgående råmaterialer.</p> <p>Mht. Emissioner til ydre miljø, blev KEWs egen opgørelse benyttet ud fra standardtal for udvalgte materialer.</p> <p>Arbejdsmiljø blev som tidligere nævnt ikke medregnet.</p>
<i>Produktionsaktiviteter</i>	<p><b>Produktionsfasen</b></p> <p>I dette casestudie blev som nævnt ikke alle aktiviteter beskrevet ned til mindste detalje. Beskrivelsen af hele produktionensfasen er således ikke en sammenstilling af beskrivelserne af samtlige delaktiviteter i produktionsforløbet af samtlige komponenter. Det er dog stadig muligt, ud fra de detaljerede informationer, som KEW har stillet til rådighed, at udfylde skema 3a for hele fasen. Kildematerialet /11/ og tallene til udfyldelse af dette skema, er fortroligt. Det drejer sig bl.a. om den eksisterende referenceproduktopgørelse, en intern kostprisopgørelse, omkostninger i forbindelse med udledning, omkostninger til sygefravær og fordeling af virksomhedstal efter en estimeret fordelingsnøgle, f.eks. forbrugte arbejdstimer.</p> <p>På livscyklusfaseniveau (manualens /7/ skema 4) blev der estimeret tal for</p>

omkostningerne til arbejdsskadeforsikring, forsikring mod erhvervssygdomme og omkostninger til personlige værnemidler. De totale omkostninger til erhvervssygdomsrisikoforsikring og arbejdsskadeforsikring blev omregnet til en pris pr. produkt vha. en fordelingsnøgle.

#### *Distributionsaktiviteter*

##### Distributionsfasen

Til estimering af aktøromkostningerne forbundet med distribution, blev takstblade fra Danske Vognmænd anvendt /12/. Følgende priser blev anvendt:

- små lastbiler: 6,10 kr/km + 204 kr/time ventetid
- store lastbiler: 10,80 kr/km + 319 kr/time ventetid

Mht. energiforbrug og emissioner blev standardtal anvendt.

Arbejdsmiljø blev ikke direkte medregnet i denne fase. Indirekte må en del af aktøromkostningerne antages at være indeholdt i prisen for transporterne. Det gælder bla. vognmandens omkostninger i forbindelse med sygdom hos chauffører og til arbejdsskadeforsikringer. Omkostninger til uheld i forbindelse med transport medregnes under eksternaliteter.

#### *Brugsaktiviteter*

##### Brugsfasen

Angående aktøromkostninger blev der her medregnet:

- aktør = producent
  - ingen omkostninger er medregnet
- aktør = bruger
  - produktets pris
  - driftsomkostninger (forbrugerpris for el- og vandforbrug)
  - omkostninger til vandafledning

Brugerens evt. omkostninger til reparation og service er ikke blevet estimeret, ligesom KEWs eventuelle udgifter til garantiordning heller ikke er medtaget. Mht. energiforbrug, emissioner og arbejdsmiljø blev der kun medtaget energiforbruget til normal drift og hertil relaterede emissioner.

#### *Bortskaffelsesaktiviteter*

##### Bortskaffelsesfasen

Om bortskaffelsen blev det antaget, at 50 % af den afbrændte energimængde udnyttes. Oplysninger om de resulterende affaldsmængder blev hentet fra /9/.

Fra denne typer bortskaffelse vil der være tale om atmosfæriske emissioner. Disse blev ikke medregnet.

Arbejdsmiljøforhold i forbindelse med bortskaffelse, som måske ville være interessant at analysere, blev heller ikke medregnet.

### 2.4.3 Klassificering

Formålet med klassificeringen er at

- forsimple og
- muliggøre aggregering af effektmæssigt ensartede miljøpåvirkninger, begge mhp.
- efterfølgende prissætning af eksternaliteter

Der er forskellige mulige principper for klassificering indenfor de forskellige effektkategorier. I denne analyse, som kun indeholder eksternalitetsprissætning af en meget begrænset del af miljøpåvirkningerne, blev de enkelte aktiviteter derfor alene klassificeret ud fra de resulterende:

- emissioner af CO<sub>2</sub>
- emissioner af SO<sub>2</sub>
- emissioner af NO<sub>x</sub>
- antal km transport
- produktionsværdi hos relaterede brancheområder

Årsagen til dette var, at disse beskrivelsesparametre var de eneste, om hvilke, der på nuværende tidspunkt eksisterer et bud på eksternalitetsomkostningernes størrelse.

Det skal endnu engang pointeres, at de her klassificerede eksternaliteter udgør en forsvindende lille del af den samlede gruppe af teoretisk mulige eksternaliteter.

#### Ressourcer

Aktiviteternes ressourcemæssige påvirkning blev ikke klassificeret. Der findes dog flere bud på mulige klassificeringsprincipper. Begreber som fornyelighed/ikke fornyelighed, bæredygtighed, størrelsen af kendte ressourcer, energi- og teknologiomkostninger ved udnyttelse af marginalforekomster kunne tænkes inddraget.

I UMIP-projektet er udviklet et "person-ækvivalent"-begreb, som udtrykker, hvor stor en del af "en persons ration", som dette produkt forbruger (hvis alle ressourcer fordeles ligeligt blandt alle). Dette kan også benyttes som klassifikationskriterium.

#### Ydre miljø

Ækvivalentbegreber så som drivhuseffekt, ozonlagsnedbrydning, eutrofiering, forsuring osv. vil kunne anvendes /13/. I denne rapport er som ovenfor beskrevet kun benyttet en lille del af dette.

#### Arbejds miljø

Efter en analyse af forholdene blev det besluttet at benytte KEWs egen opgørelse over antallet af arbejdsskader fordelt på typer som klassifikationskriterium. Opgørelsen er dog ikke brugt som grundlag for en prissætning af eksternaliteter, da prissætning på nuværende tidspunkt ikke er muligt.

Derudover blev KEWs egen opgørelse over antallet af sygedage medregnet. Dette er dog heller ikke på nuværende tidspunkt brugt som grundlag for prissætning af eksternaliteter.

#### 2.4.4 Konvertering

Dette trin har til formål at konvertere data, som ikke allerede foreligger i økonomiske enheder, til kroner.

##### *Aktøromkostninger*

Aktøromkostninger foreligger pr. definition allerede som økonomiske størrelser. Alle beløb blev friholdt for moms, mens andre afgifter ikke blev udskilt.

##### *Eksternaliteter*

Eksternaliteterne opdeles i 2:

- offentligt afholdte udgifter
- øvrige

##### *Offentligt afholdte*

Denne gruppe af omkostninger er i meget ringe udstrækning opgjort i dette casestudie. Det er ikke fordi, de skønnes uvæsentlige - tværtimod. Med den fortsatte forbedring af casebeskrivelserne, vil denne gruppe af omkostninger sikkert blive mere synlig. I denne rapport er kun medtaget en del af det offentliges omkostninger i forbindelse med uheld under vejtransport. Der er anvendt en pris på kr. 0,05 / km transport /6/. Der vil blive arbejdet videre med at etablere tal for det offentliges omkostninger hidrørende fra arbejdsskader og sygedage.

Også bortskaffelse af brugte produkter medfører udgifter for det offentlige. Oftest er bortskaffelsessystemerne (delvist) offentligt drevet, og det er klart, at der er omkostninger forbundet med både forbrænding og deponering, men disse er som sagt ikke medregnet på nuværende tidspunkt.

##### *Øvrige*

Omkostninger i gruppen "Øvrige" dækker de omkostninger, der påføres andre end producent, bruger og det offentlige. Derudover dækker gruppen de omkostninger/tab som pt. ikke afholdes.

##### *Forudsætninger om priser*

Skema 2.4.1 Anvendte enhedspriser til bestemmelse af eksternalitetsomkostninger.

Emission/påvirkning	Grundlag for prissætning	Estimeret pris
		1993 Kr.
SO <sub>2</sub> (kg)	Vurdering af skader	4,50 - 22,00
NO <sub>2</sub> (kg)		5,00 - 26,50
CO <sub>2</sub> (kg)	Afgift	0,30
Ton-kilometer for lastbiler	Vurdering af skader	0.00 - 0,20

#### 2.4.5 Opgørelse

Opgørelsen består i af en summation af de beregnede omkostninger samt eventuelt ikke prissatte klassificerede eksternaliteter.

##### *Opgørelse af omkostninger*

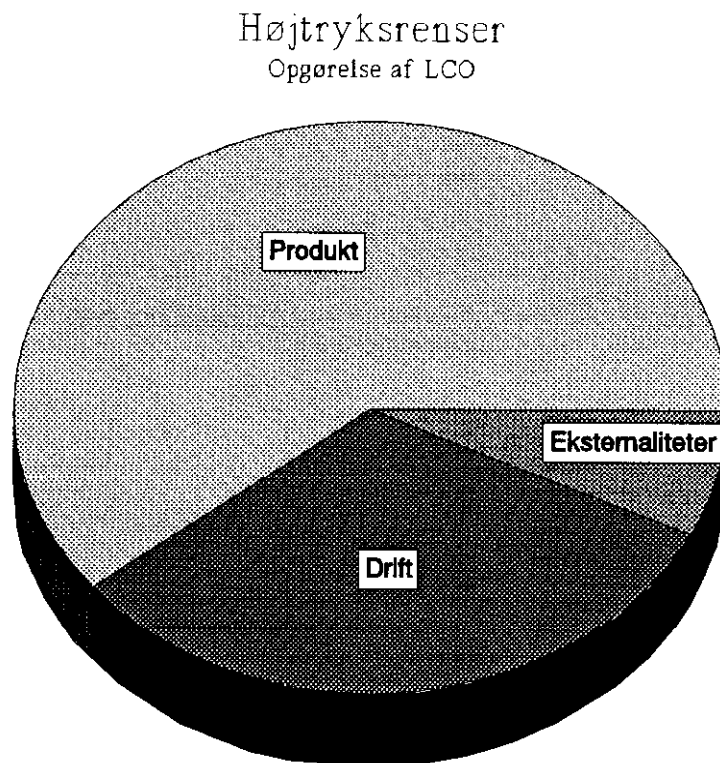
Aktøromkostningerne for produktet vurderes at være rimeligt belyst. Derimod er det langt fra alle eksternalitetsomkostninger der er blevet opgjort. Dette skyldes dels problemer med at indsamle data om ressourcer, miljø og arbejdsmiljø og dels den lange liste af endnu ikke prissatte eksternaliteter.

##### *Opgørelse af miljøforhold*

De medtagne forhold er primært energibårne emissioner, eftersom disse er de eneste, som på nuværende tidspunkt er prissat.

Størrelsesordenen af de opgjorte omkostningsgrupper set fra en brugers synspunkt er vist i figur 2.4.2.

Hele figuren dækker 100 % af LCO. Det skal endnu en gang bemærkes, at tallet for "Eksternaliteter" (7 %) kun indeholder de elementer, som er opgjort i dette projekt. Det drejer sig primært om omkostninger ved atmosfærisk emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. "Drift" (32 %) dækker brugerens driftsomkostninger gennem hele livscyklus. "Produkt" (61 %) repræsenterer produktets markedsværdi.



Figur 2.4.2 LCO for højtryksrensere.

#### 2.4.6 Referencer til kapitel 2.4

- /1/ COWIconsult/IPU: Produkters Livscyklusomkostninger- Forstudie. Arbejdsrapport nr. 2, Miljøstyrelsen, 1993.
- /2/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for Novoslam, casestudie. Intern arbejdsrapport ,COWIconsult/IPU 1993.
- /3/ Balder, Christian: LCO-opgørelse for DSBs nye S-tog, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU 1993.
- /4/ Pedersen, Morten Als; Jensen, Asger Hundkjær: LCO-opgørelse for B&O 28" farve TV, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /5/ Pedersen, Morten Als: LCO-opgørelse for KEW højtryksrenser, casestudie. Intern arbejdsrapport, COWIconsult/IPU, 1993.
- /6/ Sørensen Michael Munk, Møtsfelt Malene: Udkast til rapport om prissætning af eksternaliteter, COWIconsult/IPU, 1993.
- /7/ COWIconsult/IPU: Produkters livscyklusomkostninger - Metodebeskrivelse og manual. Internt arbejdsrapport, 1993.
- /8/ Nedermark, R. (B&O), Christensen, H.W. (IPU)  
"Referenceprodukttopgørelse for B&O 28" farve-TV"  
Fortrolig rapport  
IPU, LCC, 1992
- /9/ Sørensen, A. (KEW), Christensen, H.W. (IPU)  
"Referenceprodukttopgørelse for KEW højtryksrenser"  
Fortrolig rapport  
IPU, LCC, 1992
- /10/ Interne økonomiberegninger fra B&O, 1992.  
Fortrolige oplysninger
- /11/ Interne økonomiberegninger fra KEW, 1993.  
Fortrolige oplysninger
- /12/ Priskurant, Danske Vognmænd, 1992.
- /13/ Miljøanalyse i produktudviklingen  
Fokusering, målsætning og valg af designstrategi  
UMIP-rapport, Under trykning  
1993.
- /14/ Life-cycle Assessment. Published by SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe. 1992.

## 3 Diskussion og konklusion

I dette afsnit opsummeres de erfaringer, som er gjort i arbejdet med de fire case-produkter. Afsnittet er opdelt efter LCO-metodens trin /7/:

- Planlægning og afgrænsning
- Inventering
- Klassificering
- Konvertering
- Opgørelse

I hvert afsnit beskrives de generelle erfaringer fra casearbejdet.

Generelt kan det konkluderes, at der er behov for en forklarende tekst, som overfor skemaudfylderens beskriver den opgave, han sidder med. Dette kunne være i form af hjælpetekst eller gennem illustrative eksempler.

### 3.1 Planlægning og afgrænsning

#### *Formål*

Hvad formålsdefinition angår, har det som ventet vist sig at være meget vigtigt, at gøre sig klart, hvad formålet med analysen er. Hvis der er flere delformål, bør disse samlet beskrives og evt. vægtes mht. vigtighed. Dette kan være relevant i senere valgsituationer, hvor det er vigtigt at gøre sig klart, hvad det primære formål er.

#### *Målgruppe*

Målgruppen for analysens resultater er væsentlig at få defineret som grundlag for analysen.

#### *Kontaktperson*

Casestudierne har endvidere vist, at det er vigtigt for arbejdet med opgørelse af LCO, at der er opbakning for projektet i virksomheden. Dette har betydning for tilgængeligheden af informationer der kan fremskaffes i virksomheden. I planlægningsfasen bør dette derfor drøftes. Valget af kontaktperson hos virksomheden er meget centralt, da dette kan påvirke resultatet, som opnås. Det er vigtigt, at der er overensstemmelse mellem formålet med analysen og de data, som stilles til rådighed for arbejdet. Den ideelle kontaktperson har et solidt kendskab til produktet og til personkredsen omkring dette. Han/hun behøver ikke selv tilhøre denne gruppe, men bør i så fald have et vist (højt) kompetanceniveau i organisationen.

#### *Fortrolighed*

Et andet vigtigt aspekt er den fortrolighed, som visse af de nødvendige data kan være behæftet med. Spørgsmålet om fortrolighed bør fra starten behandles åbent, og bør afstemmes i forhold til det ønskede formål med analysen og målgruppen for resultaterne.

#### *Produktdefinition*

Fastlæggelse af produktdefinition og herunder af produktenhed (funktionel enhed) er af afgørende betydning for hele analysen. Dels er det i forhold til

denne størrelse at alle tal i analysen normeres - dels kan man (ud fra den valgte produktenhed) i analysens forløb foretage fravalg, som ikke ville være rigtige med en anden produktenhed og endelig er det for den efterfølgende anvendelse af analysens resultater (evt. sammenligning med andre produkter) helt afgørende, at produktenheden er præcist og entydigt formuleret.

#### *Afgrænsning af livscyklus*

Afgrænsningen af LCO-opgørelsen afhænger af, hvilke beskrivelsesparametre, virksomheden anser for relevante i forhold til formålet med LCO. Hvis formålet fx. er en sammenligning af 2 produktalternativer med ensartet funktionalitet, er der således ingen grund til at inddrage processer, som er ens for begge produktalternativer, i vurderingen. Denne del af afgrænsningen bør udføres, før arbejdet med indsamling af data starter. Når dataindsamlingen er påbegyndt, vil det oftest vise sig, at enkelte eller flere områder ikke kan belyses pga. manglende data.

Det kan i disse tilfælde være nødvendigt at foretage yderligere afgrænsninger af hensyn til LCO-opgørelsens troværdighed. Den endelige afgrænsning af LCO-opgørelsen kan derfor ikke afgøres, før dataindsamlingens afslutning.

Det væsentligste med hensyn til afgrænsning er, at alle fravalg foretages åbent, dokumenteres tydeligt i beskrivelsen og vurderes mht. væsentlighed.

Det er vanskeligt at udstikke generelle retningslinier for, hvorledes der skal afgrænses. Det vil oftest i de enkelte tilfælde være oplagt når der foreligger en nøjagtig beskrivelse af de tidligere elementer (formål, målgruppe, produkt, produktenhed, osv.).

Specielt, hvis der er tale om en relativ opgørelse, er afgrænsningsproblematikken helt central, for at sikre sammenlignelige resultater fra de produkter, som betragtes relativt.

#### *Revision af skemaer*

Om manualens skema 1 må det konkluderes, at der er behov for en forklarende tekst, som overfor skemaudfylderens beskriver den opgave, han sidder med. Dette kunne være i form af hjælpetekst eller gennem illustrative eksempler. Mht. afgrænsning bør denne ikke kun være en afgrænsning af livscyklusfaser, men også en afgrænsning af miljømæssigt fokus.

### **3.2 Inventering**

Inventeringen består af 2 opgaver: opstilling af aktivitetsliste (detaljeret beskrivelse af den betragtede livscyklus) og beskrivelse af hver af disse aktiviteter ved en række forud definerede beskrivelsesparametre. Opstilling af aktivitetslisten er, hvis der er foretaget en passende afgrænsning, forholdsvis problemfri. Skema 2, som anvendes til dette, er derfor heller ikke ændret.

### *Aktøromkostninger*

På den virksomhed, der foretager/får foretaget LCO-opgørelsen, er det muligt at opgøre omkostninger fordelt på forskellige omkostningstyper som f.eks. løn, afskrivninger, administration, spildevandsanlæg, affald, personlige værnemidler osv. og til en vis grad relatere de forskellige omkostningstyper til et produkt. Dette er ikke i samme grad muligt for de øvrige faser i produktets livscyklus. I stedet kan man anvende offentligt tilgængelige priser (handelspriser) og således undlade differentiering af aktøromkostninger på omkostningstyper. En mulighed for at differentiere omkostninger ud fra varepriser er at anvende brancherelateret statistik over lønomkostninger, afskrivninger samt omsætning.

### *Eksternaliteter*

Casestudierne har vist, at det er muligt at opgøre energiforbrug, ressourceforbrug, arbejdsskader, sygefravær pga. arbejdsskader og emissioner på de virksomheder, der aktivt deltager i LCO. Det er ikke muligt at finde samme detaljerede oplysninger for de øvrige virksomheder, der indgår i livscyklusforløbet. Dette problem er af en generel karakter, og er helt tilsvarende de problemer, som kendes fra LCA.

### *Andre datakilder*

Når specifik og direkte information ikke er tilgængelig, må man anvende litteratur eller andet og dermed nøjes med registrering af generelle forhold omkring ressourceforbrug samt miljø- og arbejdsmiljø. I casestudierne har det vist sig, at der altid vil være en del områder, hvor det ikke er muligt at finde oplysninger direkte. Dette forhold er vigtigt at være opmærksom på, når der planlægges LCO-opgørelser, og når disse skal evalueres. Et mulig løsning kunne være en metode til opgørelse af eksternaliteter på brancheniveau. Ud fra kendskab til en branches typiske eksternaliteter og branchens omsætning (i penge eller mængde varer) kan branchens eksternaliteter fordeles til produkter.

### *Usikkerhed i datagrundlaget*

Generelt vurderes der ikke at være særlig stor usikkerhed på opgørelse af aktøromkostninger. Dette er derimod ikke tilfældet ved opgørelse af eksternaliteter. I de gennemførte casestudier indgår ikke en systematisk behandling af denne usikkerhed. Der bør altid angives en usikkerhed på indsamlede data. Som et minimum bør der angives et rimeligt antal betydende cifre. I tilfælde, hvor der skønnes at være særlig stor usikkerhed, bør der angives et estimat af usikkerheden f.eks. i form af et interval.

### *Revision af skemaer*

Bl.a. foreslås det, at strukturere skemaet til opgørelse af aktøromkostninger og miljøforhold (tidligere 3a, 3b og 4) for en aktivitet som følger:

#### ***Forbrug af ressourcer***

- Humane ressourcer
  - løntimer
  - kontrol
  - andet
- Udstyr o.lign.
  - produktionsudstyr
  - udsugning
  - rensning
  - personlige værnemidler

- bygninger
- andet
- Materialer
  - råvarer
  - indkøbte komponenter
  - hjælpematerialer
  - andet
- Energi
  - procesenergi
  - komfortenergi (varme, lys, udsugning, etc.)

#### ***Udledninger til ydre miljø***

- til luft
- til vand
- fast affald (med angivelse af bortskaffelsesvej)
- andet

#### ***Arbejds miljø***

- arbejdsskader
- arbejdsskadeforsikring
- sygedage
- forsikring mod erhvervsbetingede lidelser
- påvirkninger:
  - opløsningsmidler
  - træk
  - støj

#### ***Aktøromkostninger udover ovenstående***

(til opsamling af øvrige omkostninger)

### **3.3 Klassificering**

Ressourceforbrug er enten klassificeret efter en kvalitativ vurdering eller slet ikke. Der er ikke fundet nogle operationelle metoder til klassificering af ressourcer. Dette er dog et af de områder, hvor det forventes, at aktivitet III i projektet vil udvikle konkrete prissætningsmetoder og data.

Emissioner af stoffer, der kan tildeles ækvivalenter for forsurening, ozonlagnedbrydning og drivhuseffekt er klassificeret som sådanne. Sundhedsskadelige og økotoksiske stoffer er klassificeret efter Miljøministeriets bekendtgørelse om klassificering og mærkning af farlige stoffer og produkter (Bek. 586/1991). Det har ikke været muligt at henføre emission af disse stoffer til en given effekt som f.eks. antal tilfælde af en bestemt slags sygdom.

Affald er opgjort i ton.

Arbejdsskader er klassificeret efter antal sygedage og skaders alvorlighed. Der er ikke anvendt ensartet systematik i casestudierne på dette område,

men det skønnes, at det er muligt. Endelig opstilling af skadekategorier afhænger af muligheder for konvertering af eksternaliteter til omkostninger. Dette område skønnes at være et af de mest interessante, når der foreligger et resultat fra aktivitet III: prissætning af eksternaliteter.

#### *Revision af skemaer*

Til dette trin anvendes følgende skemaer:

Skema 5a Klassificering af eksternaliteter (ydre miljø)

Skema 5b Klassificering af eksternaliteter (arbejds miljø, human effekt)

Klassificeringsprincipperne mangler endnu en hel del færdiggørelse, og det er meget begrænset, hvad der er opnået af konkrete erfaringer i case-studierne. Det ligger dog fast, at der ikke på alle punkter vil fremkomme anvendelige klassificeringsprincipper, så skemaerne bør i højere grad lægge op til en fokusering af opgaven mod de mest interessante områder.

### **3.4 Konvertering**

Aktøromkostninger er alle prissat i inventeringen. Konvertering af omkostninger er kun relevant, hvis omkostninger skal justeres pga. prisforandringer eller nye fordelingsnøgler.

Forsuring og drivhuseffekt er prissat jævnt før rapportudkast om prissætning af eksternaliteter /6/.

Fast affald kan ved utilstrækkelig behandling forårsage miljøproblemer ved udvaskning, fordampning eller anden form for spredning af skadelige stoffer i miljøet. Der er ikke fundet priser for eksternaliteter ved affald. I stedet er der i visse tilfælde anvendt omkostninger til affaldsbehandling (deponering på kontrolleret losseplads).

Omkostninger til sygedagpenge er estimeret ud fra antallet af registrerede arbejdsskader. Omkostninger til behandling af skaderne samt personlige omkostninger for skadelidte er ikke konverteret. Der resterer endnu et arbejde før der kan opstilles prislister over omkostninger til behandling af skader og personlige omkostninger. Udgifter til sundhedsvæsen samt forskellige former for arbejdsskadeforsikringer kan eventuelt undersøges nærmere i denne forbindelse.

Det har ikke i casestudierne været muligt at prissætte effekter på miljø- og sundhed ved eksponering af stoffer, der har negativ effekt på miljø eller mennesker. Dette skyldes, at der ikke er fundet kvantificerbare oplysninger om sammenhæng mellem eksponering og effekt (i klassificeringen) og, at der derfor ikke kan findes en tilsvarende sammenhæng mellem omkostninger til behandling og tab. En metode til opgørelse af eksternalitetsomkostninger er at finde sammenhænge mellem eksponering og effekt på et overordnet niveau som f.eks. branche- eller landsplan og heraf beregne enhedspriser for forskellige påvirkninger i arbejdsmiljø og på det ydre miljø.

Omkring transportbaserede eksternaliteter er anvendt et udtryk for uheldsomkostninger ifm. vejtransport.

Uanset hvilke metoder der anvendes til prissætning bør usikkerhed angives.

### 3.5 Opgørelse

Opgørelsen i sig selv er forholdsvis uproblematisk. For at forstå og anvende resultatet, er det imidlertid absolut nødvendigt at synliggøre, hvor stor en andel af det samlede antal processer der er vurderet samt, hvad der er undersøgt inden for områderne ressourceforbrug, miljø- og arbejdsmiljøbelastning. Det kan f.eks. tydeliggøres (ved vurdering af simple produkter) ved at illustrere det samlede antal processer i opgørelsesskemaet. Ligeså vigtigt er det, at usikkerhed på de enkelte data, der indgår i skemaet på en eller anden måde bliver synliggjort. Som et minimum bør der ikke opgives tal med flere betydende cifre, end der er belæg for.

#### *Revision af skemaer*

Til dette trin anvendes følgende skemaer:

- Skema 6 Opgørelse af eksternalitetsomkostninger
- Skema 7 Opgørelse af livscyklusomkostninger

Skemaerne indikerer ved deres udformning, at alt skal opgøres. Det bør tydeligt fremgå, at dette kun sjældent (om nogensinde) vil være muligt.

### 3.6 Anvendelsesmuligheder

Blandt de deltagende industrivirksomheder har den overvejende holdning været den, at konceptet er spændende og en god metode til at sammenstille traditionelle økonomiske data med ressource-, miljø- og arbejdsmiljøforhold.

LCO - som koncept betragtet - omfatter imidlertid alle omkostninger (såvel afholdte som ikke afholdte) for alle berørte parter (producent, bruger, det offentlige, osv.) gennem hele livscyklus, og der er derfor til industrielle anvendelser behov for en kraftig fokusering på de dele af konceptet, som virksomheden anser for interessant i den aktuelle situation.

Der er en forståelse for, at det ikke er muligt at indsamle og prissætte alle forhold og, at en LCO opgørelse, som dækker alle elementer, derfor ikke giver et entydigt resultat. Dette er et almindeligt problem, der optræder i stort set alle større beslutninger, der skal træffes i en virksomhed.

Sammenfattende må det konkluderes, at en komplet LCO-opgørelse er

urealistisk som et værktøj for produktudviklere (i ordets egentlige betydning) til at vælge mellem proces- eller produktalternativer. En komplet LCO-opgørelse er dog stadig interessant som illustration af helheden, men til mere konkrete anvendelser i virksomheden, er det nødvendigt at beskære helheden og fokusere kraftigt på udvalgte forhold.

Den umiddelbart mest oplagte anvendelse i en virksomhed er sammenligning af alternativer (relativ opgørelse). I en produktudviklingssituation eller ved indkøb af nye produkter vil der altid være mange lighedspunkter for alternativerne, hvorfor en fuldstændig LCO opgørelse heller ikke vil være relevant.

En absolut opgørelse af et produkt kan anvendes, hvis der er tale om sammenligning af vidt forskellige alternativer, hvis LCO for et produkt afkræves af myndigheder som dokumentation eller, hvis en virksomhed ønsker at få et overblik over økonomi- og miljøforhold for et produkt.

De 4 casestudier viser, at det i dag ikke er praktisk gennemkommeligt at opgøre de totale livscyklusomkostninger med samtlige omkostninger og miljøpåvirkninger for komplekse produkter. Selv for meget simple produkter (Novoslam) er det problematisk. Årsagerne til disse problemer er dels indsamling af data vedrørende ressource-, miljø- og arbejdsmiljøbelastning og dels problemer med prissætning af disse belastninger. Der findes ikke de fornødne oplysninger, og der er ikke et videnskabeligt grundlag for at klassificere og prissætte de mange forskellige ekster-naliteter.

Detaljeringsniveauet for en opgørelse af LCO må derfor afpasses nøje med produktets kompleksitet. Komplekse produkter kan i denne sammenhæng defineres som produkter, der indeholder højt forarbejdede delkomponenter.

En gennemgang af alle processer i et produkts livscyklus er relevant i tilfælde, hvor en virksomhed ønsker at skaffe sig et mere detaljeret overblik over økonomi- og miljøforhold. På baggrund af erfaringerne med casestudierne må det anbefales at udføre en sådan opgørelse på et overordnet niveau eventuelt på screeningsniveau afhængigt af produktets kompleksitet og virksomhedens ønsker. Dette kan kun gøres med deltagelse af personer eller teams med tværfaglig ekspertise.

### **3.7 Retningslinier for opgørelse af LCO**

Udgangspunktet for casestudierne var en manual til opgørelse af LCO /7/. Manualen var udarbejdet uden metoden tidligere var afprøvet. Casestudierne er således også en test af manualens anvendelighed.

Manualen beskriver, hvilke oplysninger der skal indsamles og i vist omfang, hvordan disse skal behandles. Beskrivelserne er udmærket som orientering til, hvilke data der skal optimalt set skal indsamles.

Casestudierne har vist, at det oftest kun er muligt at indsamle alle de ønskede oplysninger, der er beskrevet i manualens skemaer om økonomi og miljøpåvirkninger, på den virksomhed, der foretager LCO-opgørelsen. For alle andre processer er manualens skemaer mindre gode, idet de oplysninger, der kan findes i litteratur, ofte er opgjort på en sådan måde, at de kun meget vanskeligt kan tilpasses det ønskede format.

Manualen giver videre det indtryk, at en LCO-opgørelse er en arbejdsproces, som alle personer umiddelbart kan udføre. Dette er langt fra tilfældet. Den fremgangsmåde, som udtrykkes gennem manualens skemaer kan ikke umiddelbart anvendes af en typisk dansk virksomhed. Det er tvivlsomt, om det er muligt at udarbejde en manual, som sætter virksomhederne i stand til selv at gennemføre en så minutøs og altomfattende opgørelse, som det oprindeligt var tiltænkt. Erfaringer fra casestudierne viser, at det er nødvendigt at personer eller teams med ekspertbaseret tværfaglig viden deltager i arbejdet. Behovet for disse mennesker er måske - mere end det er en manual - et sæt af retningslinier for hvorledes de typiske og generelle problemer skal behandles.

### 3.8 Referencer til kapitel 3

- /6/ COWIconsult/IPU, 1993. Sørensen Michael Munk, Møtsfelt Malene: Udkast til rapport om prissætning af eksternaliteter,
- /7/ COWIconsult/IPU: Produkters livscyklusomkostninger - Metodebeskrivelse og manual. Internt arbejdsrapport, 1993.



# English summary

This report describes the experience gathered through testing of a method and a manual developed for assessing life cycle costs (hereafter LCC) for products.

The LCC-concept contains 2 economic systems that traditionally are treated as independent. The above mentioned method attempts to combine these 2 economic domains with the purpose of improving the basis on which decisions that have economic implications in both domains are made.

## *Domain 1: internal costs*

This part of the LCC covers actual costs or expected costs for individuals/companies with direct relation to life cycle of the product in question. This group of people/companies - hereafter called internal participants - contains e.g. producers of raw materials, designers, manufactures, distributors, companies involved with service, maintenance, and disposal. Also included in the group are persons/companies with indirect relations, e.g. staff running sewage plants, where the producer pays to have the waste water from production treated.

## *Domain 2: External costs (externalities)*

This part of the LCC covers the cost or losses taken on by other than internal participants, e.g. neighbors to a production or sewage plant, various public funds (municipal, county, state), all individuals, generations to come etc. etc.

Based on the 4 case studies, it is concluded that a considerable amount of clarifying research remains before the 2 economic domains can be fully integrated. The question is whether a full integration will ever be possible - if desirable at all.

However, this does not imply, that the interfacing of the two systems is not interesting at the present stage. On the contrary - in some cases it is possible to identify cost-elements among the externalities which are interesting for the decision makers as these costs within a foreseeable future could be internalized through taxes for example.

It is also concluded, that there is a distinct potential in changing common practice within the companies with respect to the calculation of their own environmental costs. The elements of cost described in this project, are usually considered to be "passive" - and not as a consequence of the activities causing them. Just a visualization of these passive - not insignificant - costs will probably result in a change of practice.

Two areas, which should be further examined, have been identified:

***An analysis of the internal costs should be performed, allowing the external costs to be included in the decision making***

The economic practice within companies, the latter in this context the decision makers, should be scrutinized and adapted to include the entire life cycle and environmental costs.

***An analysis of the possibilities for setting a price on the external costs on a more aggregated level***

An obvious starting point could be the analysis of various industrial sectors already performed in a parallel part of this project.

Pris kr. 50,- (inkl. 25% moms)

ISSN 0908-9195  
ISBN 87-7810-152-2

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**  
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00