

Førord

Med denne oppgaven avslutter jeg mine studier ved Institutt for Kjemisk Prosessteknologi og Program for Industriell Økologi, NTNU.

Jeg vil i den forbindelse takke min veileder, professor Edgar Hertwich, for å ha hjulpet meg med å finne en interessant problemstilling, og for all hjelp underveis. En stor takk går også til Anders Strømman for god veiledning og faglig assistanse.

Jon Jakobsen ved Statoil og professor Norvald Nesse har også bistått meg i arbeidet.

Til slutt vil jeg benytte anledningen til å takke alle tilknyttet Program for Industriell Økologi for et hyggelig og faglig inspirerende miljø.

Marte K. Halvorsen

NTNU, Trondheim 11.02.03

Abstract

The focus on environmental problems in the transporting sector has increased with every year. Growing worry about global warming issues and related environmental problems, has intensified the research on alternative fuels and vehicles. The results of this effort are beginning to show. Hybrid vehicles are on the market while several car manufacturers are testing various versions of the fuel cell car as we speak. The use of alternative fuels can yield environmental gains compared to gasoline and diesel.

This thesis investigates challenges in the transport sector in relation to Norwegian oil and gas resources. Natural gas can be an integral part in the production of several fuels, among them hydrogen, methanol and liquid natural gas, LNG.

Life cycle analysis is a tool that may be used to assess the environmental problems connected to a product or a system. This thesis investigates the environmental problems related to the use of LNG, hydrogen and methanol used as fuel in private cars. LNG is used in a combustion engine, while both hydrogen and methanol is utilized in fuelcell cars. There is also a reference system which uses gasoline.

Statoil is currently developing the gas field Snøhvit off Hammerfest, in Finmark, Norway. These gas resources make the basis for fuel production in the analysis. The production is located at Melkøya. From there the fuels are transported to Le Havre by ship and from there to Genève by train or truck. From there it gets distributed to various filling stations in town and utilized in small cars like the Renault Twingo.

All emissions, material and energy requirements is connected to the functional unit 150.000 km driven distance.

The results shows that replacing the gasoline car with one of the other transport systems in this analysis can yield considerable environmental benefits. Amongst the four systems the hydrogen system has the best performance, yielding considerable reductions in the emissions of climate gases and oxidizing compounds, like volatile organic compounds. The only category, in which the fuel cell systems perform worst, is acidification. This is connected to environmental problems in the production of the fuel cell and the methanol reformer.

The production of fuel is a big contributor for all systems. It is decisive in relation to abiotic depletion, but is otherwise not the major contributor. A major part of the emissions from fuel production is connected to the process energy demand.

Sammendrag

De senere årene har det blitt et stadig større fokus på de negative miljøkonsekvensene forbundet med transportsektoren. Økende bekymring for global oppvarming og andre relaterte miljøproblemer, har intensivert forskningen på alternativer til dagens diesel- og bensinbiler. Resultatet av denne innsatsen har nå begynt å vise seg. Hybridbiler er allerede på markedet, mens flere bilprodusenter i disse dager tester ut en rekke varianter av brenselcellebilen. Bruk av alternative drivstoff kan også gi miljøgevinster i forhold til diesel og bensin.

I denne oppgaven har utfordringene rundt transportsektoren blitt sett i lys av Norges betydelige olje- og gassressurser. Naturgass kan inngå som råstoff i produksjon av en rekke ulike brenslere, deriblant hydrogen, metanol og flytende naturgass, LNG.

Livsløpsanalyser er et verktøy som kan benyttes i vurderingen av hvor store miljøbelastninger som er forbundet med et produkt eller et system. I denne studien har miljøkonsekvensene knyttet til bruk av LNG, hydrogen og metanol som drivstoff i personbiler blitt forsøkt kartlagt. LNG har blitt benyttet som drivstoff i bil med forbrenningsmotor, mens både hydrogen og metanol har inngått i et system med brenselcellebiler. Det har også blitt definert et referansesystem der bensin brukes som drivstoff i biler med forbrenningsmotor.

Statoil er i disse dager i gang med utbyggingen av Snøhvitfeltet utenfor Hammerfest i Finnmark. Det er disse gassressursene som er utgangspunktet for drivstoffproduksjonen i analysen. Selve produksjonen er lagt til Melkøya. Derfra blir drivstoffene transportert til Le Havre med skip, og deretter til Genève med tog eller lastebil. Her blir de distribuert til fyllestasjoner i byen og senere fylt på små personbiler på størrelse med en Renault Twingo.

Alle utslipp, materialbehov og energibehov kan knyttes til den funksjonelle enheten 150.000 km utkjørt distanse.

Resultatene viser at en utskiftning av bensinbilen med et av de andre systemene for transport presentert i denne analysen, kan gi store miljøgevinster. Av de fire systemene er det hydrogenalternativet som jevnt over kommer best ut, med betydelige reduksjoner i utslipp av klimagasser og oksiddannede komponenter som f.eks. flyktige organiske forbindelser, VOC. Det er bare i forbindelse med forsuring at systemene med brenselcellebiler kommer dårligst ut. Dette skyldes miljøbelastningene forbundet med produksjon av brenselcelle og metanolreformer.

Drivstoffproduksjonen gir for alle systemene et betydelig bidrag. Den er helt avgjørende med tanke på abiotisk utarming, men er ellers sjelden den avgjørende fasen i livsløpet. En stor del av utslippene fra drivstoffproduksjonen kan knyttes til prosessenes energibehov.

FORORD	1
ABSTRACT	2
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	6
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN.....	6
1.1.1 Miljøproblemer tilknyttet transportsektoren.....	6
1.1.2 Norges gassressurser.....	6
1.2 FORMÅLET MED OPPGAVEN.....	6
1.3 PRESENTASJON AV RESULTATENE.....	7
2 TEORI	8
2.1 INNLEDNING.....	8
2.2 DEFINISJON.....	8
2.3 STYRKER OG SVAKHETER VED LIVSLØPSANALYSER.....	8
2.4 TEORI.....	9
2.4.1 Mål- og systemdefinisjon.....	10
2.4.2 Kartlegging.....	12
2.4.3 Belastningsvurdering.....	12
2.4.4 Tolkning.....	13
3 MÅL- OG SYSTEMDEFINISJON	14
3.1 HENSIKT MED OPPGAVEN.....	14
3.2 SYSTEMVALG.....	14
3.3 FUNKSJONELL ENHET.....	15
3.4 AVGRENSNING AV OPPGAVEN.....	16
3.5 SYSTEMAVGRENSNING.....	16
3.6 REGLER FOR ALLOKERING.....	16
3.7 FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER.....	17
3.8 DATAKVALITET.....	17
3.9 DATAVERKTØY.....	17
3.10 EFFEKTKATEGORIER.....	17
4 KARTLEGGING	19
4.1 DRIVSTOFFENES EGENSKAPER.....	19
4.2 SYSTEMSKISSER.....	19
4.3 FLYTSKJEMER.....	21
4.4 DATAKILDER.....	23
4.5 FORUTSETNINGER OG ANTAGELSER.....	23
4.6 SYSTEMGRENSER.....	25
5 BESKRIVELSER AV PROSSESS OG PRODUKTSYSTEM	28
5.1 OLJE- OG GASSPRODUKSJON.....	28
5.2 DRIVSTOFFPRODUKSJON.....	29
5.2.1 Produksjon av LNG.....	29
5.2.2 Produksjon av hydrogen.....	31
5.2.3 Produksjon av metanol.....	32
5.2.4 Produksjon av bensin.....	33
5.3 TRANSPORT AV DRIVSTOFF.....	36
5.4 FYLING AV DRIVSTOFF PÅ BIL.....	37
5.5 PRODUKSJON OG BRUK AV BIL.....	37
5.5.1 Bil med forbrenningsmotor.....	37
5.5.2 Bil med brenselcelle og elektrisk motor.....	39
5.5.3 Moduler for bilene vurdert i denne studiens fire systemer.....	41
6 RESULTATER	43
6.1 SAMMENLIKNING AV DE FIRE VERDIKJEDENE.....	43

6.2	KARTLEGGING AV DE VIKTIGSTE BIDRAGSYTERE.....	43
6.2.1	LNG systemet.....	45
6.2.2	Hydrogensystemet.....	47
6.2.3	Metanolsystemet.....	50
6.2.4	Bensinsystemet.....	52
7	DISKUSJON	56
7.1	TRENDER I RESULTATENE.....	56
7.1.1	Abiotisk utarming.....	56
7.1.2	Global oppvarming.....	57
7.1.3	Nedbrytning av ozonlaget.....	57
7.1.4	Toksisitet.....	58
7.1.5	Fotokjemisk ozondannelse.....	59
7.1.6	Forsuring.....	59
7.1.7	Eutrofiering.....	60
7.1.8	Merknader.....	60
7.2	USIKKERHET I RESULTATENE.....	61
7.2.1	Datausikkerhet.....	61
7.2.2	Systemgrenser.....	62
7.2.3	Forutsetninger og antagelser.....	62
7.3	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID.....	63
8	KONKLUSJON.....	64
	REFERANSER	65

BILAG:

B1: Inventardata for drivstoffproduksjonen

B2: Resultater for effektkategoriene ozonnedbrytning og toksisitet

B3: Diverse beregninger

TILLEGG:

Cd-rom

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn for oppgaven

1.1.1 *Miljøproblemer tilknyttet transportsektoren*

Bilbruk gir en rekke negative miljøkonsekvenser. Med et stadig økende fokus på global oppvarming, er det først og fremst utslipp av klimagasser som forbindes med transportsektoren. Klimagasser er betegnelsen på komponenter som bidrar til global oppvarming og omfatter i så måte gasser som karbondioksid, CO₂ og metan, CH₄.

Også en rekke andre miljøproblemer kan knyttes til bruk av bil. I store byer med mye trafikk og varmt klima, er dannelse av smog et resultat. Utslipp av oksiddannende komponenter som flyktige organiske forbindelser, VOC (volatile organic compounds), sammen med et solfylt klima, danner bakkenært ozon.

Forsuring er et annet problem som settes i forbindelse med transportsektoren. Dette er i første rekke et lokalt miljøproblem. Utslipp av svoveldioksid, SO₂, og nitrogenoksider, NO_x, reagerer med vann i lufta og danner syrer. Disse kan være til stor skade på miljøet. I tillegg gjør sur nedbør store skader på byggverk verden over.

Grunnet de negative konsekvensene av bilkjøring nevnt ovenfor, i tillegg til en rekke andre, har det de seneste årene blitt forsket mye innen alternativer til dagens diesel- og bensinbiler. Resultatene fra denne innsatsen har nå begynt å vise seg. Hybridbiler er allerede på markedet, mens en rekke forskjellige brenselceller i disse dager testkjøres.

Mye forskning har også blitt gjort på alternative drivstoff. De mest aktuelle med tanke på brenselcelle er hydrogen og metanol. Ellers har den tradisjonelle forbrenningsmotoren vist en nedgang i utslipp ved bruk av naturgass som brensel. Det finnes nå veletablerte systemer for bruk av naturgass, enten i komprimert eller flytende form, som drivstoff i busser og båter.

1.1.2 *Norges gassressurser*

Norge sitter på store olje- og gassreserver. Tradisjonelt har oljen blitt vurdert til å være den mest verdifulle ressursen, men i de senere årene har interessen for gassproduksjon økt kraftig. I den forbindelse har letingen etter nye gassfelt blitt trappet opp.

I oktober 1984 gjorde Statoils letemannskaper et gassfunn utenfor kysten av Finnmark. Gassfeltet går i dag under navnet Snøhvit. Så tidlig som på begynnelsen av nittitallet ble det forsøkt å etablere et grunnlag for utbygging av gassfeltet, men det ble stanset av markedsmessige og økonomiske årsaker.

Statoil startet en ny utredning i 1997 og søkte høsten 2001 om utbygging og drift av Snøhvit. Forslaget som ble lagt frem inkluderte et LNG anlegg til videreforedling av naturgassen. De fikk gjennomslag for søknaden i Stortinget 7. mars 2002. Anlegget er nå under utbygging.

1.2 Formålet med oppgaven

I denne oppgaven har anvendelsen av Norges gassressurser blitt sett i lys av miljøproblemene knyttet til transportsektoren. Gjennom en komparativ livsløpsanalyse har tre alternativer for utnyttelse av naturgassen fra Snøhvit blitt vurdert; produksjon av flytende naturgass, LNG

(liquid natural gas), hydrogen og metanol. Disse benyttes så som drivstoff i personbiler. Analysen tar for seg hele verdikjeden fra uttak av gass til bilkjøring. Målet med studien har vært å finne hvilket drivstoff som kan gi de største miljøgevinstene, samtidig som de avgjørende fasene av verdikjedene kartlegges. For å illustrere miljøgevinstenes størrelsesorden, har systemene nevnt ovenfor blitt sammenliknet med et referansesystem der bensin benyttes som drivstoff i biler med forbrenningsmotor.

1.3 Presentasjon av resultatene

Simapro har blitt benyttet til prosessering av data. De resultatene som er ansett som de mest betydningsfulle, er presentert i denne rapportens resultatdel. Ellers følger det med rapporten en Cd-rom der alle bidrag er vist. Grunnen til at disse ikke har blitt presentert i et vedlegg, er i hovedsak størrelsen på dette datamaterialet. I tillegg vil denne løsningen gjøre resultatene mer oversiktlige.

2 TEORI

Teorien er hentet fra Guinée et al. (2001) og Halvorsen (2001). Metoden beskrevet her er i tråd med metodikken beskrevet i ISO 14040 standarden.

2.1 Innledning

En livsløpsanalyse er et verktøy som kan benyttes i vurderingen av et produkts miljøpåvirkning. En økt forståelse for et produkts negative miljøkonsekvenser kan gi verdifull og nyttig kunnskap, som kan benyttes i en vurdering av hvor i et produkts livsløp forbedringer kan gjøres. Livsløpsanalyser er også nyttige når to eller flere produkter med samme funksjon skal sammenliknes. Dette kalles komparative livsløpsanalyser. Det er da mulig å komme frem til en anbefaling av ett av produktene fremfor de andre.

En livsløpsanalyse går ut på å kartlegge alle trinn i produktets livsløp, og enten kvalitativt eller kvantitativt definere miljøkonsekvensene av disse. Den totale påvirkningen på miljøet kan så kalkuleres ved å summere konsekvensene over hele verdikjeden. Resultatet av en slik analyse vil da representere en miljøprofil av produktet i fokus.

Da en livsløpsanalyse avdekker hvilke deler av verdikjeden som gir de største miljøbelastningene, vil en slik analyse være et godt hjelpemiddel innen produktdesign og prosjektering. Slike analyser kan også benyttes som et beslutningsverktøy av myndighetene i deres miljøarbeid.

2.2 Definisjon

Definisjonen er hentet fra Lindfors et al. (1995, s. 12):

”A LCA is a process to evaluate the environmental burdens associated with a product system, or activity by identifying and quantitatively or qualitatively describing the energy and materials used, and wastes released to the environment, and to assess the impacts of those energy and materials uses and releases to the environment. The assessment includes the entire life cycle of the product or activity, encompassing extracting and processing raw materials; manufacturing; distribution; use; reuse; maintenance; recycling and final disposal; and all transportations involved. LCA addresses environmental impacts of the system under studying areas of ecological systems, human health and resource depletion. It does not address economic or social effects.”

2.3 Styrker og svakheter ved livsløpsanalyser

En styrke ved denne type analyser er at hele produktets verdikjede blir tatt med i vurderingen. Dette inkluderer alle stadier fra produksjon av produktet til avhending av dette. En slik analyse vil da avdekke tilfeller der en omlegging av teknologien i ett av produktets faser medfører en reduksjon i utslipp i en del av livsløpet, men en økning i utslipp i en annen del.

En annen styrke ved livsløpsanalyser er at miljøkonsekvensene blir sett i lys av flere effektkategorier. Utslipp som bidrar til global oppvarming lokaliseres til denne effektkategorien, mens utslipp som bidrar til forsurening lokaliseres dit hen. En komparativ analyse vil kunne avdekke tilfeller der ett av produktene gir store miljøbelastninger innefor én effektkategori, mens et annet produkt medfører store belastninger innenfor en annen kategori.

Livsløpsanalyser tar ikke hensyn til hvor miljøpåvirkningene geografisk sett gjør seg gjeldende. For globale miljøproblemer som global oppvarming vil ikke dette være av særlig betydning. For utslipp som kan settes i forbindelse med regionale eller særlig lokale miljøproblemer, kan mangelen på geografisk spesifisering derimot være kilde til lite realistiske konklusjoner. Det kan være store forskjeller i hvor stor et økosystems bæreevne er. Et eksempel på dette er miljøkonsekvensene av sur nedbør på Sørlandet i Norge. I dette området er den naturlige surhetsgraden i berggrunnen så lav at sur nedbør gir et større skadeomfang enn det ville gjort i andre områder med større bufferkapasitet. Slike forskjeller i naturens bæreevne har en livsløpsanalyse vanskeligheter med å fange opp.

En livsløpsanalyse tar heller ikke hensyn til over hvor lang tidsperiode utslippene forekommer. Er utslippene store over en kort tidsperiode, kan det forventes mer akutte miljøkonsekvenser enn utslipp over en lengre periode.

Det er kun miljøkonsekvensene forbundet med et produkt som er fokuset for en livsløpsanalyse. Når verken økonomiske eller sosiale aspekter ved bruk av et produkt blir tatt med i vurderingen, kan denne type analyse lett bli et forenklet bilde av virkeligheten. Det er derfor nyttig å utføre konsekvensanalyser for andre faktorer parallelt med miljøanalysen.

En svakhet ved komparative analyser er at de kan komme til å anbefale ett av flere produkter fremfor de andre på tross av at de alle er helt uakseptable ut fra et miljøhensyn. En komparativ livsløpsanalyse sier ingenting om hva et "miljøvennlig" produkt er, bare noe om hvilke produkter som er bedre enn de andre ut fra de rammer som settes for analysen.

En grundig diskusjon av resultatene er av overnevnte grunner en viktig del av en livsløpsanalyse.

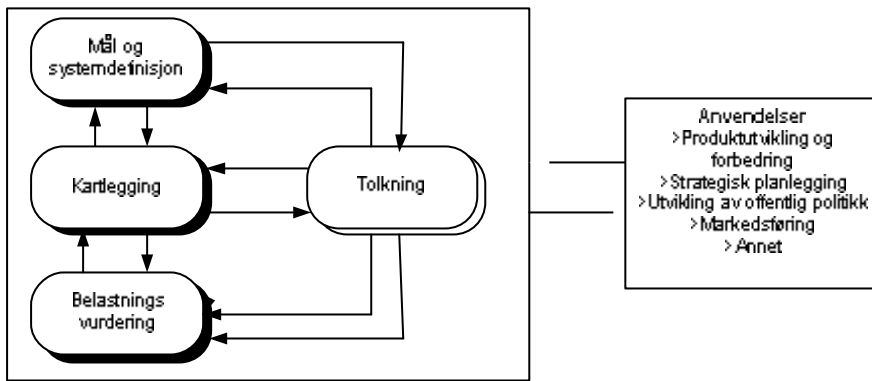
2.4 Teori

ISO 14040 serien og Guinée et. al. (2001) beskriver omtrent samme fremgangsmåte for utførelsen av en livsløpsanalyse. Det er disse som er grunnlaget for metodikken benyttet i denne oppgaven. Analysen består i hovedsak av fire hoveddeler slik figur 2-1 viser. Disse er:

1. Mål- og systemdefinisjon
2. Kartlegging
3. Belastningsvurdering
4. Tolkning

Krav til innhold i disse hoveddelene vil nå bli kommentert.

En livsløpsanalyse er en iterativ prosess, noe som er illustrert i figur 2-1. Etter hvert som man opparbeider seg mer detaljert kunnskap om systemet man studerer vil avgjørelser tatt i de forskjellige faser kunne endres.



komparativ analyse av disse transportmidlene kan da være å frakte en person fra punkt A til punkt B.

Den funksjonelle enheten er så basisen for hele analysen og all kvantifisering av utslipp, energiforbruk og råvareuttak skal relateres til denne. I praksis medfører dette at alle tall og beregninger skal oppgis pr. funksjonell enhet.

Det er mange feller å gå i når den funksjonelle enhet skal defineres. Ikke alle funksjoner er like innlysende som i tilfellet beskrevet over. En feil som ofte gjøres er at tidsperspektivet utelates. I et tenkt tilfelle der to eller flere husmaling/beis typer skal sammenliknes, vil det være viktig å inkludere både hvor drøy malingen/beisen er, d.v.s. hvor mange m² vegg hver liter dekker, og hvor lenge det er antatt at ett strøk maling/beis beskytter veggene. Det kan også settes estetiske krav til malingen/beisen som må inkluderes i den funksjonelle enheten.

Da alle resultater relateres til den funksjonelle enheten er det klart at definisjonen av denne krever nøye gjennomtenkning.

Regler for allokering:

Produksjonen av et produkt A innebærer ofte produksjon av ett eller flere biprodukter. Noen biprodukter kan ha økonomisk nytteverdi, mens andre kun blir sett på som en negativ konsekvens av produksjonen. Å allokere utslippene til de forskjellige produkter vil da si det samme som å fordele utslippene mellom disse. Dette kan gjøres på flere måter:

- Allokering på massebasis: Utslippene fordeles mellom produktene etter forholdet mellom produksjonen (vekten) av disse.
- Allokering på energibasis: Utslippene fordeles mellom produktene etter forholdet mellom energiinnholdet i disse.
- Allokering på volumbasis: Utslippene fordeles mellom produktene etter forholdet mellom produksjonen (volum) av disse.
- Allokering etter økonomi: Utslippene fordeles mellom produktene etter hvor stor inntjening bedriften har for hver av disse.

Systemgrenser:

Den virkelige verden består av uendelige interaksjoner mellom ulike systemer. Her finnes ingen klare systemgrenser. I en livsløpsanalyse er det viktig å få resultater som er mest mulig representative for denne virkeligheten, og det kan da ofte bli vanskelig å gjøre valg med tanke på systemgrenser. Det må allikevel gjøres. Tiden som er til rådighet for utførelse av analysen kan være en viktig faktor til at deler av systemet må utelates. Hvilke data som er mulige å fremskaffe kan være en annen grunn til at deler av systemet må kuttes ut. Til slutt er det ønskelig å sette grensene slik at de subsystemene som har marginal betydning for resultatet ikke får unødig mye oppmerksomhet.

På tross av at systemgrenser bør settes slik at de ikke får avgjørende betydning for resultatene, er det viktig å merke seg at når grensene er satt vil systemet kun være en tilnærming til virkeligheten. En stor kilde til usikkerhet ligger nettopp her.

Effektkategorier:

Hensikten med oppgaven bør reflektere valget av effektkategorier. En liste over effektkategorier benyttet i denne analysen og forklaring til disse er gitt i avsnitt 3.9.

Ved valg av metode i dataverktøy som Simapro, vil valg av effektkategorier skje automatisk.

Analyseverktøy:

Flere analyseverktøy har blitt utviklet de senere årene. Noen av de viktigste er Simapro, LCA Inventory Tool, Ecolab, UMIP og EPS software. Hvilke som blir mest brukt, avhenger i stor grad av i hvilket land analysen gjøres. I Norge er det i første rekke nederlandske Simapro og svenske LCA Inventory Tool som blir mye brukt (Hanssen, 1999).

Datakvalitet:

”LCA Data Quality Goals are the level of uncertainty acceptable in the final results” (Lindfors et al., 1995, s. 38).

Det finnes ingen standard for datakvalitet. Det blir et valg som gjøres fra analyse til analyse basert på hensikten med oppgaven, tiden til rådighet for utførelsen av analysen og ikke minst de data som er tilgjengelige.

2.4.2 Kartlegging

I denne fasen av analysen skal alle data som er nødvendige for gjennomføringen av analysen hentes inn. Systemet, med de grenser og forutsetninger gitt i mål- og systemdefinisjonen, fremstilles i et flytskjema som illustrerer masse- og energistrømmer forbundet med hver fase i verdikjeden. Dette inkluderer råvare- og energibehov og utslipp til luft, vann og jord.

Innsamling av data er ofte en tid- og ressurskrevende prosess. Det er flere årsaker til hvorfor slike data er vanskelige å hente frem. Utslippstall for aktuelle bedrifter blir ofte godt beskyttet, slik at det kan være nødvendig å måtte henvende seg til annenhånds informasjon som databaser eller aktuell litteratur. Også i tilfeller der bedrifter sier seg villige til å gå ut med denne type informasjon, kan de aktuelle data allikevel være vanskelige å finne. Dette kan bl.a. skyldes lite detaljert rapportering. I situasjoner der annenhånds informasjon må benyttes, er dette er viktig kilde til usikkerhet.

En måte å sikre seg mot usikkerhet på, er å utføre følsomhetsanalyser. Tvilsomme data blir byttet ut med høyere eller lavere verdier for å se hva dette har å si for det totale resultatet.

2.4.3 Belastningsvurdering

I henhold til Guinée et. al. (2001), kan denne delen av en livsløpsanalyse deles inn i fire deler. Disse er:

- Klassifisering
- Karakterisering
- Normalisering
- Vekting

Klassifisering:

I denne delen av analysen knyttes utslipp, råvareuttak og energibehov opp mot de relevante effektkategoriene. Utslipp av CO₂ vil f.eks. relateres til global oppvarming og eventuelle andre effektkategorier hvor gassen vil gi et utslag.

Karakterisering:

Både CO₂ og CH₄ bidrar til global oppvarming. Utslipp av en kilo CH₄ gir imidlertid 21 ganger større effekt enn det utslipp av en kilo CO₂ bidrar med (Simapro, CML baseline 2000).

Ved å tilegne hver komponent en vektingsfaktor for den betydningen den har innen hver effektkategori, kan disse til slutt summeres og gi et bilde av de samlede utslippenes bidrag til de ulike miljøproblemene.

Dette kan også beskrives matematisk. Det potensielle bidraget til effektkategori i fra utslipp j , C_{ij} , kan beregnes ut ifra produktet av massen av utslipp j , E_j , og vektingsfaktoren, W_{ij} , slik likning 2-1 viser:

$$C_{ij} = E_j \cdot W_{ij} \quad (2-1)$$

Det totale bidraget til effekten av utslippene, C_i , kan da beregnes ved hjelp av likning 2-2:

$$C_i = \sum_j C_{ij} = \sum_j E_j \cdot W_{ij} \quad (2-2)$$

Likningene er hentet fra Lindfors et al. (1995).

Normalisering:

Som tidligere nevnt, kan samme mengde utslipp av en komponent gi forskjellige konsekvenser avhengig av hvor de forekommer geografisk sett. Under normaliseringen blir det forsøkt å ta hensyn til denne faktoren, bl.a. ved å skalere karakteriseringsresultatene etter betydningen miljøproblemene ansees å ha for de aktuelle geografiske områdene. Ved valg av metode i Simapro, gjøres det også valg med tanke på hvilken region analysens systemer virker innenfor.

Vekting:

I denne fasen av analysen rangeres de forskjellige effektkategoriene etter hvor alvorlig en anser miljøproblemene for å være. Hver effektkategori får da en faktor, V_i , basert på denne rangeringen. Denne faktoren multipliseres med resultatene fra karakteriseringen. Den totale effekten på miljøet, T , kan da beregnes ved å summere disse bidragene slik likning 2-3 viser.

$$T = \sum_i C_i \cdot V_i \quad (2-3)$$

En vurdering kan ikke gjøres uten å introdusere politiske og/eller moralske verdier, og mange kritiserer denne delen av en LCA for å bli for subjektiv. Et alternativ til denne kvantitative formen for vekting kan være å gjøre en kvalitativ vekting under diskusjonene av resultatene.

2.4.4 Tolking

Tolking av resultatene skal skje i lys av mål- og systemdefinisjonen. Det er viktig at alle aspekter som kan ha hatt en innvirkning på resultatene nevnes. Dette kan være usikkerhet i data, systemgrenser, metode m.m..

3 MÅL- OG SYSTEMDEFINISJON

3.1 Hensikt med oppgaven

Det finnes en rekke alternativer til hvordan naturgass kan utnyttes. I svært mange tilfeller er naturgass et utgangspunkt for energiproduksjon; elektrisitet, varme eller mekanisk energi. Gassen kan benyttes i sin rene form eller inngå som et råstoff i produksjon av andre drivstoff. Hovedbestanddelen i naturgass er metan, CH₄, som kan inngå i produksjon av både metanol, diesel, hydrogen m.m..

I denne analysen har det blitt forsøkt, gjennom en livsløpsanalyse, å finne miljøkonsekvensene forbundet med tre alternative anvendelser av naturgass. Miljøkonsekvensene forbundet med hvert enkelt av disse sammenliknes så for å gi en indikasjon på hvilke(t) som ut fra et miljø- og ressursfokus er det mest hensiktsmessige. Analysen er altså komparativ.

Med den økende bekymringen for resultatene av global oppvarming og andre mer lokale miljøkonsekvenser av biltrafikk, har det vært naturlig å se anvendelsene av naturgass i lys av alternative systemer for transport. Analysen fokuserer derfor på naturgass som et utgangspunkt for produksjon av alternative drivstoff for biltransport, og vurderer hele verdikjeden fra uttak av gass til bruk av drivstoffet innen transportsektoren.

For å kunne gi en indikasjon på den eventuelle miljøgevinsten ved en overgang til disse alternative transportsystemene, har det blitt definert et referansesystem. Dette er et system som er representativt for dagens virkelighet, med bensin som drivstoff i biler med ordinære forbrenningsmotorer.

Det er produksjonen av drivstoff som har hovedfokuset i analysen. I Röder (2001) sammenliknes en rekke ulike systemer for personbiltransport. Her er både drivstoffproduksjon og bilkjøringen lagt til Mellom Europa. Siden Norge er en stor aktør innen olje- og gassutvinning er det interessant å se hva en endring i lokaliseringen av drivstoffproduksjonen vil medføre. Det har derfor blitt lagt vekt på å finne oppdatert datamateriale for norske forhold.

Det er ikke analysens hensikt å gi *absolutte* svar på hvor store miljøgevinstene er med de ulike systemene. Til det er de altfor komplekse. Det er derimot ønskelig å gi en indikasjon på hvilke systemer som er mest hensiktsmessige i tillegg til å vise hvilke deler av verdikjeden som gir de største bidragene.

Analysen har blitt gjort i samarbeid med Statoil og tar utgangspunkt i gass fra Snøhvitfeltet utenfor kysten av Finnmark.

3.2 Systemvalg

Systemene har blitt valgt på bakgrunn av deres aktualitet og deres gjennomførbarhet. Disse er:

- *Produksjon av LNG som ved fyllestasjon konverteres til CNG og benyttes som drivstoff i en personbil med forbrenningsmotor.*

Da det i dag bygges et anlegg for produksjon av LNG i tilknytning til gassfeltet Snøhvit, er det naturlig å velge LNG som et av de alternative drivstoffene som skal vurderes. Det skjer en konvertering av LNG til CNG ved fyllestasjon. Biler etablert for CNG har forbrenningsmotor.

- *Produksjon av hydrogen som benyttes som drivstoff i en personbil med brenselcelle.*

Mange mener at hydrogen kommer til å spille en avgjørende rolle som energibærer i fremtiden. I form av drivstoff vil hydrogen trolig i hovedsak benyttes i biler med brenselcelle. Produksjon av hydrogen har derfor vært utgangspunkt for det neste systemet.

- *Produksjon av metanol som benyttes som drivstoff i en personbil med metanolreformer og brenselcelle.*

Hydrogen er en svært reaktiv gass som krever mye med tanke på sikkerhet. Det at den er en gass ved standard trykk og temperatur gjør at det dessuten oppstår problemer i forbindelse med lagring av drivstoffet. Ved å benytte metanol, CH₃OH, som drivstoff i en brenselcelle kan disse problemene unngås. Dette krever en metanolreformer i forkant av brenselcellen.

- *Produksjon av bensin som benyttes som drivstoff i en personbil med forbrenningsmotor med.*

Dette er referansesystemet som representerer dagens virkelighet. Bensin produseres fra råolje.

En mer detaljert beskrivelse av systemene, samt et flytskjema over disse, er å finne i kapittel 4. Beskrivelser av prosesser og produktsystem er gitt i kapittel 5.

3.3 Funksjonell enhet

I livsløpsanalyser der transport er systemenes funksjon, er det ofte naturlig å velge en utkjørt distanse som funksjonell enhet. I denne analysen har det blitt valgt en distanse som tilsvarer gjennomsnittelig kjørelengde for en liten vesteuropeisk personbil, på størrelse med en Renault Twingo, i løpet av dens levetid.

Röder (2001) er valgt som kilde til data for bilproduksjon og direkte utslipp fra kjøretøy for alle fire systemer. Valget av funksjonell enhet er derfor i samsvar med funksjonell enhet i denne rapporten. Her er gjennomsnittelig kjørelengde for en liten vesteuropeisk personbil satt til 150.000 km.

I Röder (2001) er det i tillegg til den funksjonelle enheten definert to ulike kjøremønstre for personbilene. Det ene er basert på ren bykjøring, mens det andre er basert på landeveiskjøring. I denne analysen er det bare landeveiskjøring som blir vurdert. Dette er fordi fokuset for oppgaven ligger på produksjonen av drivstoffet, og fordi Röder i sin rapport allerede har analysert forskjeller i disse kjøremønstrene.

Det er altså miljøkonsekvensene forbundet med en utkjørt distanse på 150.000 km for en personbil med en størrelse tilnærmet lik en Renault Twingo som er vurdert. Distansen kjøres utenfor urbane områder.

3.4 Avgrensning av oppgaven

I denne komparative livsløpsanalysen er det de miljømessige konsekvensene av de fire verdikjedene som er i hovedfokus. De ulike systemenes økonomiske eller samfunnsmessige konsekvenser er holdt utenfor analysen.

Röder (2001) er som tidligere nevnt blitt brukt som kilde for bilproduksjon og direkte utslipp fra kjøretøy. Denne rapporten beskriver også produksjon av metanol og hydrogen fra naturgass. Dette er hovedsakelig gjennomsnittstall for Vest Europa. Det har i denne analysen, der gass fra Snøhvit har vært utgangspunktet for produksjonen, blitt forsøkt å benytte data mer tilpasset norske forhold. Det har derfor blitt lagt større vekt på den første delen av systemenes verdikjede, olje- og gassproduksjon og produksjon av drivstoff.

Det har ikke blitt foretatt vektning av effektkategorier (se avsnitt 2.4.3). Resultatene presenteres i form av systemets virkning på miljøproblemer som global oppvarming, forsurening, toksisitet m.m.. Avsnitt 3.10 gir en full oversikt over vurderte effektkategorier. Det har dessuten blitt lagt vekt på data for utslipp til luft, vann og jord samt energibruk og råvareuttak. Arealbruk har ikke blitt vurdert og avfall har vært vanskelig å ta med i beregningene da kilder oppgir avfallsmengden med liten spesifikk informasjon om hva slags avfall det er.

3.5 Systemavgrensning

Systemgrenser vil i stor grad være avhengig av de kilder som velges for datamateriale og den tiden som er til rådighet for utførelse av oppgaven. På tross av disse avgjørende faktorene, har det vært viktig for resultatenes troverdighet at ingen avgjørende deler av verdikjedene blir satt utenfor systemgrensene. Disse har dessuten blitt satt på en slik måte at de i størst mulig grad er like for alle de fire systemene.

En detaljert beskrivelse av de fire systemene og grensene for disse er gitt i kapittel 4.

3.6 Regler for allokering

Med tanke på at dette er en analyse av ulike typer drivstoff har det i forbindelse med produksjonsanleggene blitt gjort forsøk på å allokere på energibasis. Dette har blitt gjort i systemet for LNG. For produksjon av metanol har det derimot blitt allokert etter masse, da biprodukter som oksygen og argon ikke inngår i videre energiproduksjon. I Frischknecht (1996) allokeres det for produksjon av bensin på energibasis.

3.7 Forutsetninger og antagelser

Da det for noen deler av verdikjedene ikke har vært mulig innenfor de praktiske og tidsmessige rammer å finne spesifikke data, har det blitt gjort en rekke forutsetninger og antagelser. De fleste grunnleggende antagelsene er like for de fire verdikjedene.

Grunnet begrenset tid for utførelse av analysen, har det vært nødvendig å foreta en rekke forenklinger, særlig med tanke på transport av drivstoff og prosesser knyttet til fyllestasjoner. Da det er antatt at disse delene av verdikjeden er av mindre betydning, slik at disse antagelsene ikke vil være avgjørende for resultatene.

3.8 Datakvalitet

Analysen baserer seg i størst mulig grad på data for spesifikke prosesser og på et så oppdatert datamateriale som mulig. I tilfeller der det har vært vanskelig å finne bedriftsspesifikke data, har det blitt gjort tilnærmelser med utgangspunkt i liknende prosesser.

For LNG systemet har det vært særlig vanskelig å finne gode data da LNG anlegget først kommer i drift om noen år. Usikkerheten i den første delen av verdikjeden for LNG vil derfor være større for dette systemet enn de andre.

3.9 Dataverktøy

Simapro 5.0 har blitt benyttet både som en kilde til data og til prosessering av disse. CML baseline 2000 har blitt valgt som metode med Vest Europa som geografisk område. CML baseline 2000 er en oppdatert versjon av CML 1992 og inkluderer også nye metoder som er forskjellige fra CML 2000.

3.10 Effektkategorier

Effektkategorier vurdert i denne analysen er gitt under:

- *Abiotisk utarming – ADP (Abiotic Depletion Potential):*
Effektkategorien er relatert til uttak av abiotiske ressurser forbundet med et produkt/system. Til denne kategorien ressurser regnes i første rekke mineraler og fossile brensler. Effekten måles i kg antimon ekvivalenter.
- *Global oppvarming – GWP (Global Warming Potential):*
Drivhusgasser som CO₂, CH₄ og vanddamp absorberer langbølget stråling fra solen og er en del av grunnlaget for liv på jorden. Store utslipp av slike gasser, særlig i forbindelse med transport og energiproduksjon, sørger nå for at klimaet på jorden er i ferd med å endre seg. Det er en økende bekymring for hva denne klimaendringen kan resultere i. Effekten måles i kg CO₂ ekvivalenter. Tidshorisonten for utslippene er 100 år.

- *Nedbrytning av ozonlaget – ODP (Ozon Depletion Potential):*
Ozonlaget beskytter jorden mot kortbølget stråling. KFK gasser er blant de som er med på å bryte ned dette beskyttende laget. Oppdagelsen av store hull i ozonlaget over polene har sørget for at bruken av KFK og andre ozonnedbrytende stoffer har blitt kraftig redusert de siste årene. Effekten måles i kg KFK-11 ekvivalenter.
- *Menneskelig toksisitet – HTP (Human Toxicity Potential):*
Effektkategorien gir en vurdering av skadeomfanget et produkt/system har på menneskers helse. Effekten måles i kg 1,4- diklorobenzon (utslipp til luft).
- *Akvatisk ferskvannstoksisitet – FAETP (Freshwater Aquatic Eco Toxicity Potential):*
Effektkategorien gir en vurdering av skadeomfanget et produkt/system har på det biotiske miljøet i ferskvannssystemer. Effekten måles i kg 1,4- diklorobenzon (utslipp til vann).
- *Akvatisk toksisitet på marint miljø – MAETP (Marin Aquatic Eco Toxicity Potential):*
Effektkategorien gir en vurdering av skadeomfanget et produkt/system har på det biotiske miljøet i marine systemer. Effekten måles i kg 1,4- diklorobenzon (utslipp til sjø).
- *Terrestrisk toksisitet – TETP (Terrestrial Eco Toxicity Potential):*
Effektkategorien gir en vurdering av skadeomfanget et produkt/system har på det biotiske miljøet på landejorden. Effekten måles i kg 1,4- diklorobenzon (utslipp til jord).
- *Fotokjemisk ozondannelse – POCP (Photochemical Ozon Creation Potential):*
Ved utslipp av VOC, CO, NO_x og CH₄ vil det under påvirkning av UV-stråling dannes oksider. Dette er i første rekke bakkenært ozon, som også er kjent under betegnelsen smog. Særlig i store byer med mye trafikk og et varmt klima, har dette problemet fått økende oppmerksomhet. Effekten måles i kg eten ekvivalenter.
- *Forsuring – AP (Acidification Potential):*
Gasser som SO₂ og NO_x reagerer med luft og danner syrer. Dette gir sur nedbør som det er lett å se resultatene av på Sørlandet i Norge. Fiskedød, utvasking av næringsstoffer og skader på vegetasjon er noen av konsekvensene. Effekten måles i kg SO₂ ekvivalenter.
- *Eutrofiering – EP (Eutrophication Potential):*
Eutrofiering innebærer i praksis tilføring av for mye næringsstoffer. Dette fører til gjengroing av elver og innsjøer. Effekten måles i kg fosfat ekvivalenter.

4 KARTLEGGING

I dette kapittelet vil de fire systemene som vurderes i analysen bli presentert. Det vil også bli sagt litt om kilder til datamaterialet og bakgrunn for systemavgrensning. Innledningsvis vil fysikalske data for de fire drivstoffene bli presentert. Dette er ment som et grunnlag for de systemvalg som gjøres.

4.1 Drivstoffenes egenskaper

Tabell 4.1 viser fysikalske data for naturgass, hydrogen, metanol og bensin. Energiinnholdet i hydrogen, metanol og bensin er hentet fra www.eere.energy.gov, mens Bakkane (1994) er brukt med hensyn på naturgass. Data for kokepunkt er hentet fra Aylward et al. (1994) og www.statoil.com/snohvit, mens vektfraksjonen av hydrogen er tatt fra www.eere.energy.gov.

Tabell 4.1: Tabellen viser fysikalske data for de fire drivstoffene.

DRIVSTOFF	KJEMISK BETEGNELSE	KOKEPUNKT, °C	ENERGITETTHET, MJ/KG	VEKTFRAKSJON AV HYDROGEN
Naturgass	-	-163	47,1	0,24
Hydrogen	H ₂	-253	120	1
Metanol	CH ₃ OH	64,7	19,9	0,12
Bensin	-	30-180	44,4	0,16

Hydrogen har som tabellen viser et overlegent høyt energiinnhold i forhold til de andre drivstoffene. Samtidig er det noen negative aspekter ved å bruke hydrogen som energikilde. Da hydrogen er en gass ved 25°C, 1 bar, oppstår det problemer med tanke på lagring og transport. Løsningen på dette problemet kan være å enten kjøle hydrogenet ned til under -253°C, eller komprimere det til et trykk på 450 bar (Brevik et al., 2002). Denne problemstillingen gjelder også for naturgass, men med et kokepunkt på -163°C blir kjølebehovet mindre enn for hydrogen.

Både bensin og metanol er væsker ved romtemperatur. Da noen lettere fraksjoner av bensin har kokepunkt ned mot 30°C, kan det forventes en høyere fordampningsrate enn for f.eks. metanol.

Væsker ved så lave temperaturer som flytende naturgass og flytende hydrogen går ofte under betegnelsen kryogeniske væsker.

4.2 Systemskisser

De fire verdikjedene består alle i hovedsak av fem livsløpsstadier:

- Uttak av olje og gass
- Produksjon av drivstoff
- Transport av drivstoff til markeder
- Lagring av drivstoff ved fyllstasjon
- Bruk av drivstoffene i personbiler

Uttak av olje og gass:

Systemene for LNG, hydrogen og metanol har alle gass som basis for drivstoffproduksjonen. Uttak av gass har blitt lagt til Snøhvit for alle de tre verdikjedene. Også oljeproduksjonen tilknyttet referansesystemet er lagt til kysten av Finnmark. Det er i dag ingen oljeproduksjon i Barentshavet, men en slik forutsetning har blitt gjort for å få referansesystemet til å illustrere miljøgevinstene forbundet med en overgang til andre alternative systemer for transport. Uten en slik antagelse, ville ikke transportdistansene blitt like for de fire verdikjedene, noe som ville ha gitt det systemet med de korteste distansene er fordel fremfor de andre. Dette illustrerer en svært viktig regel innen komparative livsløpsanalyser; systemene som sammenliknes må være grunnleggende like, slik at resultatene illustrerer det ene produktets/systemets overlegenhet over de andre og ikke ulikheter i systemenes oppsett.

Gassanlegget prosjektert i forbindelse med Snøhvitutbyggingen er det første ubemannede anlegget i Norge. Da det har vært svært vanskelig å finne utslippsdata for denne type anlegg, har det for LNG-, hydrogen- og metanolssystemet blitt antatt et konvensjonelt bemannet gassanlegg. Data benyttet for oljeutvinning er gjennomsnittstall for Vest Europa.

Gassen fraktes til Melkøya gjennom en 160 km lang rørledning. Oljen transporteres med skip.

Produksjon av drivstoff:

Produksjonen av drivstoff er i alle systemer lokalisert til Melkøya utenfor Hammerfest. For LNG produksjon er det antatt et anlegg tilsvarende det som er prosjektert for Snøhvit. For produksjonen av metanol, har metolanlegget på Tjeldbergodden blitt brukt som modell. Data for hydrogenproduksjon er hentet fra Strømman et al. (2002). I denne studien vurderes flere typer storskala hydrogenanlegg. For denne analysen har det blitt benyttet tall for et hydrogenanlegg med en årsproduksjon på 85 PJ. Anlegget bruker naturgass i energiproduksjonen og renses CO₂ fra produksjonsstrømmen som senere lagres i berggrunnen på samme måte som beskrevet for LNG anlegget i kapittel 5. Hydrogen kjøles til flytende fase før transport.

Data benyttet for produksjonen av bensin ved et oljeraffineri er gjennomsnittstall for Vest Europa.

En nærmere beskrivelse av de fire prosessene er gitt i avsnitt 5.2.

Transport av drivstoff:

I Röder (2001) er produksjon av bil lagt til Tyskland, mens bilkjøringen skjer i Sveits. Drivstoffet fraktes derfor fra Hammerfest til fyllestasjoner i Genève, Sveits. Bensin og metanol er i flytende fase ved 25°C, 1 bar, noe som gir høy energitetthet og minimerer transportvolumet. Det kreves heller ingen spesielle sikkerhetstiltak ved håndtering av disse væskene.

Naturgass har et kokepunkt på 163°C, mens hydrogen må helt ned i -253°C før den går over i flytende fase. Det er mulig å frakte naturgass og hydrogen i form av komprimert gass, men det vil ofte være å foretrekke å gjøre det om til væske grunnet økt energitetthet. Dette vil være på tross av økt energiforbruk i forbindelse med nedkjølingen.

Transportdistansen Hammerfest – Genève kan deles inn i to etapper for alle de fire systemene. Den første distansen, fra Hammerfest til Le Havre, Frankrike, nedlegges med båt. Under den andre transportdistansen, fra Le Havre til Genève, benyttes det enten tog eller lastebil. Tog vil bli benyttet for frakt av LNG, metanol og bensin, mens bil vil bli brukt i systemet for

hydrogen. Grunnen til dette er i første rekke at det har vært vanskelig å finne data for transport av hydrogen. De data som har blitt funnet har i første rekke omhandlet frakt med bil. Distansen Hammerfest – Le Havre er satt til 2934 km eller 1584 nautiske mil (Andreassen, Kystverket, 2002), mens distansen Le Havre – Genève er satt til 730 km (www.lca.no).

En nærmere beskrivelse av transportmidlene benyttet for hvert av drivstoffene er gitt i avsnitt 5.3.

Lagring av drivstoff ved fyllestasjon:

Da metanol som nevnt ovenfor er en væske ved 25°C, 1 bar, vil en fyllestasjon for metanol ikke være så forskjellig fra dagens eksisterende bensinstasjoner. Fyllestasjoner for flytende naturgass og flytende hydrogen vil derimot skille seg fra dagens etablerte system på flere områder. Lagring av væsker ved så lave temperaturer krever mye med tanke på materialer og energibehov. Dessuten setter både LNG og hydrogen strenge krav til sikkerhet.

Da hydrogen og naturgass lagres i form av væsker ved fyllestasjonen, men benyttes som drivstoff i form av gasser, er det nødvendig å komprimere gassene før fylling på bil.

Avsnitt 5.4 gir en nærmere beskrivelse av fyllestasjoner vurdert i denne studien.

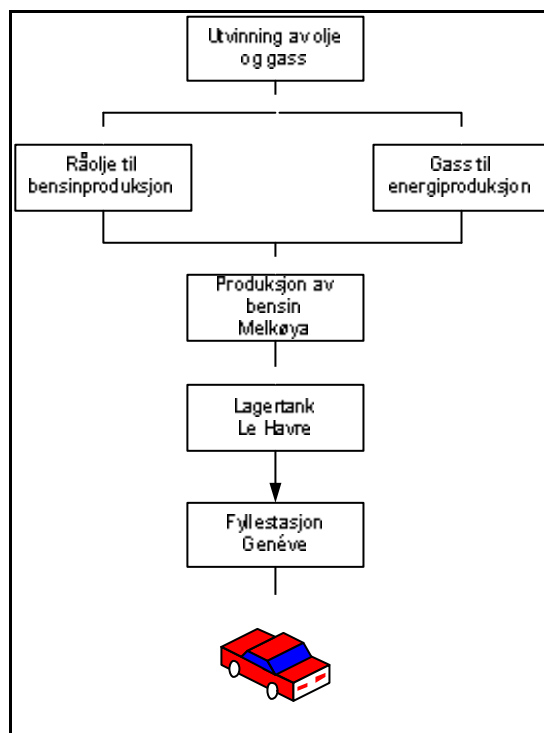
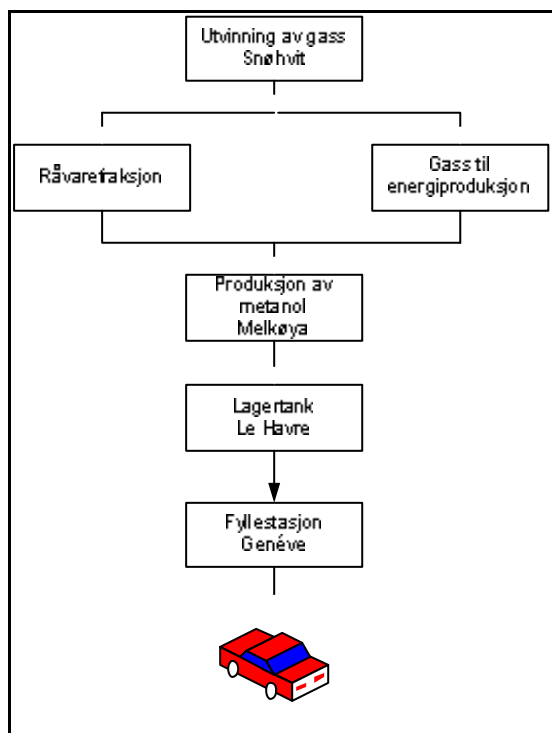
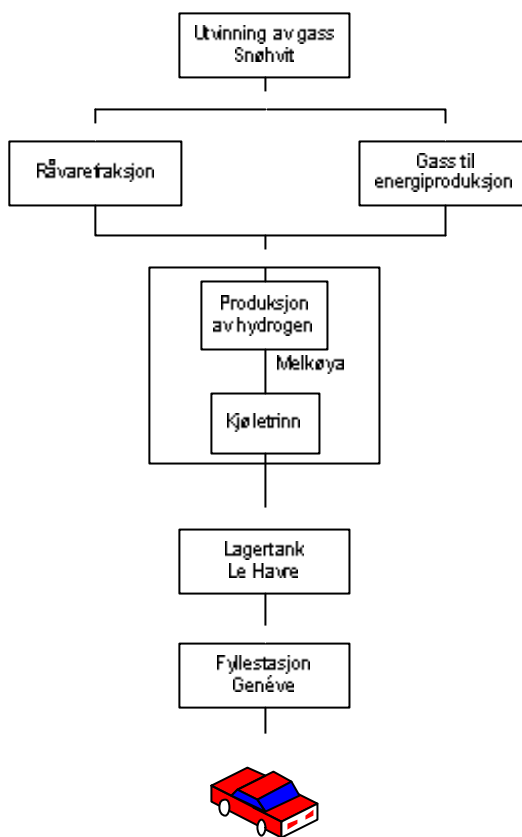
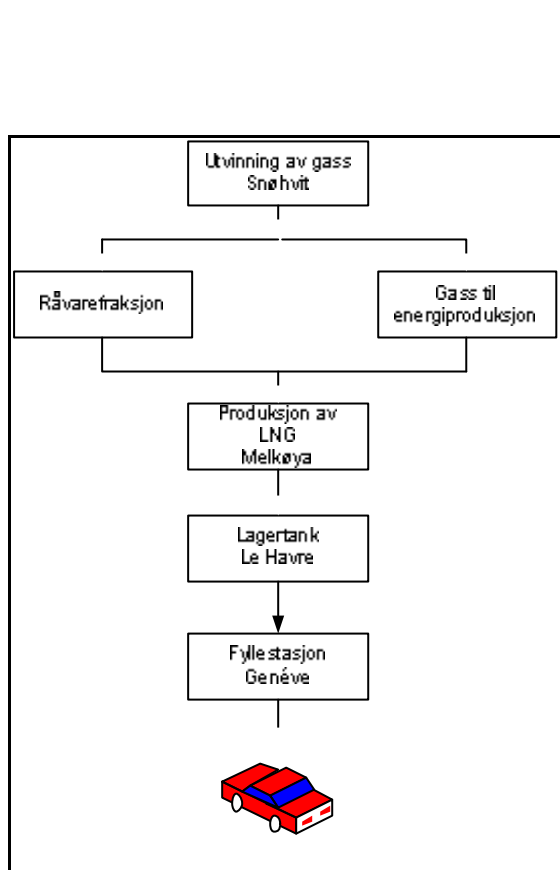
Bruk av drivstoffer i personbiler:

Avsnitt 5.5 gir en grundig beskrivelse av personbilene benyttet for hvert enkelt scenario. Alle bilene er på størrelse med en Renault Twingo. Bilene drevet på LNG og bensin har forbrenningsmotor, mens bilene benyttet i systemene for hydrogen og metanol har brenselcelle.

4.3 Flytskjemer

De fire systemene blir her presentert ved hjelp av flytskjemaer. Figur 4-1 viser LNG systemet, figur 4-2 viser hydrogensystemet, figur 4-3 viser systemet for metanol mens figur 4-4 viser referansesystemet med bensin som drivstoff.

Flytskjemaene er svært forenklet og viser bare massestrømmen av drivstoff gjennom verdikjeden. Strømmen av materialer forbundet med konstruksjon av anlegg, transportmidler og infrastruktur er utelatt.



Figur 4-3: Flytskjema for metanolsystemet

Figur 4-4: Flytskjema for bensinsystemet

4.4 Datakilder

Da det er den første delen av verdikjeden, uttak av olje og gass og produksjon av drivstoffet, som har hovedfokuset i denne analysen, har det blitt lagt vekt på å finne et mest mulig oppdatert datamateriell for denne delen av livsløpet. I tillegg har det vært ønskelig med data som svarer til norske forhold da produksjon av drivstoff er lagt til Hammerfest.

Data for gassutvinning er hentet fra en studie utført av Stiftelsen Østfoldforskning i samarbeid med Statoil og Hydro (Vold, 2000).

Data for utvinning av olje er hentet fra Frischknecht (1996). Disse er gjennomsnittstall for Vest Europa. Samme kilde har blitt benyttet for oljeraffineriet.

Tjeldbergodden har blitt valgt som utgangspunkt for metanolproduksjon, og data har blitt hentet fra SFT (www.sft.no). Dette er tall for 2001.

Strømman har blitt brukt som kilde for hydrogenproduksjon. Gjennom en input-output analyse har utslipp, i tillegg til energibehov og materialbehov, blitt bestemt for et storskala hydrogenanlegg. Brevik et al. (2002) har blitt benyttet for å beregne kjølebehovet i forbindelse med prosessen for å gjøre hydrogenet flytende.

Data for produksjon av LNG er basert på Statoils konsekvensutredning. Statoils nettside om Snøhvit har også blitt mye brukt (www.statoil.com/snohvit).

Transportdata er hentet fra Frischknecht (1996). Distansen Hammerfest – Le Havre er gitt av Andreassen ved Kystverket. Opels reiseruteplanlegger (www.lca.no) har vært brukt som kilde for distansen Le Havre – Geneve.

Röder (2001) oppgir data for både konstruksjon og drift av fyllestasjon for metanol og bensin. Stasjoner for hydrogen og LNG har det derimot vært vanskelig å finne gode data på.

Kompresjonsarbeidet har blitt beregnet ut fra formelen vist i avsnitt 5.4, mens konstruksjon og andre utslipp har blitt utelatt.

Den siste delen av livsløpet er i stor grad basert på Röder (2001). Data for produksjon av bil, i tillegg til drivstofforbruk og direkte utslipp fra bil er hentet herfra. Et unntak har blitt gjort for svovelutslipp fra bil. Röder ser i sin analyse på bensin med lavt svovelinnhold, mens det er vanlig blyfri bensin som vurderes her. Data for svovelutslipp er derfor erstattet med tall fra Bang et al. (1999).

Ellers har en rekke kilder blitt benyttet for å få kunnskap om prosessene og produksystemene i denne oppgaven. Disse blir kommentert underveis i teksten.

4.5 Forutsetninger og antagelser

Forutsetninger og antagelser gjort i analysen vil nå bli kommentert.

Olje- og gassutvinning:

Det har blitt antatt at naturgass fra Snøhvit har en sammensetning som er representativ for annen norsk gass. Dette på tross av at denne gassen har et noe større CO₂ innhold enn det norsk gass vanligvis har. Sammensetningen av gass benyttet i denne studien er gitt i tabell 5.1. Som nevnt ovenfor har det blitt benyttet data for et konvensjonelt gassanlegg på tross av at Snøhvit har blitt prosjektert med et ubemannet gassanlegg.

Det er antatt null svinn i forbindelse med rørtransport av naturgass fra gassanlegget til Melkøya.

Drivstoffproduksjon:

Data forbundet med produksjon av LNG er hentet fra Statoils konsekvensutredning for Snøhvitprosjektet. Det er derfor en forutsetning for LNG systemet at denne konsekvensutredningen oppgir data representative for anlegget som skal stå klart i 2006. Når det gjelder konstruksjon av LNG anlegget, har det blitt antatt en materialfordeling lik et standard oljeraffineri. Frischknecht (1996) oppgir en slik en slik materialfordeling. Vekten av hele LNG anlegget er antatt å være 35.000 tonn (Jakobsen, 2002).

Det er oppgitt et varmebehov for LNG prosessen på 158 MW, mens kraftbehovet er satt til 184 MW for den første driftsperioden. Etter hvert vil denne øke til 207 MW (www.sft.no/nyheter). For denne studien er 207 MW blitt brukt. Det er dessuten antatt at gassturbinene produserer nok varme til å dekke hele varmebehovet ved produksjon av kraft (www.snohvit.com/snohvit).

Allokering av utslipp, materialbehov og energibehov er gjort på energibasis.

Det er antatt et energibehov på 10 kWh el/kg H₂ som skal gjøres flytende (Brevik et al., 2002). Elektrisiteten produseres ved hjelp av en gassturbin.

For produksjon av metanol er det som tidligere nevnt antatt et tilsvarende anlegg som det som finnes på Tjeldbergodden på kysten av Møre. Dette anlegget har en årsproduksjon på 866.600 tonn metanol. Gassbehovet på Tjeldbergodden er i Statoils årsrapport satt til 469.800 tonn.

Det er antatt at denne mengden inkluderer både gass som benyttes som råstoff i produksjonen og gass som går til energiproduksjon. Bakgrunnen for denne antagelsen er karbonregnskapet vist i bilag B3.2

Allokering av utslipp, materialbehov og energibehov er gjort på massebasis.

Data for bensinproduksjon er hentet fra Frischknecht (1996). Dette er som nevnt over gjennomsnittstall for oljeraffinerier i Europa, og vil i så måte ikke være helt representative for et raffineri i Norge. Det er trolig særlig i forbindelse med energiproduksjon disse tallene vil avvike. Norge benytter ofte renere energi enn det som er gjennomsnittet for Europa. Det er allikevel antatt at denne differansen ikke vil være av avgjørende betydning for resultatene av analysen.

For alle anleggene er det antatt 330 driftsdøgn i året.

Transport av drivstoff:

Da det har vært vanskelig å finne data for transportmidler som kan frakte kryogeniske væsker som hydrogen og LNG, har det for transport av disse blitt gjort en rekke antagelser.

Frischknecht (1996) oppgir utslippstall for et LNG skip med en lastekapasitet på 130.000 m³. Det har blitt tatt utgangspunkt i LNG fraktet til Sveits fra Algerie, en distanse på 500 sjømil (en vei), og alle tall refererer til en m³ transportert LNG over denne strekningen. For å kunne benytte disse tallene i denne analysen, har det blitt antatt et proporsjonalt forhold mellom strekning og utslipp. Data oppgitt i Frischknecht (1996) har derfor blitt multiplisert med en faktor X = 3,168 som er forholdet mellom avstanden Hammerfest – Le Havre og avstanden LNG fraktes med båt mellom Algerie og Sveits.

Amos (1998) nevner lasteskip som en aktuell måte å frakte store kvanta flytende hydrogen over større avstander. Det er planer om å konstruere slike skip i Canada, og de vil trolig ha store likheter med dagens LNG tankere. I denne analysen har det derfor, for transport av

flytende hydrogen fra Hammerfest til Le Havre, blitt benyttet tall for en LNG tanker. Trolig vil det for en hydrogentanker bli satt ennå større krav til både materialevalg og kjølearbeid, men det er antatt at denne differansen ikke vil være av avgjørende betydning for resultatet av analysen.

For transport av LNG fra Le Havre til Genève, blir det benyttet tog. Det er antatt et økt materialbehov på 96.000 kg karbonstål for en togvogn med en lastekapasitet på 88 m³ (Ingerud, 2003). Bakgrunnen for denne antagelsen er Röder (2001) som oppgir et økt materialbehov på 24.000 kg karbonstål for en truck med lastevolum på 22 m³ ved transport av komprimert hydrogen. Krav til lagringsforhold vil variere noe for LNG og komprimert hydrogen, men det er antatt at dette ikke vil være av avgjørende betydning i denne analysen. For transport av flytende hydrogen fra Le Havre til Genève brukes nok en gang Röders tall for frakt av komprimert hydrogen. Som for togtransport av LNG kan dette være en kilde til usikkerhet, men igjen antas det at det ikke vil ha en stor innvirkning på resultatene.

For alle de fire systemene er distribusjon av drivstoff fra lagertank til fyllestasjon i Genève antatt å være av så liten betydning at det er under cut-off. Det samme gjelder for lagertanker i Le Havre.

Tallene i Frischknecht inkluderer eventuelle tomme lasterom under tilbakereisen.

Lagring av drivstoff ved fyllestasjon:

Det finnes i dag svært få fyllestasjoner for flytende hydrogen og LNG, og det har derfor vært vanskelig å finne data for konstruksjon og drift av slike anlegg. Kompresjonsarbeid er beregnet etter likning 5-7 vist i kapittel 5. Formelen gjelder i utgangspunktet ikke for væsker ved overkritisk trykk, men den har allikevel blitt brukt som en forenklet tilnærming da beregning av kompresjonsarbeid på overkritisk væsker ikke er innenfor omfanget av denne analysen.

Bruk av drivstoff i personbiler:

Antagelser gjort i forbindelse med levetid for bil og drivstofforbruk er i henhold til Röder (2001). Drivstofforbruket for de fire systemene er vist i bilag B3.1.

Andre forutsetninger og antagelser:

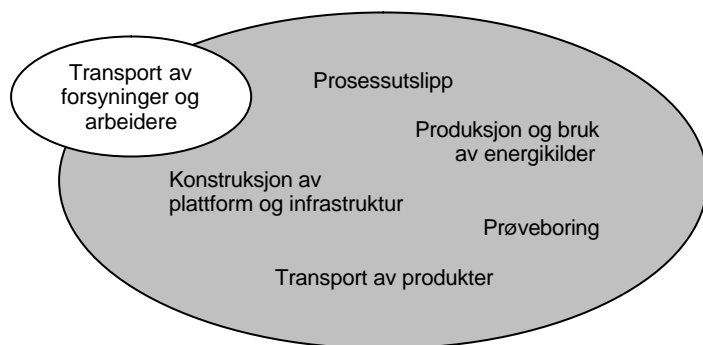
Et materiale kan gjenvinnes og inngå som råstoff i produksjon av nye komponenter. I denne analysen har de miljøgevinstene som er forbundet med resirkulering og gjenvinning av produkter blitt tilskrevet det systemet som gjør nytte av disse materialene. Det medfører at ved å anta en prosentvis mengde resirkulert materiale i råstoffene, f.eks. at 50 % av all aluminium benyttet i produksjonen av bil, gjør at det blir gjort regning for miljøgevinstene ved gjenvinning av produkter og materialer i analysen. For alle de fire systemene er det antatt et svinn på 1 % (masseprosent).

4.6 Systemgrenser

Hvilke aktiviteter som er inkludert i inventardata vil nå bli kommentert. Systemgrensene vil bli illustrert ved figurer som representerer de fem stadiene; fra olje- og gassutvinning til forbruk av drivstoffene.

Olje- og gassutvinning:

Figur 4-5 viser systemgrenser for den første fasen av livsløpet. De hvite boblene viser representere aktiviteter som kan knyttes til utvinning av olje og gass, men som allikevel ikke er tatt med i systemet.

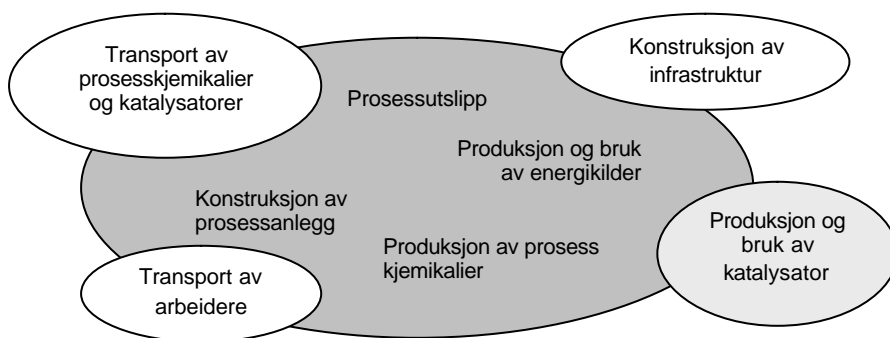


Figur 4-5: En oversikt over de aktiviteter knyttet til olje- og gassutvinning som er definert innenfor systemet.

Kildene benyttet for denne delen av livsløpet er grundige studier som inkluderer de fleste aktiviteter som er forbundet med olje- og gassutvinning.

Produksjon av drivstoff:

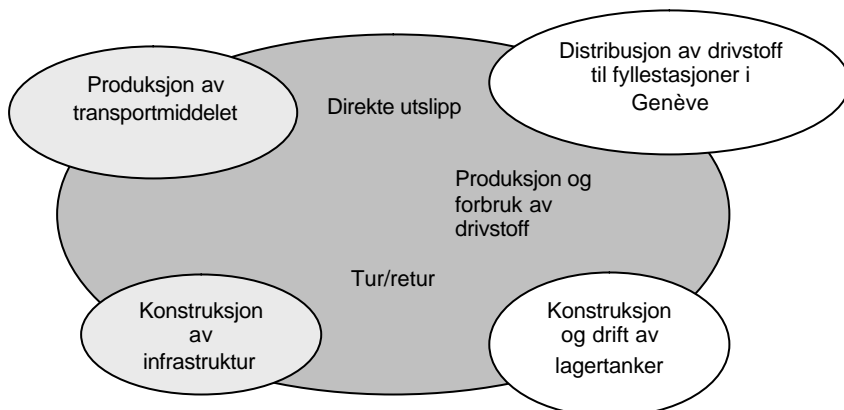
Figur 4-6 viser systemgrenser for produksjon av drivstoff. Kildene benyttet for denne delen av analysen baserer seg i stor grad på bedriftsspesifikke data som i hovedsak tar for seg direkte utslipp og energiforbruk. Produksjon og bruk av katalysator har derfor for LNG systemet, hydrogensystemet og metanolsystemet blitt satt utenfor grensene. Dette er derimot inkludert i Frischknecht. Aktiviteter som er utelatt i noen systemer, men tatt med i andre, illustreres ved lysegrå bobler.



Figur 4-6: En oversikt over de aktiviteter knyttet til drivstoffproduksjon som er definert innenfor systemet.

Transport av drivstoff:

Figur 4-7 viser systemgrenser for transportfasen av livsløpet. For alle de transportdistansene der Frischknecht (1996) har blitt brukt som kilde, har produksjon av transportmiddel og konstruksjon av infrastruktur blitt inkludert. For transportetappen Hammerfest – Le Havre i systemet for metanol og bensin, har derimot disse ikke blitt tatt med. Ellers er distribusjon av drivstoff til fyllestasjoner i Genève og konstruksjon og drift av lagertanker i Le Havre utelatt i alle systemene.



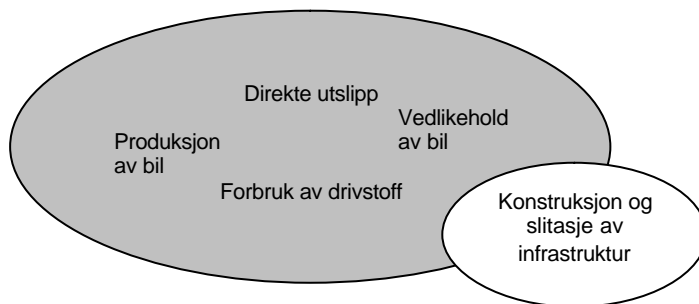
Figur 4-7: En oversikt over de aktiviteter knyttet til transport av drivstoff som er definert innenfor systemet.

Lagring av drivstoff ved fyllestasjon:

Da systemgrensene for denne fasen av livsløpet er satt forskjellig for de fire systemene, er ikke disse presentert i en figur. For metanol- og bensinsystemet er både konstruksjon av fyllestasjon og drift av denne tatt med. Da slike data har vært vanskelig å finne for de to andre systemene, er det for disse bare kompresjonsarbeidet som er inkludert.

Bruk av drivstoff i personbil:

Figur 4-8 viser systemgrensene for den siste fasen av verdikjeden. Da samme kilde har blitt brukt for de fire systemene, er grensene satt likt. Konstruksjon og slitasje av infrastruktur er ikke inkludert.



Figur 4-8: En oversikt over de aktiviteter knyttet til bilkjøring som er definert innenfor systemet.

5 BESKRIVELSER AV PROSESS OG PRODUKTSYSTEM

I dette kapittelet vil de ulike prosessene og produksystemene som inngår i de fire livsløpene bli beskrevet. Ved å ha en viss kunnskap om disse, vil det i tilknytning til resultatdelen bli lettere å relatere utslipp, materialbehov og energibehov til de forskjellige fasene.

5.1 Olje- og gassproduksjon

Snøhvitfeltet består av tre reservoarer; Snøhvit, Albatross og Askeladd, og ligger 140 km nordvest for Hammerfest. De tre reservoarene inneholder i første rekke naturgass, men også små mengder lettolje (www.statoil.com/snohvit).

Snøhvitfeltet skiller seg fra andre olje- og gassinstallasjoner på norsk sokkel ved at selve produksjonsanlegget vil ligge på havbunnen 250 – 345 m under overflaten. Derfra føres naturgassen via en 160 km lang rørledning til LNG anlegget på Melkøya. Den ubemannede gassinstallasjonen og det tilhørende rørsystemet vil fjernstyres fra LNG anlegget.

Tabell 5.1 viser en typisk sammensetning av norsk gass. CO₂ innholdet er litt høyere for naturgass fra området rundt Snøhvit, med en volumprosent på 5-8 % (Jakobsen, 2002). Tettheten kan variere fra et gassfelt til et annet, men er i denne studien antatt å være 0,85 kg/Sm³ (Frischknecht, 1996).

Tabell 5.1: En typisk sammensetning av norsk gass (Bakkane, 1994).

KOMPONENT	MOLPROSENT
Metan, CH ₄	87,1
Etan, C ₂ H ₆	7,90
Propan, C ₃ H ₈	2,10
Nitrogen, N ₂	1,20
Karbondioksid, CO ₂	0,90
N-butan, C ₄ H ₁₀	0,35
I-butan, C ₄ H ₁₀	0,30
N-pentan, C ₅ H ₁₂	0,05
I-pentan, C ₅ H ₁₂	0,05
Heksan, C ₆ H ₁₄	0,05

Forholdet mellom hvor mye olje og hvor mye gass et reservoar inneholder, variere mye fra felt til felt. Da olje tradisjonelt har blitt sett på som en mer verdifull ressurs enn gass, har utbygging av felt med store oljeforekomster tidligere blitt prioritert.

I tillegg til olje og gass, følger det også en del vann med brønnstrømmen. Dette går ofte under betegnelsen produsert vann. Disse tre fraksjonene skilles fra hverandre i en tre trinns separasjonsprosess. En stor del av energibehovet ved en olje- og gassplattform kan knyttes til denne separeringen.

Det produserte vannet går tilbake til sjøen etter å ha gjennomgått en rekke renseprosesser. Grunnen til dette er at brønnstrømmen tilsettes en rekke kjemikalier for å bedre oljekvaliteten, hindre bakterievakt o.s.v.. Etter rensing fortynnes det produserte vannet slik at konsentrasjonen av kjemikalier ligger under en grense på 1 ppm (Røine, 1995).

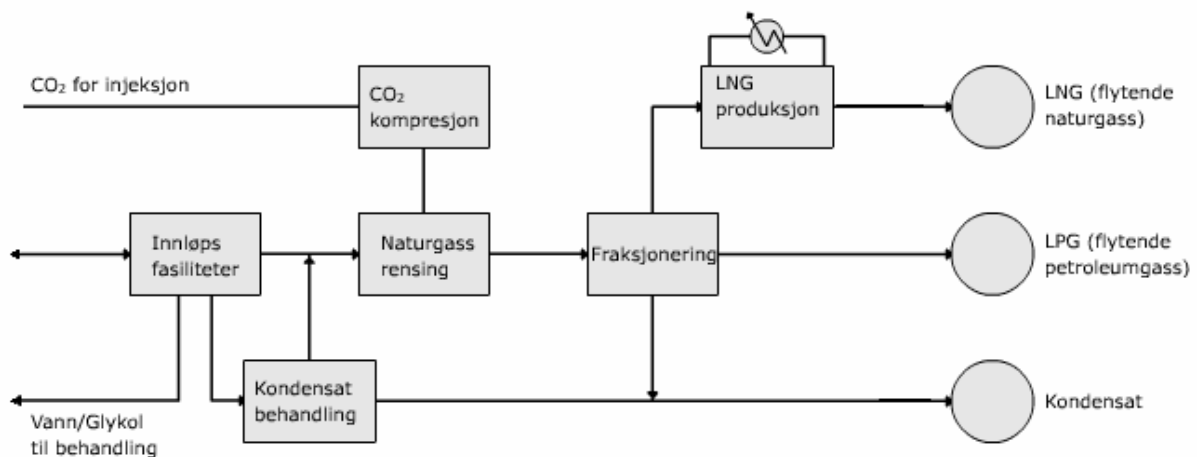
Det vanligste i Norge er å transportere oljen med båt til raffinerier og andre mottaksanlegg. Det er også mulig å bruke et rørledningssystem, i første rekke over kortere distanser. Det mest fordelaktige for transport av naturgass er et rørsystem. Pumpearbeidet vil avhenge av distansen gassen skal fraktes over.

5.2 Drivstoffproduksjon

5.2.1 Produksjon av LNG

Teorien er hentet fra www.statoil.com/snohvit.

Et anlegg for produksjon av LNG er i utgangspunktet en kuldefabrikk der naturgassen kjøles til den går over i flytende fase. Dette skjer ved -163°C , 1 bar. I denne prosessen reduseres volumet 600 ganger, noe som gjør det lettere å frakte naturgassen over store distanser. Figur 5-1 gir et overblikk over de viktigste delprosessene på Melkøya.



Figur 5-1: LNG prosessen (www.statoil.com/snohvit).

Innløpsfasiliteter:

Brønnstrømmen fra Snøhvit, Albatross og Askeladd tilsettes kontinuerlig monoetylglykol (MEG) for å forhindre hydrattannelser i deler av anlegget. Dette gjør at når gass strømmen når Melkøya, består den av tre faser; hydrokarbon væske, hydrokarbon gass og vann/glykol væske. Gassen separeres fra væsker og fritt vann separeres fra kondensat. Etter utfraksjoneringen av vann/glykol fasen, går MEG i en lukket krets tilbake til gassfeltet for å brukes på ny. Det er derfor svært små mengder som slippes ut.

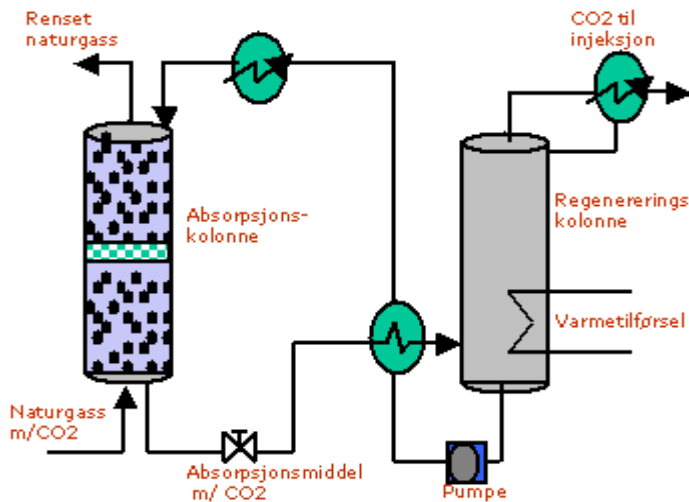
Kondensatbehandling:

Kondensatet stabiliseres og sendes til oppbevaring i en lagertank.

Naturgassrensing:

Brønnstrømmen har et CO_2 innhold på anslagsvis 5,7 % (volumprosent). Dette må fjernes før nedkjølingsprosessen, da CO_2 kan fryse ut og blokkere varmevekslere og annet prosessutstyr. Rensing av CO_2 skjer ved kjemisk absorpsjon i en vaskeprosess med aktivert metyldietanolamin (aMDEA). Aminet binder seg til CO_2 og felles ut i bunnen av tanken. Figur 5.2 viser prosessen med utfraksjonering av CO_2 .

Brønnstrømmen inneholder også små mengder kvikksølv som kan ødelegge prosessanlegget. Dette fjernes ved hjelp av svovelimpregnert kull. Vanddamp fjernes ved hjelp av dehydrering av de samme grunner som CO₂. Selv små mengder kan resultere i utfrysing av prosessen. Etter rensing har prosesstrømmen en CO₂ konsentrasjon på 50 ppm., mens kvikksølvinnholdet er redusert til 10 ng/Sm³. Vanddampinnholdet er 1 ppm. eller mindre.



Figur 5-2: Utfraksjonering av CO₂ (www.statoil.com/snohvit).

CO₂ kompresjon:

CO₂ som fjernes fra prosesstrømmen komprimeres, tørkes, kondenseres og pumpes tilbake til Snøhvitfeltet. Hvert år skal det lagres i overkant av 600.000 tonn CO₂ i sandsteinsformasjonen som kalles Tubåsen. Dette er det andre store prosjektet hvor Statoil tester ut sin nye teknologi for CO₂ deponering. På Sleipner i Nordsjøen har de siden 1996 pumpet flere millioner tonn CO₂ inn i sandsteinformasjonen Utsira.

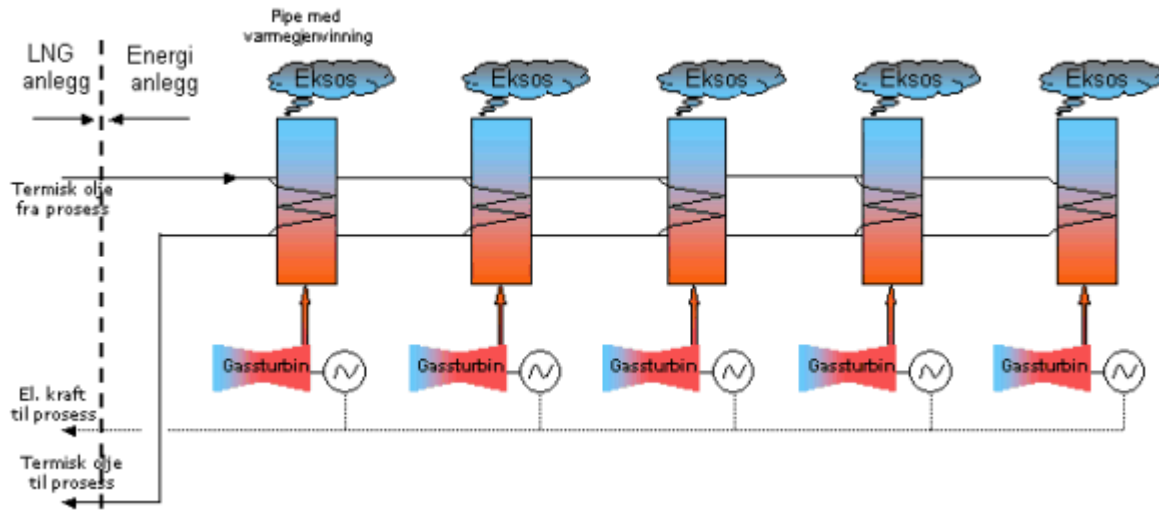
Fraksjonering:

Den rensede gassen føres deretter inn på tre destillasjonskolonner der de tyngre hydrokarbonene skilles ut. Denne fraksjonen kalles LPG (Liquid Petroleum Gas).

LNG produksjon:

Gassen kjøles ned over tre trinn. I det første trinnet får gassen en temperatur på -50°C, da tyngre hydrokarboner separeres ut. I det andre trinnet når gassen -80°C, mens gassen når sin sluttemperatur på -163°C i det siste kjøletrinnet. En slik kjøleprosess krever store mengder energi. Det er beregnet et årlig energiforbruk på 1,45 TWh og et årlig varmeforbruk på 1,25 TWh. Det er dessuten antatt at energiforbruket etter 5-6 år vil øke til 1,64 TWh. Denne energien skal produseres av fem kompressorer av type LM6000PD, en turbogenerator med lav NO_x brennkammer. I tillegg skal det installeres fem varmegjenvinningsenheter i hver eksoskanal. Disse dekker anleggets varmebehov.

Figur 5-3 viser kraftgenereringssystemet på Melkøya.



Figur 5-3: Kraftgenereringssystemet og varmegjenvinningssystemet på Melkøya (www.statoil.com/snohvit).

5.2.2 Produksjon av hydrogen

Hydrogen kan i teorien produseres med utgangspunkt i en rekke primære energikilder, både fossile og ikke fossile. Det er allikevel de fossile brenslene, i første rekke naturgass, som dominerer fullstendig med en andel på 99 % av dagens produksjon på 65 EJ (Barreto et al., 2002). Tilgjengelige teknologier for produksjon av hydrogen fra naturgass inkluderer bl.a. dampreformering, cracking og partiell oksidasjon. I denne analysen er det dampreformering som vurderes.

Dampreformingsprosessen inngår også som et ledd i metanolproduksjonen, så disse to prosessene er på mange måter svært like. Prinsippet med dampreformering er å bryte ned komponenter i naturgass, som i første rekke består av metan, til karbonmonoksid og hydrogen slik likning 5-1 viser. Likningene er hentet fra Andreassen et al. (2001).



Samtidig vil karbonmonoksid reagere videre med vann:



Reaksjonen er endoterm, d.v.s. at den krever varme. Reaktorgassen, en blanding av CO, CO₂ og H₂, går ofte under betegnelsen syntesegass og er utgangspunkt for en rekke prosesser.

Som tabell 5.1 viser, består naturgass av små mengder tyngre hydrokarboner, samt noe karbondioksid, nitrogen, svovel og metallforbindelser. Det kan være aktuelt å rense gassen for disse urenhetene, da de kan ødelegge katalysatorer benyttet i senere prosesser.

Før naturgassen går inn i en dampreformer, kan de tyngre hydrokarbonene i naturgassen brytes ned til enkle komponenter som CO₂, CO, CH₄, H₂ og H₂O i en prereformer. På denne måten kan det også gjøres bruk av disse karbonforbindelsene.

Som likning 5-2 viser, dannes det CO₂ i prosessen. For anlegget vurdert i denne studien, har det blitt antatt at denne mengden fraksjonerer ut og føres tilbake til gassfeltet slik LNG anlegget på Melkøya er prosjektert med.

For lettere å kunne frakte og oppbevare hydrogen kjøles drivstoffet til under kokepunkt.. Energibehovet knyttet til prosessen, dekkes av gassturbiner.

5.2.3 *Produksjon av metanol*

Teorien er hentet fra Halvorsen (2001).

Tjeldbergodden ligger på Mørkekysten i Aure kommune. Metanolanlegget består hovedsakelig av et mottaksanlegg for naturgassen fra Heidrunfeltet, en luftgassfabrikk og en metanolfabrikk med tilhørende rørtransportsystem. Anlegget er dimensjonert for en årsproduksjon av metanol på 830.000 tonn.

Luftgassfabrikken:

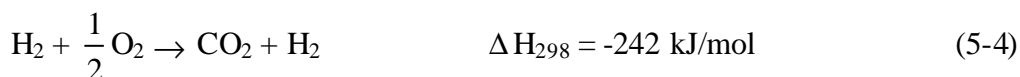
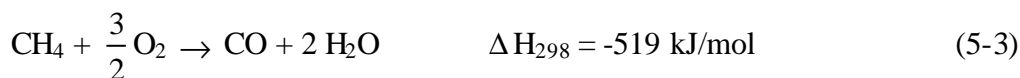
I luftgassfabrikken blir luften separert til sine enkeltstående komponenter. Luft består i hovedsak av 78 % nitrogen og 20,9 % oksygen. I tillegg finnes det 0,2 % av andre forbindelser som karbondioksid, argon og hydrokarbonforbindelser (Smith og Smith, 1998). Oksygenet blir transportert til metanolfabrikken hvor den inngår som en viktig komponent i metanolprosessen. Argon og noe av nitrogenet selges, mens resten av nitrogenet slippes ut til luften. Andre utslipp har fabrikken imidlertid ikke. Prosessen er derimot meget energikrevende.

Metanolfabrikken:

Som nevnt tidligere baserer metanolprosessen seg i likhet med hydrogenprosessen beskrevet over på dampreformering.

Naturgassen føres inn på en prereformer etter et rensetrinn der svovel og metallforbindelser fjernes. Produktet fra prereformeren er en blanding av CO₂, CO, CH₄, H₂ og H₂O. Denne gassen føres så videre inn på dampreformerer hvor den reagerer etter likning 5-1 og 5-2. Forbrenning av naturgass og overskuddsvarme fra metanolsyntesen brukes som energikilde for primærreformerer.

I en sekundær reformer (autotermisk reformer) tilføres vanndamp og ren O₂. Følgende reaksjoner gjør seg gjeldende:



Reaksjonslikningene er hentet fra Andreassen et al (2001).

Reaksjonene er eksoterme, dvs. at de frigjør varme. Denne overskuddsvarmen benyttes så til å drive de endoterme reaksjonene 5-1 og 5-2 som skjer i den nedre delen av sekundærreformerer.

På Tjeldbergodden er metanolreaktoren en multirørs avkjølingsreaktor. Denne reaktortypen er mer energieffektiv enn mange av alternativene som f.eks. quench reaktorer eller adiabatisk reaktorer. Varme fjernes ved at vann strømmer gjennom rørene og omdannes til vanndamp.

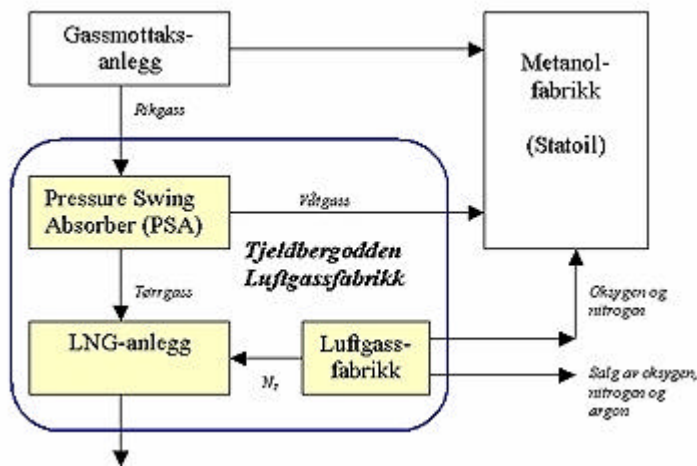
Denne overskuddsvarmen kan så benyttes andre steder i prosessen, som f.eks. til drift av destillasjonskolonner eller dampreformer.

Metanol dannes ved reaksjon mellom karbonmonoksid, CO og hydrogen, H₂, eller ved en reaksjon mellom karbondioksid, CO₂ og H₂ slik likning 5-5 og 5-6 viser.



Separasjonssystemet består av tre destillasjonskolonner i serie. Tre kolonner er nødvendig for å få fjernet biprodukter som dannes underveis i metanolprosessen.

Total karbonvirkningsgrad over hele metanolfabrikken er 79 %. Termisk virkningsgrad er 70 % (Steineke, 2001). Figur 5-4 viser en forenklet fremstilling av anlegget.

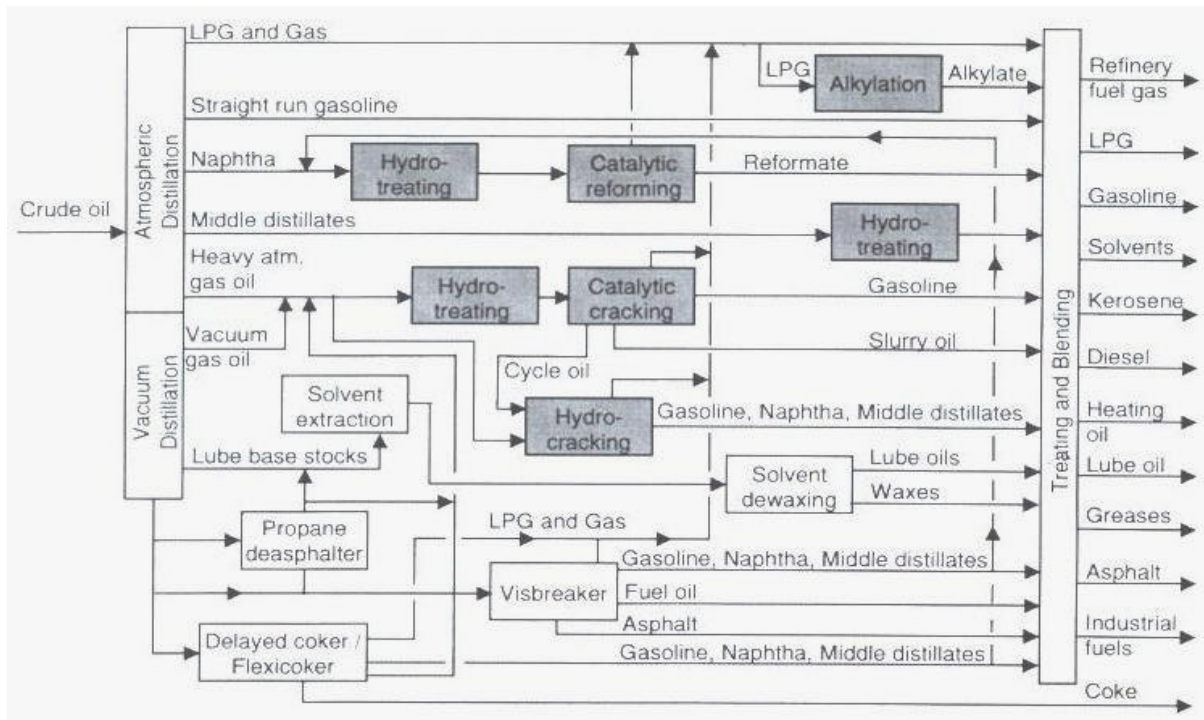


Figur 5-4: En grafisk fremstilling av metanolanlegget på Tjeldbergodden.

5.2.4 Produksjon av bensin

Teorien er hentet fra Moulijn et al. (2001) og Frischknecht (1996).

Råolje er en blanding av en rekke forskjellige komponenter; deriblant hydrokarboner, vann, uorganiske salter, suspendert materiale og vannløselige metaller. Sammensetningen kan variere en god del fra ett reservoar til et annet. I et raffineri omdannes denne råoljen til høyverdige produkter som bl.a. bensin og dieselolje. Dette skjer gjennom en rekke delprosesser slik figur 5-5 viser. Da raffineriprosessen er svært kompleks, vil det her kun bli gitt en kort innføring i dens viktigste delprosesser.



Figur 5-5: En oversikt over raffineriprosessen (Moulijn et al., 2001).

Avsalting:

For å unngå korrosjon av prosessutstyr og forgifting av katalysator, er det nødvendig å rense oljen for saltholdige komponenter.

Destillasjon:

I dette trinnet av raffineriprosessen separeres råoljens enkeltfraksjoner på bakgrunn av deres ulike kokepunkter. Destillasjonen skjer ved atmosfærisk trykk. Tabell 5.2 viser kokepunktet for de viktigste fraksjonene.

Tabell 5.2: Kokepunkter for ulike fraksjoner av råolje (Frischknecht, 1996)

FRAKSJON	KOKEPUNKT, °C
Gass (LPG)	-160 til 30
Bensin	30 til 180
Lettolje	170 til 250
Dieselolje	250 til 340
Tungolje	320 til 430
Slagg	over 430

Slagget separeres videre i en vakuumdestillasjon. Herfra kan fraksjonene føres videre inn på en rekke kjemiske og katalytiske prosesser; alt ettersom hvilke produkter som er ønsket.

Hydrotreating:

Etter destillasjon inneholder de ulike fraksjonene fremdeles svovelkomponenter, nitrogenkomponenter, oksider og metaller. Ved hydrotreating fjernes disse, da de kan skade både prosessutstyr og katalysatorer i de videre prosessstrinnene. Videre er det en fordel at sluttproduktene har et lavt svovel- og nitrogeninnhold grunnet miljøkonsekvensene forbundet med forbrenning av disse.

Cracking:

I en crackingprosess brytes tyngre hydrokarboner ned til komponenter med kortere karbonkjeder. Med den økende etterspørselen etter drivstoff innen transportsektoren, har betydningen av cracking økt de senere årene. Spalting av karbonkjeder kan skje ved:

- Katalytisk cracking
- Hydrocracking
- Termisk cracking

Katalytisk cracking innebærer å spalte karbonkjeder over en aktiv katalysator. Stadige forbedringer innen utvikling av katalysatorer med høy selektivitet mot bensin og LPG har økt utbyttet av disse produktene betraktelig de siste årene.

Grunnet koksdannelse på katalysatoroverflaten må denne stadig regenereres. Ved regenerering dannes det SO_x og NO_x og dette gjør katalytisk cracking til en av de mest forurensende prosessene i raffineriet. Allikevel er det en generell trend at katalytisk cracking er å foretrekke fremfor termisk cracking. Dette skyldes at prosessene ved katalytisk cracking er letter å manipulere enn i tilfellet med termisk cracking, slik at utbyttet av ønskede produkter øker.

Visbreaking og coking er to termiske crackingprosesser som benyttes på destillatet fra vakumdestillasjonen, altså de tyngste hydrokarbonene.

Hydrocracking medfører å spalte hydrokarbonkjeder ved tilførsel av hydrogen under relativt høy temperatur og høyt trykk. Prosessen konkurrerer ikke med katalytisk cracking da de tar utgangspunkt i ulike destillatfraksjoner. Produktene er i første rekke nafta og dieselolje.

Katalytisk reforming:

Katalytisk reforming er en nøkkelprosess i forbindelse med produksjon av bensin med høyt oktantall. Sykliske og forgreinede hydrokarboner, i tillegg til aromater, har generelt et høyere oktantall enn lineære hydrokarboner. I reformeringsprosessen forandres karbonkjedenes struktur uten at molekylvekten endres i særlig grad. Resultatet er høyverdige produkter som aromater og forgreinede parafiner.

Alkylering:

Som for katalytisk reforming er formålet med alkylering å øke utbyttet av fraksjoner med høyt oktantall. Alkener med korte karbonkjeder (propen, buten og penten) reagerer med isobutan og danner forgreinede hydrokarboner.

Produktutvikling:

For at de forskjellige produktene skal møte markedskravene, må de blandes og tilsettes stoffer som bl.a. metyltertbutyleter (MTBE). MTBE er med på å øke oktantallet i drivstoff.

Gjenvinnings og utslippsreducerende prosesser:

Myndigheter settes stadig nye krav til raffineriene når det gjelder utslipp og energiforbruk. For å kunne imøtekomme disse kravene, består et raffineri bl.a. av et system for varmeintegrasjon mellom de ulike delprosessene. Dette vil i praksis medføre å overføre varme fra et sted i prosessen med overskudd til et annet med underskudd for på denne måten å få et mest mulig energieffektivt anlegg.

I tillegg kommer en rekke prosesser som forsøker å minimere utslipp til miljøet.

5.3 Transport av drivstoff

Med få unntak har transportmodulene i databasen i Simapro blitt benyttet som kilde for utslipp, materialbehov og energibehov knyttet til denne delen av livsløpet. Det er bare for transport av kryogeniske væsker at det har blitt gjort noen modifikasjoner. Noen av disse er allerede beskrevet i avsnitt 4.3, i forbindelse med forutsetninger og antagelser gjort i analysen. Det vil her bli gitt en generell innføring i transportmodulene gitt i Simapro.

Bulk carrier:

Litteraturreferansen for denne transportmodulen er ETH Energy version 2 (1994). Modulen inkluderer produksjon av drivstoff og utslipp til luft i transportfasen.

I Simapro er skipet, som i hovedsak frakter bulklast og drivstoff, karakterisert ved mellomstor lastekapasitet og relativ lav hastighet. Energiforbruket dekkes ved forbrenning av diesel (95 %) og bruk av damp turbin (5 %). Data er gjennomsnittstall for Vest Europa.

LNG tanker:

Litteraturreferansen for denne transportmodulen er Frischknecht (1996). I motsetning til modulen for bulk carrier, inkluderer denne modulen konstruksjon av infrastruktur og produksjon av selve transportmiddelet. Dette kommer i tillegg til produksjon av drivstoff og utslipp i transportfasen. Også utslipp til vann og jord er tatt med.

I Frischknecht er lastekapasiteten gitt å være 130.000 m³. Fordampningsraten er satt til 0,15 % pr. døgn. Fordampet LNG benyttes som drivstoff for LNG tankeren. Skipet har en gjennomsnittshastighet på 20 sjømil pr. time, noe som tilsvarer 890 km pr. døgn. Data er gjennomsnittstall for Vest Europa.

Bil:

Litteraturreferansen for denne transportmodulen er Frischknecht (1996). Bilene kan ha en lastekapasitet på 16, 28 eller 40 tonn. Som for modulen for LNG tankeren inkluderer denne også konstruksjon av infrastruktur og produksjon av selve transportmiddelet. Utslipp til vann og jord er igjen tatt med.

Det har blitt oppgitt at 33 % av energiforbruket dekkes av blyfri bensin, 38 % dekkes av blyholdig bensin mens 29 % av energiforbruket dekkes av diesel. Effekten er gitt å være 40 % for biler med 16 og 28 tonns lastekapasitet, mens den er 50 % for biler med 40 tonns kapasitet. Dette inkluderer retur med tomt lasterom. Data er gjennomsnittstall for Vest Europa.

Hydrogenbil:

I Röder blir det for transport av komprimert hydrogen tatt utgangspunkt i en lastbil med lastekapasitet på 40 tonn som beskrevet over. Lasterommet har et volum på 22 m³. I tillegg er det definert en ekstramodul for tilleggs masse på 24.000 kg karbonstål. Standardparametere for energibruk og transportbehov definert i Frischknecht (1996) er blitt benyttet for produksjon av denne tilleggs massen.

Tog:

Litteraturreferansen for denne transportmodulen er Frischknecht (1996).

Igen er både konstruksjon av infrastruktur og produksjon av selve transportmiddelet inkludert i modulen, og utslipp til både vann og jord er definert.

Tallene er gjennomsnittstall for Vest Europa, og det er antatt at 20 % av energiforbruket dekkes av diesel. De resterende 80 % dekkes ved av elektrisitet. Effekten er gitt å være 50 %. Dette inkluderer retur med tomt lasterom.

Med tanke på frakt av LNG har det blitt antatt en økning i masse på 96.000 kg pr. vogn. En vogn er antatt å ha en kapasitet på 88 m³. Tilleggsmassen er av karbonstål. Bakgrunnen for denne antagelsen er Röder (2001) som oppgir en tilleggsmodul i tilfellet for transport av komprimert hydrogen. Denne modulen er benyttet også for transport av flytende hydrogen.

5.4 Fylling av drivstoff på bil

Som tidligere nevnt har det blitt antatt at fyllestasjoner for metanol vil ha store likheter med dagens bensinstasjoner. Med tanke på fyllestasjoner for LNG og hydrogen har det i denne oppgaven derimot blitt gjort en rekke antagelser da det ikke finnes et veletablert system for fylling av disse drivstoffene. Det vil derfor her bli gjort rede for hvordan et slikt anlegg kan antas på operere.

Drivstoffet, LNG eller flytende hydrogen, ankommer fyllestasjon og fylles på store lagertanker. Noe av væsken vil fordampe under lagring, men dette vil kjøles ned og føres tilbake på tanken. Ved fylling pumpes væsken opp til et trykk på henholdsvis 200 bar (Owren, 2003) og 450 bar (Brevik et al., 2002) for LNG og flytende hydrogen. Væske føres deretter over på en mellom-lagertank der LNG og hydrogen er i gassform. Deretter føres gassen inn på bilens tank. Grunnen til at væsken ikke først vaporiseres for deretter å komprimeres, er fordi pumping av væske krever mindre arbeid enn kompresjon av gass. Energibehovet forbundet med pumping av væsken er beregnet ved hjelp av likning 5-7 under (Nesse, 2003).

$$W_{el} = \frac{V_i \cdot \Delta p}{h} \quad (5-7)$$

V_i står for initialvolumet, Δp er differansen mellom initialtrykk og sluttrykk mens h er et uttrykk for pumpens effekt.

LNG har et kritisk trykk på 45 bar. Pumpearbeidet forbundet med overkritiske væsker er mer komplisert enn beskrevet i likningen. Allikevel er det antatt i denne oppgaven at hele pumpearbeidet kan beregnes ved hjelp av likning 5-7. Dette har blitt gjort fordi det er antatt at differansen ikke vil være så stor at det er av betydning for resultatene. I tillegg er energibehovet knyttet til denne delen av livsløpet minimal i forhold til de andre stadiene.

5.5 Produksjon og bruk av bil

Röder (2001) har som tidligere nevnt blitt brukt som kilde til data for utslipp fra bilproduksjon og direkte utslipp i forbindelser med bilkjøring. Det vil her bli redegjort for bilene vurdert i denne studien. Det skilles mellom bil med forbrenningsmotor og bil med brenselcelle. Utgangspunktet er en liten personbil på størrelse med Renault Twingo. Den er med tanke på transport av materialer og energibehov antatt å være produsert i Tyskland.

5.5.1 Bil med forbrenningsmotor

Tank for flytende drivstoff:

En bensintank er antatt å bestå av 100 % HDPE og ha en vekt på 0,08 kg/l_{kapasitet}. Tankvolumet er 20 l.

Trykktank for drivstoff i gassfase:

Det er antatt at den samme trykktanken kan benyttes for alle typer drivstoff i gassfase. Denne har et volum på 80 l (CNG) eller 147 l (hydrogen) og består i hovedsak av aluminium og HDPE.

Motor:

Det er to hovedtyper av ICE motorer (Internal Combustion Engine) for personbiler på markedet i dag; SI motorer og CI motorer. SI er en forkortelse for *spark ignition*, mens CI står for *compression ignition*. De kalles også henholdsvis bensinmotor og dieselmotor.

I en SI motor blandes brensel og luft før det føres inn i motorens sylindere. Her komprimeres blandingen før den antennes ved hjelp av en tennplugg. SI motoren benyttes ofte i personbiler da den gir god fleksibilitet og andre egenskaper som er viktige for lette kjøretøyer.

I en CI motor fører kun luft inn i motorens sylindere. Luften komprimeres til høyt trykk og temperatur ved hjelp av stempelet. Brenselet injiseres så direkte i sylindere, antennes og forbrenner etter hvert som det blander seg med luften. Det er altså ikke nødvendig med tennplugg i slike motorer. Dieselmotorer går for å være mer energieffektive enn bensinmotorer. De er dessuten også kraftigere og egner seg derfor godt i tyngre kjøretøyer som busser og lastebiler (Maxwell et. al., 1995).

I Röder (2001) er det for en SI motor antatt en effekt på 40 kW. Den spesifikke vekten er gitt å være 2 kg/kW, noe som gir en totalvekt på 80 kg.

Girsystem:

Det er antatt et manuelt girsystem med en effekt på 40 kW og en spesifikk vekt på 0,75 kg/kW. Materialfordelingen er antatt å være 80 % stål, 15 % aluminium og 5 % andre materialer, her iberegnet plast og olje. Det er antatt at girboksen er vedlikeholdsfri.

Elektronikk:

For bil med forbrenningsmotor oppgir Röder (2001) en masse av elektroniske komponenter på 2 kg. Produksjonen av elektronikk er noe forenklet da prosessen er svært kompleks og vekten er såpass liten sammenliknet med andre moduler. Det er antatt at de elektroniske komponentene vil bli resirkulert ved endt levetid. Dette er i praksis ikke tilfelle for dagens system, men blir trolig gjennomført innen få år.

Skrog:

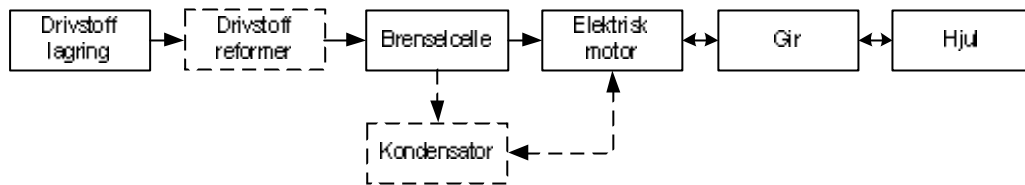
Massen av skroget er antatt å være 560 kg. Dette er inkludert dekkene som det er tatt med i modulen for vedlikehold av skrog. I tillegg inkluderer modulen for vedlikehold utslipp knyttet til slitasje av dekk og energi forbundet med servicetjenester. Det har blitt definert en tilleggsmodul for nødvendige forsterkninger av skroget i tilfeller med tyngre drivverkskomponenter. Materialfordelingen i skroget er antatt å være den samme som for en Volkswagen Lupo 3L. Alt materiale resirkuleres etter bilens levetid.

Utslipp i forbindelse med kjøring:

Röder (2001) oppgir utslipp og forbruk av drivstoff for bil med forbrenningsmotor ved bruk av en rekke forskjellige drivstoff. Drivstofforbruket pr. funksjonell enhet er vist i bilag B3.1.

5.5.2 Bil med brenselcelle og elektrisk motor

Figur 5-6 viser et system for brenselcelle i bil. I sin enkleste form består et slikt system av en brenselstank, selve brenselcellen, en elektrisk motor og et overføringssystem mellom motor og hjul. I tilfeller der brenselet er noe annet enn ren hydrogen, er det også nødvendig med en reformer.



Figur 5-6: System for brenselcellebil (Röder, 2001).

Tank for flytende drivstoff:

Systemet for lagring av flytende drivstoff vil være det samme for en bil med brenselcelle som for en bil med tradisjonell forbrenningsmotor. Se derfor avsnitt 5.5.1.

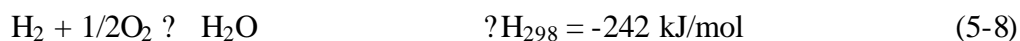
Trykktank for drivstoff i gassfase:

Systemet for lagring av drivstoff i gassfase vil være det samme for en bil med brenselcelle som for en bil med tradisjonell forbrenningsmotor. Se derfor avsnitt 5.5.1.

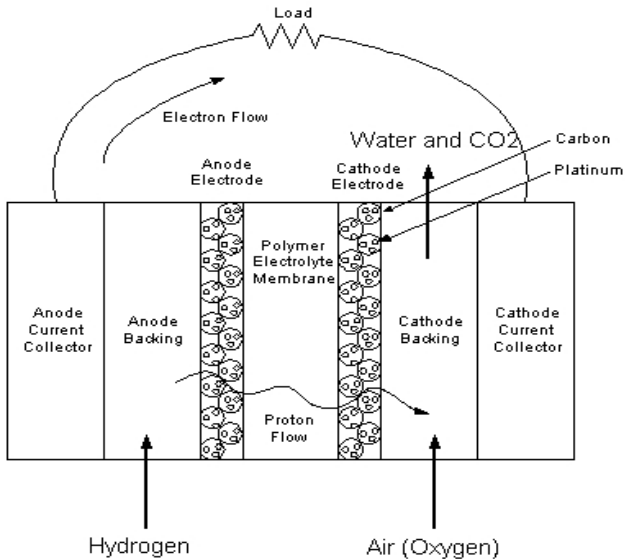
Brenselcelle:

Det finnes to hovedgrupper av brenselceller; høy temperatur celler og lav temperatur celler. Lav temperatur celler opererer i temperaturintervallet 70 – 90°C, noe som gjør dem velegnet til bruk i biler (Halvorsen, 2001).

Prinsippet med brenselceller er at hydrogen reagerer med oksygen og danner vann. Denne prosessen frigjør energi. Likning 5-8 er hentet fra Andreassen et al. (2001).



En brenselcelle består lagvis av to elektroder med en elektrolytt imellom, slik figur 5-7 viser.



Figur 5-7: Produksjon av elektrisitet i en brenselcelle (www.life-cycle.org).

Hydrogen kommer inn ved anoden, den negativt ladede elektroden. Her spaltes gassen til sine komponenter; protoner og elektroner. Protoner fraktes gjennom en elektrolyttmembran, men da elektroner ikke kan gå på tvers av denne, tvinges elektronene til å gå i en ytre sløyfe til den positivt ladede elektroden. På denne måten dannes elektrisk strøm.

Oksygenet som kommer inn ved katoden, reagerer med protoner og elektroner og danner vann. I en brenselcelle som går på ren hydrogen er derfor vanndamp eneste utslipp til luft. I Röder (2001) har det blitt antatt en brenselcelle med effekt på 28 kW og en spesifikk vekt på 3 kg/kW. Totalvekten blir da 84 kg. Brenselcella er antatt vedlikeholdsfri og alle materialer resirkuleres etter bilens levetid.

Reformer:

I tilfeller når brenselet ikke er ren hydrogen, er det som tidligere nevnt nødvendig med en reformer. En reformer gjør karbonholdige drivstoff om til hydrogenrik gass. Dette vil være tilfellet med f.eks. metanol.

Reformerer er antatt å ha en effekt på 28 kW og en spesifikk vekt på 1,5 kW. Det gir en totalvekt på 42 kg. Som i tilfellet med brenselcellen, er det antatt at reformeren er vedlikeholdsfri og at alle materialer resirkuleres etter bilens levetid.

Elektrisk motor:

Röder (2001) beskriver en elektrisk motor med antatt effekt på 40 kW og en spesifikk vekt på 0,8 kg/kW. Dette gir en totalvekt på 32 kg. Den er antatt vedlikeholdsfri.

Supercapacitator:

En supercapacitator benyttes som et kortsiktig lager for energi. De er antatt å ha en effekt på 28 kW og en spesifikk effekt på 1 kW/kg. Dette gir en totalvekt på 28 kg.

System for overføring av energi:

Drivverket har i Röder (2001) en antatt effekt på 40 kW og en totalvekt på 13 kg. Det gir en spesifikk vekt på 0,3 kg/kW.

Elektronikk:

Det er for en bil med brenselcelle antatt en samlet vekt for elektroniske komponenter på 20 kg. Materialfordelingen er antatt å være den samme for elektroniske komponenter i en bil med forbrenningsmotor.

Skrog:

Skroget vil være det samme for en bil med brenselcelle som for en bil med tradisjonell forbrenningsmotor. Se derfor avsnitt 5.5.1.

Utslipp i forbindelse med kjøring:

Röder (2001) oppgir utslipp og forbruk av drivstoff for bil med brenselcelle ved bruk av en rekke forskjellige drivstoff. Drivstofforbruket pr. funksjonell enhet er vist i bilag B3.1.

5.5.3 Moduler for bilene vurdert i denne studiens fire systemer

Sammensetningen av moduler for de fire bilene vurdert i denne studien er gitt i tabell 5.3 til tabell 5.6.

CNG bilen:

Tabell 5-3: Komponenter som inngår i en CNG bil.

KOMPONENT	ENHET	MODUL
Skrog	stk	1
Forsterkninger av skrog	kg	12
SI motor	kW	40
Girsystem	kW	40
Trykktank	l	80
Elektronikk	kg	2

Hydrogenbilen:

Tabell 5-4: Komponenter som inngår i en hydrogenbil.

KOMPONENT	ENHET	MODUL
Skrog	stk	1
Forsterkninger av skrog	kg	39,15
Trykktank	l	147
Brenselcelle	kW	28
Supercap	kW	28
Elektrisk motor	kW	40
Drivverk	kW	40
Elektronikk	kg	20

Metanolbilen:

Tabell 5-5: Komponenter som inngår i en metanolbil.

KOMPONENT	ENHET	MODUL
Skrog	stk	1
Forsterkninger av skrog	kg	37,2
Tank	l	20
Metanolreformer	kW	28
Brenselcelle	kW	28
Supercap	kW	28
Elektrisk motor	kW	40
Drivverk	kW	40
Elektronikk	kg	20

Bensinbilen:

Tabell 5-6: Komponenter som inngår i en bensinbil.

KOMPONENT	ENHET	MODUL
Skrog	stk	1
SI motor	kW	40
Girsystem	kW	40
Tank	l	20
Elektronikk	kg	2

6 RESULTATER

Resultatene fra analysen vil nå bli presentert.

6.1 Sammenlikning av de fire verdikjedene

Figur 6-1 på neste side gir en grafisk fremstilling av karakteriseringsresultatene. Utslipp, materialbehov og energibehov er altså i denne presentasjonen knyttet opp mot de ti effektkategoriene som er blitt vurdert i analysen og beskrevet i avsnitt 3.10. Som tidligere nevnt er Simapro blitt benyttet som verktøy for å bearbeide innsamlede data.

Figur 6-1 viser det samlede bidraget innenfor hver kategori for alle de fire verdikjedene. På denne måten er det letter å sammenlikne disse. Hver verdikjede er kjennetegnet ved sin egen fargekode; LNG systemet er representert ved røde søyler, hydrogensystemet ved gule søyler, metanolsystemet ved grønne søyler og bensinsystemet ved blå søyler.

Stolpediagrammet er skalert slik at det systemet med størst påvirkning innen en effektkategori gir et utslag på 100 %. Søylen for de andre tre systemene er deretter oppgitt som prosent av dette. Grafene egner seg derfor godt til å gi et inntrykk av hvor store miljøbelastninger et system gir *i forhold* til de andre, men de sier ingenting om hvor store miljøbelastningene faktisk er eller hvilke livsløpsstadier det er som gir de største bidragene. Å kartlegge de viktigste bidragsyterne innen hver effektkategori ansees derimot som en viktig del av denne studien. Disse vil derfor bli kommentert i neste delkapittel.

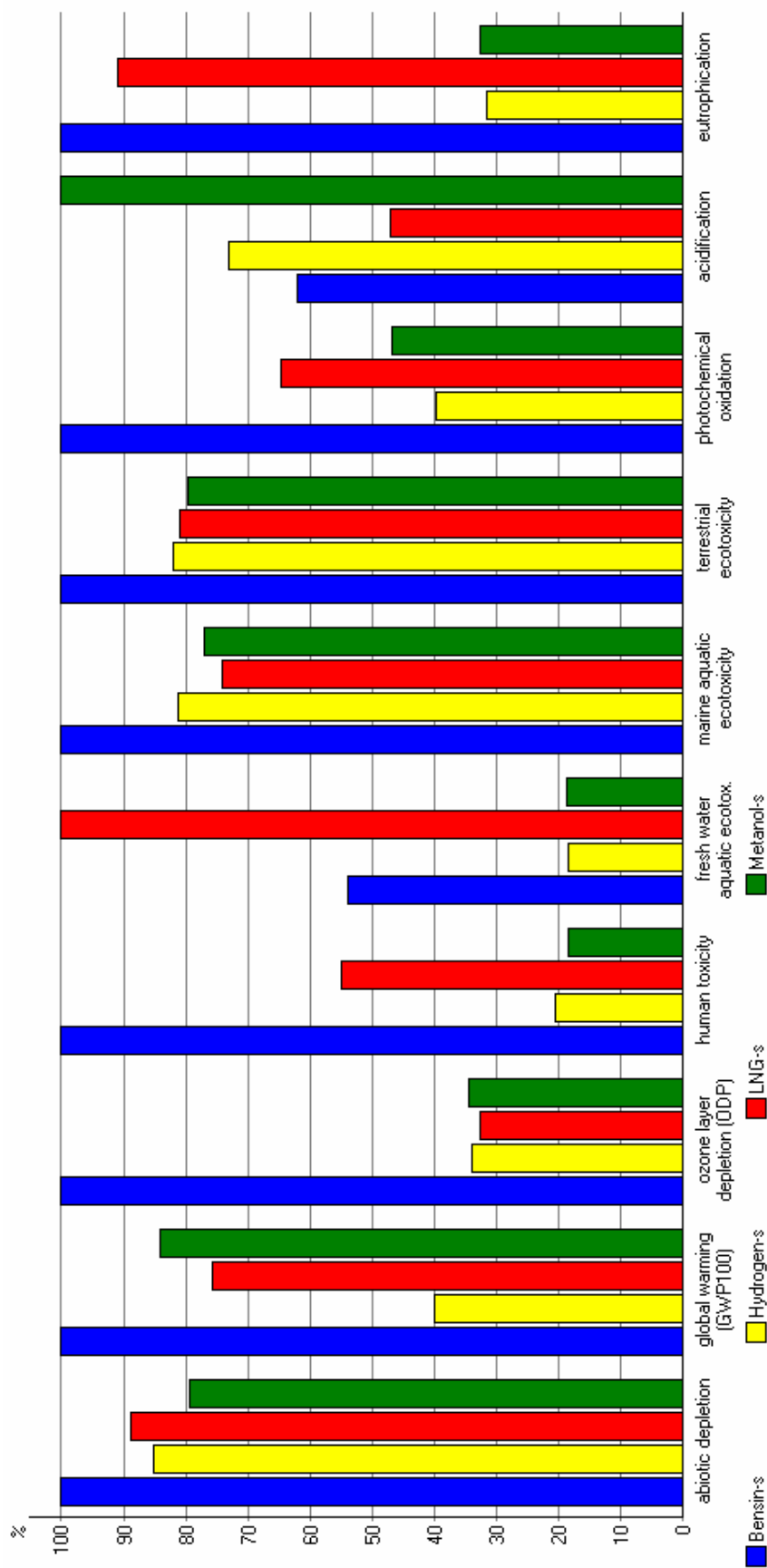
6.2 Kartlegging av de viktigste bidragsytere

Det vil her bli gitt en systematisk oversikt over de viktigste bidragsyterne for de fire verdikjedene innen effektkategoriene abiotisk utarming, global oppvarming, fotokjemisk ozondannelse, forsuring og eutrofiering. Det er særlig disse miljøproblemene som knyttes til bil- og transportsektoren. Effekten er gitt både i kg ekvivalenter og i prosent av det enkelte systemets påvirkning innen hver kategori. Tilsvarende tall for ozonnedbryningspotensial og toksisitet er gitt i bilag B2.

Overordnet er det produksjon av drivstoff, produksjon av bil og selve kjøringen som gir størst utslag uansett system eller effektkategori. Bidraget fra disse vil derfor bli gjennomgående kommentert. Produksjon av drivstoff omfatter alle operasjoner fra utvinning av råstoff til ferdig produsert drivstoff. For hydrogensystemet inkluderer det derfor også kjøleprosessen der hydrogen gjøres flytende. Konstruksjon av anlegg er også inkludert i produksjon av drivstoff. Produksjon av bil omfatter produksjon av alle komponenter gitt i avsnitt 5.5. Kjøring omfatter direkte utslipp fra bil og vedlikehold av denne. I tillegg til disse tre hovedbidragsyterne er det utslipp i forbindelse med konstruksjon og drift av fyllestasjon og transport av drivstoff. Disse vil være kommentert i tilfeller der de gir et betydelig bidrag. Ellers vil de inngå i resterende bidrag.

Fullstendige lister over de fire verdikjedenes bidrag til de ulike effektkategoriene er lagt ved rapporten på en Cd-rom.

Alle prosenttall er oppgitt som en prosent av totalbidraget for en effektkategori og et system.



Comparing processes: Method: CML 2 baseline 2000 / West Europe, 1995 / characterization

Figur 6-1: Det samlede bidraget innenfor hver effektekategori for alle fire verdikjeder.

6.2.1 LNG systemet

Abiotisk utarmingspotensial (ADP):

Tabell 6.1 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for abiotisk utarming.

Tabell 6.1: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til abiotisk nedbrytning for LNG systemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. Sb ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	106	76,0
Gassutvinning	104	74,3
Annet	2,38	1,7
Produksjon av bil:	23,4	16,7
Skrog	16,7	11,9
Annet	6,72	4,8
Bilkjøring:	8,65	6,18
Vedlikehold av skrog	8,65	6,18
Annet	0	0
Resterende bidrag:	1,57	1,12
Totalt for hele systemet	140	100

Det kommer klart frem av resultatene at det er gassutvinning forbundet med produksjon av drivstoff som gir det største bidraget med en prosentandel på nesten 75 %. Deretter følger prosesser forbundet med bilproduksjon. Det er i første rekke bruk av aluminium (2,48 %) og bruk av elektrisitet (2,20 %) som gir et høyt utslag for skroget. Hele bidraget fra bilkjøring kommer fra vedlikehold av skrog. Her er det bruk av fyringsolje (3,52 %) og gummi til hjul (2,31 %) som gir utslag.

Globalt oppvarmingspotensial (GWP):

Tabell 6.2 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for global oppvarming.

Tabell 6.2: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til global oppvarming for LNG systemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. CO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	1,54·10³	9,00
Gassutvinning	841	4,92
LNG anlegget	696	4,07
Annet	171	0,01
Produksjon av bil:	3,06·10³	17,9
Skrog	2,19·10 ³	12,8
Annet	872	5,1
Bilkjøring:	1,23·10⁴	71,9
Direkte utslipp	1,12·10 ⁴	65,5
Vedlikehold av skrog	1,10·10 ³	6,42
Annet	855	0,05
Resterende bidrag:	205	1,2
Totalt for hele systemet	1,71·10⁴	100

Det største bidraget til global oppvarming for LNG systemet kommer i forbindelse med bilkjøring. Det er direkte utslipp fra bil som her gir det største utslaget. Bidraget fra vedlikehold av skrog kan knyttes til bruk av fyringsolje (4,58 %) og gummi til hjul (1,46 %). Under produksjon av skroget er det i første rekke bruk av jomfruelig aluminium (3,62 %) og elektrisitet (2,53 %) som bidrar til global oppvarming. Bidrag fra LNG anlegget kan først og fremst knyttes til gasturbinene.

Fotokjemisk ozondannelsespotensial (POCP):

Tabell 6.3 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for fotokjemisk ozondannelse.

Tabell 6.3: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til fotokjemisk ozondannelse for LNG systemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. C₂H₄ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,04	0,72
Produksjon av bil:	1,71	32,8
Skrog	0,91	17,4
Trykkbeholder	0,48	9,16
Motor	0,28	5,32
Annet	0,04	0,008
Bilkjøring:	3,43	65,9
Direkte utslipp	2,62	50,3
Vedlikehold skrog	0,81	15,5
Annet	0,52	0,10
Resterende bidrag:	0,03	0,58
Totalt for hele systemet	5,21	100

Bidraget fra vedlikehold av skrog kan neste utelukkende knyttes til bruk av HDPE (14,5 %). Under produksjon av skroget er det i første rekke bruk av HDPE (6,74 %), stål (6,53 %) og gummi (1,49 %) som bidrar til fotokjemisk ozondannelse. For trykkbeholderen kan så og si hele bidraget knyttes til bruk av HDPE (9,04 %). Bidrag fra produksjon av motoren skyldes bruk av platina (2,57 %) og palladium (1,45 %).

Forsuringspotensiale (AP):

Tabell 6.4 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for forsurening.

Tabell 6.4: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til forsurening i LNG systemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. SO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,48	0,82
Produksjon av bil:	30,6	52,6
Skrog	18,2	31,3
SI-motor	9,70	16,7
Annet	2,7	4,6
Bilkjøring:	25,8	44,4
Direkte utslipp	21,0	36,1
Vedlikehold av skrog	4,68	8,05
Annet	0,12	0,25
Resterende bidrag:	1,27	2,18
Totalt for hele systemet	58,1	100

Under produksjon av skroget er det i første rekke bruk av platina (5,75 %), høylegert stål (3,32 %) og palladium (3,25 %) som bidrar til forsurening. For motoren kan forsureningsbidraget knyttes til bruk av kobber (8,09 %), jomfruelig aluminium (6,37 %) og elektrisitet (5,71 %). Bidraget fra vedlikehold av skrog skyldes slitasje av gummihjul (3,91 %) og bruk av fyringsolje (3,30 %).

Eutrofieringspotensiale (EP):

Tabell 6.5 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for eutrofiering.

Tabell 6.5: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til eutrofiering i LNG systemet

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. PO₄³⁻ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,09	1,50
Produksjon av bil:	0,89	14,5
Skrog	0,69	11,2
Annet I	0,20	3,30
Bilkjøring:	5,04	82,0
Direkte utslipp	4,77	77,7
Vedlikehold av skrog	0,26	4,28
Annet	0,01	0,02
Resterende bidrag:	0,12	2,00
Totalt for hele systemet	6,14	100

Nok en gang er det bidrag fra bilkjøring som dominerer. For vedlikehold av skrog er det som for de andre kategoriene bruk av gummi som gir det største utslaget (1,6 %). For produksjon av skroget kan eutrofieringsbidraget knyttes til bruk av polypropylen (4,47 %), jomfruelig aluminium (2,21 %) og elektrisitet (1,70 %).

6.2.2 *Hydrogensystemet*

Abiotisk utarmingspotensial (ADP):

Tabell 6.6 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for abiotisk utarming.

Tabell 6.6: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til abiotisk utarming for hydrogensystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. Sb ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	95,8	71,5
Kjølig til flytende fase	78,3	58,4
Gassutvinning	17,6	13,1
Annet	0	0
Produksjon av bil:	28,9	21,6
Skrog	16,7	12,4
Brenselcelle	4,03	3,01
Trykkbeholder	3,77	2,81
Annet	4,54	3,38
Bilkjøring:	8,63	6,44
Vedlikehold skrog	8,63	6,44
Annet	0	0
Resterende bidrag:	0,62	0,46
Totalt for hele systemet	134	100

Abiotisk utarming tilknyttet hydrogensystemet skyldes i hovedsak produksjon av drivstoff og produksjon av bil. Kjøling av hydrogen til flytende fase er en energikrevende prosess som resulterer i et stort forbruk av gass. For produksjon av drivstoff kan altså tilnærmet hele bidraget relateres til gassutvinning. Bidrag fra produksjon av skroget skyldes, som for LNG systemet, bruk av jomfruelig aluminium (2,58 %), elektrisitet (2,29 %) og stål (2,09 %). Brenselcella gir utslag på lavlegert stål (1,36 %) og platina (0,81 %). For trykkbeholderen er det bruk av HDPE (1,36 %) og jomfruelig aluminium (0,81 %) som gir de største utslagene på abiotisk nedbrytning. Hele bidraget fra bilkjøring kan knyttes til vedlikehold av skrog. Oljefyring (3,67 %) og bruk av gummi til hjul (2,40 %) er her de viktigste bidragsyterne.

Globalt oppvarmingspotensial (GWP):

Tabell 6.7 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for global oppvarming.

Tabell 6.7: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til global oppvarming for hydrogensystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. CO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	4,11·10³	45,6
Produksjon	2,16·10 ³	24,0
Kjøling	1,95·10 ³	21,6
Annet	0	0
Produksjon av bil:	3,73·10³	41,3
Skrog	2,17·10 ³	24,1
Brenselcelle	461	5,12
Trykkbeholder	448	4,97
Annet I	641	7,11
Bilkjøring:	1,09·10³	12,1
Vedlikehold av skrog	1,09·10 ³	12,1
Annet	0	0
Resterende bidrag:	90,2	1,00
Totalt for hele systemet	9,02·10³	100

Over halvparten av bidraget til global oppvarming fra hydrogensystemet kommer fra produksjon av drivstoff. Som for abiotisk utarming, skyldes mye av utslippene kjølingsprosessen for å gjøre hydrogenet flytende. For produksjon av bil er det de samme komponentene som gjør seg gjeldende som i tilfellet over. Skroget gir utslag på jomfruelig aluminium (6,84 %), elektrisitet (4,78 %) og stål (3,28 %). Bidraget fra brenselcella skyldes i hovedsak bruk av høylegert stål (1,91 %) og platina (1,72 %). For trykkbeholderen er det i første rekke jomfruelig aluminium (2,14 %) som bidrar til global oppvarming. En bil med brenselcelle som går på hydrogen vil ikke slippe ut annet enn vanndamp under kjøring. Vedlikehold av skrog står derfor for hele bidraget fra bilkjøring. Bruk av fyringsolje (8,67 %) og gummi til hjul (2,77 %) er her de viktigste kildene.

Fotokjemisk ozondannelsespotensial (POCP):

Tabell 6.8 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for fotokjemisk ozondannelse.

Tabell 6.8: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til fotokjemisk ozondannelse for hydrogensystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. C₂H₄ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,14	4,37
Produksjon	0,08	2,53
Kjøling	0,06	1,84
Annet	0	0
Produksjon av bil:	2,23	69,8
Skrog	0,91	28,4
Trykkbeholder	0,88	27,5
Annet	0,44	13,9
Bilkjøring:	0,81	25,4
Vedlikehold skrog	0,81	25,4
Annet	0	0
Resterende bidrag:	0,01	0,43
Totalt for hele systemet	3,19	100

Produksjon av bil gir for hydrogensystemet det klart største bidraget til fotokjemisk ozondannelse. For skroget er det bruk av HDPE (11,0 %) og stål (10,7 %) som gir de største utslagene. Også under produksjon av trykkbeholderen skyldes bidraget HDPE (27,1 %). Den eneste kilden til utslipp som gir fotokjemisk ozondannelse under bilkjøring kommer fra

vedlikehold av skrog. Her er det bruk av gummi til hjul (23,8 %) som står for nesten hele bidraget.

Forsuringspotensiale (AP):

Tabell 6.9 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for forsuring.

Tabell 6.9: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til forsuring for hydrogensystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. SO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	3,81	4,23
Produksjon av bil:	81,5	90,4
Brenselcelle	53,1	59,0
Skrog	18,2	20,2
Annet	9,91	11,0
Bilkjøring:	4,68	5,19
Vedlikehold skrog	4,68	5,19
Annet	0	0
Resterende bidrag:	0,16	0,18
Totalt for hele systemet	90,1	100

Litt i overkant av 90 % av forsuringspotensialet for hydrogensystemet kan spores til produksjon av bil. Bruk av platina i produksjon av brenselcella (57,1 %) er den avgjørende bidragsyteren i så måte. For skroget er det i hovedsak jomfruelig aluminium (4,11 %) og kobber (5,22 %) som er kilden til forsuringsbidraget. Med tanke på vedlikehold av skroget er det bruk av gummi til hjul (2,52 %) og fyringsolje (2,13 %) som gir utslag.

Eutrofieringspotensiale (EP):

Tabell 6.10 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for eutrofiering.

Tabell 6.10: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til eutrofiering i hydrogensystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. PO₄³⁻ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,77	36,4
Kjøling	0,67	31,8
Produksjon	0,10	4,59
Annet	0	0
Produksjon av bil:	1,05	49,6
Skrog	0,68	32,3
Brenselcelle	0,11	5,08
Trykkbeholder	0,11	5,04
Annet	0,15	7,18
Bilkjøring:	0,26	12,4
Vedlikehold skrog	0,26	12,4
Annet	0	0
Resterende bidrag:	0,03	1,60
Totalt for hele systemet	2,12	100

Det største bidraget fra produksjon av drivstoff, kommer fra kjølingsprosessen. I forbindelse med produksjon av bilen er det skroget som er den største kilden til utslipp knyttet til eutrofiering. Her er det i første rekke bruk av PP (12,6 %), jomfruelig aluminium (6,25 %) og elektrisitet (4,80 %) som bidrar mest. Brenselcella gir utslag på høylegert stål (2,03 %) og platina (1,86 %). I forbindelse med trykkbeholderen er det hovedsakelig bruk av jomfruelig aluminium (2,00 %) og HDPE (1,94 %) som gir utslag. Vedlikehold av skrog gir nok en gang et betydelig bidrag og kan i den forbindelse knyttes til fyring med olje (7,00 %) og bruk av gummi til hjul (4,64 %).

6.2.3 Metanolsystemet

Abiotisk utarmingspotensial (ADP):

Tabell 6.11 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for abiotisk utarming.

Tabell 6.11: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til abiotisk utarming for metanolsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. Sb ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	85,1	68,1
Gassutvinning - råvare	68,0	54,4
Gassutvinning - energi	16,9	13,5
Annet	0,20	0,16
Produksjon av bil:	26,4	21,1
Skrog	16,8	13,4
Annet	9,63	7,7
Bilkjøring:	8,65	6,92
Vedlikehold skrog	8,65	6,92
Annet	0	0
Resterende bidrag:	4,85	3,88
Totalt for hele systemet	125	100

Abiotisk utarming tilknyttet metanolsystemet skyldes i hovedsak produksjon av drivstoff. Gassuttaket kan i denne forbindelse deles inn i gass som inngår som råstoff i produksjonen og gass som går med til å produsere kraft. For produksjon av bil er det skroget som er den største kilden til utarming av abiotiske ressurser. Her er det bruk av jomfruelig aluminium (2,78 %), elektrisitet (2,46 %) og stål (2,25 %) som er de viktigste kildene til totalbidraget. I forbindelse med bilkjøring er det bare vedlikehold av skrog som er av betydning. Det er igjen bruk av fyringsolje (3,94 %) og gummi til hjul (2,59 %) som gir utslag.

Globalt oppvarmingspotensial (GWP):

Tabell 6.12 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for global oppvarming.

Tabell 6.12: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til global oppvarming for metanolsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. CO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	3,55·10³	18,8
Utslipp fra prosess	2,85·10 ³	15,1
Annet	703	3,72
Produksjon av bil:	3,38·10³	17,9
Skrog	2,17·10 ³	11,5
Annet	1,21·10 ³	6,40
Bilkjøring:	1,12·10⁴	59,5
Direkte utslipp	1,01·10 ⁴	53,7
Vedlikehold av skrog	1,09·10 ³	5,78
Annet	3,78	0,02
Resterende bidrag:	722	3,80
Totalt for hele systemet	1,89·10⁴	100

Nesten 60 % av bidraget til global oppvarming fra hydrogensystemet kommer i forbindelse med bruk av bilen. Det er de direkte utslippene fra bilen som er av størst betydning. Som for abiotisk nedbrytningspotensiale er det bruk av fyringsolje (4,13 %) og gummi til hjul (1,32 %) som gir utslag for vedlikehold av skrog. I forbindelse med produksjon av bil er det skroget

som er den største kilden til utslipp av klimagasser. Her er det bruk av jomfruelig aluminium (3,16 %) og elektrisitet (2,28 %) som gir størst utslag.

Fotokjemisk ozondannelsespotensial (POCP):

Tabell 6.13 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for fotokjemisk ozondannelse.

Tabell 6.13: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til fotokjemisk ozondannelse for metanolsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. C₂H₄ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,32	8,55
Konstruksjon av metanolanlegg	0,29	7,67
Annet	0,03	0,88
Produksjon av bil:	2,33	61,9
Metanolreformer	0,94	24,9
Skrog	0,90	24,0
Annet	0,49	13,0
Bilkjøring:	0,82	21,5
Vedlikehold skrog	0,81	21,4
Annet	0,01	0,10
Resterende bidrag:	0,30	8,05
Totalt for hele systemet	3,77	100

For metanolsystemet gir produksjon av bil det klart største bidraget til fotokjemisk ozondannelse. Under produksjon av metanolreformer er det bruk av palladium (23,9 %) som står for nesten hele bidraget. Bidraget fra produksjon av skrog kan i hovedsak knyttes til bruk av HDPE (9,31 %) og stål (9,02 %). Vedlikehold av skrog står for nesten hele utslaget forbundet med bilkjøring. Her er det bruk av gummi til hjul (20,1 %) som er kilden til bidraget. I forbindelse med produksjon av drivstoff gir konstruksjon av metanolanlegget et utslag grunnet bruk av svovelsyre (7,24 %).

Forsuringspotensiale (AP):

Tabell 6.14 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for forsurening.

Tabell 6.14: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til forsurening i metanolsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. SO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	9,25	7,52
Konstruksjon metanolanlegg	7,23	5,88
Annet	2,02	1,64
Produksjon av bil:	101	82,0
Brenselcelle	53,0	43,1
Metanolreformer	22,8	18,5
Skrog	18,1	14,7
Annet	7,01	5,70
Bilkjøring:	4,67	3,80
Vedlikehold skrog	4,66	3,79
Annet	0,01	0,01
Resterende bidrag:	8,22	6,68
Totalt for hele systemet	123	100

Over 80 % av forsureningspotensialet for hydrogensystemet kan knyttes til produksjon av bil. Bruk av platina (41,6 %) i produksjon av brenselcella er den avgjørende bidragsyteren i så måte, men også palladium (18,2 %) knyttet til produksjon av metanolreformer gir et stort utslag. For skroget er det i hovedsak kobber (3,80 %), jomfruelig aluminium (2,99 %) og

elektrisitet (2,69 %) som er kilden til forsursbidraget. Igjen gjør konstruksjon av anlegget seg gjeldende. Det er svovelsyre (5,52 %) som gir utslaget. Alle tall i parentes er gitt som prosent av det totale bidraget til forsuring fra metanolsystemet.

Eutrofieringspotensiale (EP):

Tabell 6.15 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for eutrofiering. I tillegg til produksjon av drivstoff, produksjon av bil og bilkjøring, er transport av drivstoffet fra Hammerfest til Genève og konstruksjon av fyllestasjon for metanol tatt med. Dette er fordi bidraget fra disse er så store at de bør nevnes.

Tabell 6.15: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til eutrofiering i metanolsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. PO₄³⁻ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,51	23,0
Direkte utslipp fra prosess	0,49	22,4
Annet	0,01	0,6
Produksjon av bil:	0,97	44,0
Skrog	0,69	31,2
Brenselcelle	0,11	4,90
Annet I	0,28	12,5
Bilkjøring:	0,27	12,1
Vedlikehold skrog	0,26	11,9
Annet	0,01	0,18
Konstruksjon fyllestasjon:	0,24	11,1
Transport av komponenter	0,23	10,8
Annet	~ 0	0,30
Transport av drivstoff:	0,21	9,56
Tog	0,21	9,54
Annet	~ 0	0,02
Resterende bidrag:	0,01	0,24
Totalt for hele systemet	2,20	100

Nok en gang er det produksjon av bilen som gir det største bidraget til eutrofiering. For skroget er det bruk av polypropylen (12,5 %), jomfruelig aluminium (6,17 %) og elektrisitet (4,73 %) som gir det største utslaget. I forbindelse med produksjon av brenselcella er det lavlegert stål (1,95 %) og platina (1,8 %) som er kilden til utslaget. Vedlikehold av skroget slår nok en gang ut for bilkjøring. Her er det igjen bruk av fyringsolje (6,75 %) og gummi til hjul (4,48 %) som er de viktigste kildene til utslipp.

6.2.4 Bensinsystemet

Abiotisk utarmingspotensial (ADP):

Tabell 6.16 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for abiotisk nedbrytning.

Tabell 6.16: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til abiotisk utarming for bensinsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. Sb ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	124	78,6
Oljeutvinning	100	63,6
MTBE	9,15	5,79
Gassutvinning - energi	8,86	5,61
Annet	5,69	3,60
Produksjon av bil:	21,6	13,7
Skrog	16,7	10,6
Annet	4,90	3,10
Bilkjøring:	8,69	5,50
Vedlikehold skrog	8,66	4,48
Annet	0,03	0,02
Resterende bidrag:	3,48	2,20
Totalt for hele systemet	158	100

Produksjon av drivstoff skiller seg ut som den største bidragsyteren til abiotisk utarming. Her er det i første rekke oljeutvinning som gjør seg gjeldende, men også produksjon av MTBE og utvinning av gass til energiformål er av betydning. Som for de andre verdikjedene er skroget den utslagsgivende faktor i forbindelse med produksjon av bil. Her er det bruk av jomfruelig aluminium (2,20 %), elektrisitet (1,95 %) og stål (1,78 %) som er de viktigste kildene til totalbidraget. I forbindelse med bilkjøring er det bare vedlikehold av skrog som er av betydning. Det er igjen bruk av fyringsolje (3,12 %) og gummi til hjul (2,05 %) som gir utslag.

Globalt oppvarmingspotensial (GWP):

Tabell 6.17 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for global oppvarming.

Tabell 6.17: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til global oppvarming for bensinsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. CO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	1,58·10³	6,99
Oljeutvinning	633	2,80
MTBE	371	1,64
Annet	576	2,55
Produksjon av bil:	2,87·10³	12,7
Skrog	2,18·10 ³	9,66
Annet I	687	3,04
Bilkjøring:	1,77·10⁴	78,1
Direkte utslipp	1,65·10 ⁴	73,2
Vedlikehold av skrog	1,10·10 ³	4,85
Annet	9,04	0,04
Resterende bidrag:	499	2,21
Totalt for hele systemet	2,26·10⁴	100

Nesten 80 % av bidraget til global oppvarming fra bensinsystemet kommer i forbindelse med bruk av bilen. Det er de direkte utslippene fra bilen som er av størst betydning. Vedlikehold av skrog gir i hovedsak utslag grunnet bruk av fyringsolje (3,47 %). I forbindelse med produksjon av bil er det skroget som er den største kilden til utslipp av klimagasser. Her er det bruk av jomfruelig aluminium (2,74 %) og elektrisitet (1,99 %) som gir størst utslag.

Fotokjemisk ozondannelsespotensial (POCP):

Tabell 6.18 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for fotokjemisk ozondannelse.

Tabell 6.18: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til fotokjemisk ozondannelse for bensinsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. C₂H₄ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	1,07	13,3
Direkte utslipp fra raffineri	0,88	10,9
Annet	0,19	2,40
Produksjon av bil:	1,30	16,1
Skrog	0,90	11,2
Annet	0,39	4,90
Bilkjøring:	5,43	67,4
Direkte utslipp	4,63	57,4
Vedlikehold skrog	0,81	10,0
Annet	0	0
Resterende bidrag:	0,26	3,20
Totalt for hele systemet	8,06	100

For bensinsystemet kommer det viktigste bidraget til fotokjemisk ozondannelse i forbindelse med bilkjøring. For vedlikehold av bil er det hovedsakelig bruk av gummi til hjul (9,39 %) som gir utslag. Bidraget fra produksjon av drivstoff kan i første rekke knyttes til prosessutslipp fra oljeraffineriet. Med tanke på produksjon av bil er det nok en gang skroget som er den avgjørende bidragsyteren. Her er det bruk av HDPE (4,35 %) og stål (4,21 %) som står for størsteparten av bidraget. Alle tall i parentes er gitt som prosent av det totale bidraget til fotokjemisk ozondannelse fra bensinsystemet.

Forsuringspotensiale (AP):

Tabell 6.19 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for forsurening. I tillegg til produksjon av drivstoff, produksjon av bil og bilkjøring, er transport av drivstoffet fra Hammerfest til Genève tatt med.

Tabell 6.19: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til forsurening i bensinsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. SO₂ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	14,0	18,3
Oljeutvinning	3,16	4,12
MTBE	2,97	3,82
Annet	7,89	10,3
Produksjon av bil:	30,2	39,4
Skrog	18,2	23,7
SI motor	9,73	12,7
Annet	2,26	2,95
Bilkjøring:	26,7	34,8
Direkte utslipp	21,9	28,6
Vedlikehold skrog	4,67	6,10
Annet	0,08	0,10
Transport:	4,63	6,04
Båttransport	3,09	4,04
Togtransport	1,54	2,01
Annet	0	0
Resterende bidrag:	1,12	1,46
Totalt for hele systemet	76,6	100

Bidraget til forsurening fra bensinsystemet er nokså jevnt fordelt ut over livsløpet. For produksjon av drivstoff er det utslipp fra oljeutvinning og produksjon av MTBE som gir de største enkeltbidragene. Det gir et restbidrag på 10,3 % som inkluderer utslipp fra raffineriprosess og produksjon av materialer benyttet i prosessen. I forbindelse med produksjon av skrog er det bruk av kobber (6,13 %), jomfruelig aluminium (4,83 %) og

elektrisitet (4,33 %) som bidrar mest. For SI motoren gir bruk av platina (4,36 %) og palladium (2,46 %) utslag. 1/3 av totalbidraget er knyttet til bilkjøring. Vedlikehold av bil slår igjen ut grunnet bruk av gummi til hjul (2,96 %) og fyringsolje (2,50 %).

Eutrofieringspotensiale (EP):

Tabell 6.20 viser hvilke bidragsytere som gir de største konsekvensene for eutrofiering.

Tabell 6.20: En oversikt over de viktigste bidragsyterne til eutrofiering i bensinsystemet.

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. PO₄³⁻ ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,54	7,99
Produksjon av bil:	0,87	12,8
Skrog	0,68	10,1
Annet	0,18	2,70
Bilkjøring:	5,04	74,5
Direkte utslipp	4,77	70,5
Vedlikehold skrog	0,26	3,88
Annet	0,01	0,12
Resterende bidrag:	0,32	4,71
Totalt for hele systemet	6,76	100

Det er utslipp i forbindelse med bilkjøring som gir det største bidraget til eutrofiering. Direkte utslipp fra bil er her den viktigste kilden. Skroget står for nesten hele utslaget i forbindelse med produksjon av bil. Her er det bruk av polypropylen (4,05 %) og jomfruelig aluminium (2,01 %) som slår ut.

7 DISKUSJON

7.1 Trender i resultatene

I dette delkapittelet vil de generelle trendene i resultatene bli kommentert. Som en forklaring til disse trendene, vil det trekkes inn elementer fra kapittel 5 der prosessene og produksystemene er beskrevet. Der potensialet innen hver kategori i teksten gis i ekvivalenter, vil bidraget for LNG systemet bli nevnt først, deretter bidraget fra hydrogensystemet, bidraget fra metanolsystemet og til slutt bidraget fra bensinsystemet. Forkortelsene LNG, H, M og B brukes for å skille mellom systemene.

7.1.1 *Abiotisk utarming*

Produksjon av drivstoff gir naturlig nok et stort utslag for alle de fire verdikjedene med tanke på abiotisk nedbrytning. Det er uttak av olje og gass som inngår som råstoff i drivstoffproduksjonen som er hovedkilden til dette bidraget, men også uttak av olje og gass til energiproduksjon slår i noen tilfeller godt ut på resultatene. For de fire systemene er bidraget fra drivstoffproduksjonen; LNG: 106 Sb eq., H: 95,8 Sb eq., M: 85,1 Sb eq., og B: 124 Sb eq.. Tallet vil av overnevnte grunner være sterkt avhengig av energiinnholdet i drivstoffet. Produksjonsprosessens energibehov vil også reflekteres i disse tallene.

Avsnitt 5.6 viser at hydrogen er i en særstilling med tanke på energiinnhold. Med 120 MJ/kg minimeres mengden gass som går med til produksjon av drivstoffet betraktelig. Kjølearbeidet som skal til for å gjøre hydrogenet flytende er derimot med på å øke bidraget til abiotisk utarming.

Naturgass og bensin har et energiinnhold som ligger i underkant av 50 MJ/kg. I forhold til hydrogen medfører dette at mengden drivstoff som er nødvendig for å oppfylle den funksjonelle enheten, blir mye større. Metanol har et energiinnhold på omtrent 20 MJ/kg. Allikevel gir metanolproduksjon et lavere utslag enn de andre prosessene. Grunnen til dette er at omtrent halvparten av massen i metanol skyldes innholdet av oksygen. Dette gjør at gassbehovet (råvare) pr. tonn produsert metanol bl.a. er mindre enn halvparten så lite som for ett tonn produsert LNG. Begge prosesser er dessuten meget energikrevende; metanolprosessen noe mer enn LNG prosessen pr. tonn produsert drivstoff.

Bidraget fra produksjon av bil er for de fire systemene; LNG: 23,4 Sb eq., H: 28,4 Sb eq., H: 26,4 Sb eq. og B: 21,6 Sb eq.. Det er ingen store variasjoner mellom disse da det er skroget som gir det største utslaget og dette er likt for alle bilene. Det er allikevel en liten økning for systemene med brenselcellebil i forhold til de med forbrenningsmotor. Grunnen til dette er bidrag fra brenselcella. Trykkbeholderen i systemet for LNG og hydrogen er også med på å øke det abiotiske utarmingspotensialet, slik at hydrogenbilen som har både trykkbeholder og brenselcelle gir det største utslaget. Bensinbilen som ikke har noen av delene, kommer best ut i denne fasen av livsløpet.

Bidraget fra bilkjøring skyldes, for alle de fire systemene, vedlikehold av skrog. Da denne kun er avhengig av utkjørt distanse, er den lik for de fire verdikjedene med et bidrag på 8,64 Sb eq..

7.1.2 *Global oppvarming*

Bidraget til global oppvarming fra produksjon av drivstoff er ;LNG: $1,54 \cdot 10^3$ CO₂ eq., H: $4,11 \cdot 10^3$ CO₂ eq., M: $3,55 \cdot 10^3$ CO₂ eq. og B: $1,58 \cdot 10^3$ CO₂ eq.. Det er altså hydrogensystemet som gir det største utslaget her. Dette skyldes i hovedsak at alt karbonet i naturgassen som inngår som råvarestrøm i hydrogenproduksjonen, fjernes fra hydrogenet og enten slippes direkte ut til luft eller går til deponi. Globalt oppvarmingspotensial knyttes dessuten i stor grad til energibehov, og dette er stort i forbindelse med kjøling av hydrogen. Som tidligere nevnt er det antatt at dette dekkes ved bruk av gassturbiner, som gir store utslipp av klimagasser.

Vi ser at også bidraget fra metanolsystemet er høyt. Som tidligere nevnt er metanolprosessen svært energikrevende og det meste av energibehovet dekkes ved forbrenning av fossile brenslers. Dette gir store utslag for global oppvarming. Energibehovet for kjøling av hydrogen er allikevel større enn energibehovet knyttet til produksjon av metanol, slik at hydrogensystemet likevel kommer dårligst ut.

Karbonet fra de primære energikildene følger for LNG systemet, metanolsystemet og bensinsystemet med drivstoffet, og gir isteden større utslipp i forbindelse med bilkjøring. Mens hydrogensystemet av overnevnte grunner ikke har utslipp av klimagasser på dette stadiet av livsløpet, er bidraget fra LNG systemet på $1,23 \cdot 10^4$ CO₂ eq., bidraget fra metanolsystemet på $1,12 \cdot 10^4$ CO₂ eq., mens bensinsystemet gir et utslag på $1,77 \cdot 10^4$ CO₂ eq.. På tross av at energiinnholdet er mindre i metanol enn i LNG og bensin, er klimautslipp forbundet med en brenselcellebil drevet på metanol mindre enn for en bil med forbrenningsmotor drevet på LNG eller bensin. Grunnen til dette er at karboninnholdet pr. energienhet i disse drivstoffene er høyere for bensin og LNG enn for metanol. Dette illustreres ofte ved å oppgi karboninnholdet i forhold til hydrogeninnholdet, et C-H forhold. LNG består i hovedsak av metan, men små mengder av tyngre hydrokarboner øker karboninnholdet til et gjennomsnitt på 1,38 mol pr. mol gass (Halvorsen, 2001). Bensin består i hovedsak av hydrokarboner med en karbonlengde mellom C₅-C₁₂, noe som øker dette forholdet betraktelig sammenliknet med LNG. Dessuten består bensin av aromater og en rekke andre forbindelser som i forbindelse med forbrenning gir utslipp av klimagasser med betydelig større klimaeffekt enn CO₂. Metanol har derimot bare ett karbonatom pr. molekyl, og dette gjør at systemet for metanol kommer bedre ut på tross av en lavere molekylvekt.

Bidraget fra produksjon av bil for de fire systemene er; LNG: $3,06 \cdot 10^3$ CO₂ eq., H: $3,76 \cdot 10^3$ CO₂ eq., M: $3,38 \cdot 10^3$ CO₂ eq. og B: $2,87 \cdot 10^3$ CO₂ eq..

Som for abiotisk nedbrytning gir brenselcellebilene et litt større utslag med tanke på produksjon av bil. Igjen er det skroget som gir det største bidraget, og det er fremdeles produksjon av brenselcella og trykktanken som gjør at hydrogensystemet kommer dårligst ut mens bensinsystemet kommer best ut.

7.1.3 *Nedbrytning av ozonlaget*

Resultatene for denne effektkategorien er ikke vist i kapittel 6, men er isteden lagt frem i bilag B2.

Som figur 6.1 viser, gir bensinsystemet et bidrag til nedbrytning av ozonlaget som er omtrent tre ganger så stort som fra de tre andre verdikjedene. Det totale bidraget fra de fire systemene er; LNG: 0,0082 CFC eq., H: 0,0083 CFC eq., M: 0,0084 CFC eq. og B: 0,246 CFC eq.. En

ser at utslaget for de tre første er relativt like, og det skyldes i hovedsak produksjon av PVC i forbindelse med skroget.

Grunnen til at bensinsystemet har et så mye høyere bidrag enn de andre, er hovedsakelig at det i forbindelse med oljeutvinning er utslipp av halon-1301.

Ellers kan det nevnes at vedlikehold av bil gir et utslag på 0,0015 CFC eq. for alle systemene.

7.1.4 Toksisitet

Resultatene for de fire effektkategoriene som omhandler toksisitet, human toksisitet, akvatisk ferskvannstoksisitet, akvatisk toksisitet på marint miljø og terrestrisk toksisitet, er her diskutert under ett.

Resultatene er ikke vist i kapittel 6, men er isteden lagt frem i bilag B2.

Human toksisitet:

Det er bensinsystemet som her gir det klart største bidraget. LNG systemets bidrag er omtrent halvparten av dette, mens hydrogen- og metanolssystemene bare gir et utslag på rundt en femtedel. Det som i hovedsak skiller verdikjeden for bensin fra de andre er drift av fyllestasjon. Avdamp som inneholder benzen og PAH gir store utslag på human toksisitet. Disse gassene slippes også ut under kjøring av bensinbilen, mens denne fasen av livsløpet har minimalt/ingenting å si for de andre tre verdikjedene. Produksjon av LNG og bensin gir utslipp som kan knyttes til human toksisitet, mens dette i liten grad gjelder for produksjon av hydrogen og metanol. Ellers gir produksjon av bil og vedlikehold av bil utslag i alle verdikjedene.

Akvatisk ferskvannstoksisitet:

LNG systemet gir her et utslag som er nesten dobbelt så stort som for bensinsystemet, og nesten fem ganger så stort som for metanol- og hydrogensystemet. Under produksjon av LNG slippes det ut fenoler og PAH til vann, stoffer som gir store utslag innen akvatisk ferskvannstoksisitet. Også i forbindelse med uttak av olje til raffineriprosessen er det utslipp som kan knyttes til denne effektkategorien. Produksjon av drivstoff gir for hydrogen- og metanolssystemet tilnærmet ingen utslag. Ellers er det igjen bidrag fra produksjon av bil og vedlikehold av bil, som slår ut i alle verdikjedene.

Akvatisk toksisitet på marint miljø:

Det er her ikke så store forskjeller mellom bidragenes størrelsesorden som for tilfellene over. Igjen er det bensinsystemet som kommer dårligst ut og igjen skyldes dette hovedsaklig utslipp fra oljeutvinningsfasen. Produksjon av drivstoffet har tilnærmet ingenting å si i de andre verdikjedene. For disse er det vedlikehold av bil og produksjon av bil som spiller inn.

Terrestrisk toksisitet:

Resultatene her er ikke så ulike de over. Bensinsystemet gir det største utslaget, mens de andre kommer relativt likt ut på et nivå omtrent 20 % under dette. Grunnen til dette er igjen oljeutvinning, men også produksjon av MTBE slår ut på resultatene. Felles for alle systemene er at vedlikehold av skrog bidrar mest grunnet utslipp av kadmium, bly og sink. Også produksjon av bil gir store utslag.

7.1.5 Fotokjemisk ozondannelse

Fotokjemisk ozondannelse knyttes i første rekke opp mot utslipp av NO_x , CH_4 , CO og VOC og forbindes ofte med forbrenning av fossile brenslere. Det er derfor den siste fasen av livsløpet, bilkjøringen, som gir store utslag for LNG systemet og bensinsystemet. Bidraget til fotokjemisk ozondannelse fra de fire verdikjedene er; LNG: 3,43 C_2H_4 eq., H: 0,81 C_2H_4 eq., M: 0,82 C_2H_4 eq. og B: 5,43 C_2H_4 eq.. Disse tallene gir en klar indikasjon på hvilke fordeler som ligger i en utskiftning av dagens bensinbiler med biler med brenselcelle, særlig i byer med store smogproblemer. Hele utslaget for hydrogensystemet og metanolsystemet kommer i forbindelse med vedlikehold av skroget. Slitasje av bildekk er grunnen til at denne operasjonen gir et så stort utslag.

Skroget har, som for de foregående effektkategoriene, mye å si for bidraget fra produksjon av bil. Grunnet bruk av palladium i forbindelse med produksjon av metanolreformerer, er det metanolbilen som gir det største utslaget. Også produksjon av brenselcella og trykkbeholderen gir utslipp som bidrar til fotokjemisk ozondannelse. Så nok en gang er det bilene med brenselcelle som kommer dårligst ut. Bidraget fra de fire systemene er; LNG: 1,71 C_2H_4 eq., H: 2,22 C_2H_4 eq., M: 2,33 C_2H_4 eq. og B: 1,30 C_2H_4 eq..

Produksjon av drivstoff har relativt liten innvirkning på resultatene. Bidraget fra de fire systemene er; LNG: 0,04 C_2H_4 eq., H: 0,18 C_2H_4 eq., M: 0,32 C_2H_4 eq. og B: 1,07 C_2H_4 eq.. Bensinsystemet skiller seg noe fra de andre grunnet utslipp av komponenter som eten og propen fra raffineriprosessen. Metanolprosessen gir i første rekke utslag på utslipp av NO_x fra fakling og brenning av naturgass.

7.1.6 Forsuring

Forsuring knyttes særlig til utslipp av NO_x og SO_x og settes ofte, i likhet med fotokjemisk ozondannelse, i forbindelse med forbrenning av fossile brenslere. LNG systemet og bensinsystemet gir derfor store utslag i kjørefasen av livsløpet. Bidraget fra de fire verdikjedene fra denne fasen er; LNG: 25,8 SO_2 eq., H: 4,68 SO_2 eq., M: 4,67 SO_2 eq. og B: 26,7 SO_2 eq.. Utslaget i hydrogensystemet og metanolsystemet kommer fra vedlikehold av skrog.

Et noe oppsiktsvekkende resultat kommer i forbindelse med produksjon av bil. Det viser seg at brenselcella og metanolreformerer gir store utslag på forsuring grunnet bruk av palladium og platina. Bidraget fra de fire kjedene er; LNG: 30,6 SO_2 eq., H: 81,4 SO_2 eq., M: 101 SO_2 eq. og B: 30,2 SO_2 eq.. Produksjon av metanolbilen kommer naturlig nok dårligst ut da den har både brenselcelle og metanolreformer. Utslaget knyttet til LNG bilen og bensinbilen kommer i første rekke fra produksjon av skrog.

Med 101 SO_2 eq. fra produksjon av metanolbilen, er det denne delen av livsløpet som gjør at metanolsystemet kommer så dårlig ut i forhold til de andre. Hele 82 % av forsuringsbidraget fra denne verdikjeden stammer fra denne fasen av livsløpet.

Produksjon av drivstoff er igjen av mindre betydning med bidrag for de fire systemene på LNG: 0,48 SO_2 eq., H: 4,52 SO_x eq., M: 9,25 SO_2 eq. og B: 14,0 SO_2 eq.. Raffineriprosessen har store utslipp av NO_x og SO_2 fra crackingprosessen, mens metanolprosessens energibehov nok en gang gir utslag grunnet utslipp fra fakling og brenngass. Konstruksjon av metanolanlegget gir også utslag grunnet bruk av svovelsyre. Det er verd å nevne at

konsekvensutredningen sier lite om utslipp av SO_x , slik at dette kan være grunne til det lave tallet for LNG produksjon. Det er altså usikkerhet knyttet til denne delen av LNG systemet med tanke på forsurening.

7.1.7 *Eutrofiering*

Utslipp av NO_x gir store utslag også innen denne effektkategorien. Nok en gang vil det derfor være utslipp i forbindelse med bilkjøring som er av avgjørende betydning for LNG systemet og bensinsystemet. For de to andre verdikjedene, spiller utslipp i denne fasen derimot mindre rolle. Bidraget fra de fire systemene er; LNG: $5,04 PO_4^{3-}$ eq., H: $0,26 PO_4^{3-}$ eq., M: $0,27 PO_4^{3-}$ eq. og B: $5,04 PO_4^{3-}$ eq.. Utslaget i hydrogensystemet og metanolsystemet skyldes igjen vedlikehold av skrog.

I forbindelse med produksjon av bil er det brenselcella og trykkbeholderen som ved siden av skroget gir store utslag. Dette gjør at hydrogenbilen, som har en større trykktank enn LNG bilen, kommer dårligst ut i denne fasen. Bidraget fra de fire systemene er; LNG: $0,89 PO_4^{3-}$ eq., H: $1,05 PO_4^{3-}$ eq., M: $0,97 PO_4^{3-}$ eq. og B: $0,87 PO_4^{3-}$ eq.

Produksjon av drivstoff er som i tilfellet for forsurening av mindre betydning. Bidraget fra de fire systemene er; LNG: $0,09 PO_4^{3-}$ eq., H: $0,82 PO_4^{3-}$ eq., M: $0,51 PO_4^{3-}$ eq. og B: $0,54 PO_4^{3-}$ eq. Det lille ekstra bidraget fra hydrogenproduksjon stammer fra kjøletrinnet.

Vi ser dessuten at både konstruksjon av fyllestasjon og transport av drivstoffet har en liten innvirkning på resultatene i metanolsystemet. Bidraget fra disse er henholdsvis $0,24 PO_4^{3-}$ eq. og $0,21 PO_4^{3-}$ eq..

7.1.8 *Merknader*

Ut fra resultatene presentert i kapittel 6 og diskusjonen over, kan det trekkes følgende konklusjoner angående hvilke deler av verdikjedene som gir de største miljøbelastningene på tvers av effektkategoriene:

- Skroget har stor betydning for produksjon av bilen, og det er ofte bruken av jomfruelig aluminium, HDPE og stål som gir dette utslaget. Også brenselcella, metanolreformereren og trykktanken er som regel med på å øke de negative miljøkonsekvensene slik at det er hydrogenbilen og metanolbilen som uansett effektkategori kommer dårligst ut. Det er i forbindelse med produksjon av bil verdt å merke seg at det gjennomgående er store forskjeller i utslag ved bruk av jomfruelig aluminium og 100 % resirkulert materiale.
- Kjøring med bensinbil gir utslipp av en rekke komponenter som ikke gjør seg gjeldende under kjøring med de andre bilene. Denne fasen av livsløpet har derfor en større betydning for bensinsystemet enn den har for de andre. Og det er som regel dette tillegget som gjør at bensinsystemet ofte kommer dårligst ut. I denne sammenheng er det naturlig å påpeke fordelene særlig brenselcellebiler vil ha i forbindelse med bykjøring. I byer der problemet med smog og forsurening er stort, kan denne type biler gi vesentlige forbedringer.

- Vedlikehold av bil gir ofte store utslag grunnet slitasje av dekk og bruk av fyringsolje. Dette bidraget er gjennomgående mye større en f.eks. det som er forbundet med transport av drivstoffene.
- Drivstoffproduksjonen er av varierende betydning for de ulike effektkategoriene. For abiotisk nedbrytning er denne delen av livsløpet avgjørende uansett system. Ellers gir produksjonen relativt store utslag med tanke på eutrofiering. Bidraget fra denne fasen henger i stor grad sammen med prosessens energibehov.

Da Röder er brukt som kilde for den siste delen av livsløpet, kunne det ha vært nærliggende å sammenlikne resultatene fra denne analysen med de som er presentert her. Det er derimot problematisk å foreta en slik sammenlikning da det har blitt valgt ulike analysemetoder. Röder bruker f.eks. andre karakteriseringsfaktorer enn denne studien, slik at resultatene i ekvivalenter blir forskjellige på tross av bruk av samme kilde. Det kan nevnes i denne sammenheng at en presentasjon av data slik gjort i Röder, med lett forståelige tabeller for inventardata, gjør det mulig å utføre analysen med et annet sett karakteriseringsfaktorer og med bruk av andre metoder. Da disse faktorene tydelig spiller en viktig rolle for resultatene, er dette helt klart en fordel. Det vil dessuten alltid være svært viktig i en LCA å kommentere valg av karakteriseringsfaktorer.

7.2 Usikkerhet i resultatene

Usikkerhet i resultatene kan skyldes mange forhold. Blant disse er usikre kilder og valg med tanke på systemgrenser, funksjonell enhet og metode. I tillegg vil forutsetninger og antagelser spille inn. De usikkerhetsmomentene som er antatt å ha en effekt på resultatene i denne analysen, vil nå bli kommentert.

7.2.1 *Datausikkerhet*

Det er særlig knyttet usikkerhet til data for produksjon av LNG da disse kun er basert på konsekvensutredninger og ikke årsrapporter, som tilfellet er for metanolproduksjonen. Store endringer i disse tallene er ikke å forvente etter oppstart av anlegget, men noe vil de trolig allikevel differere.

Tallene for produksjon av metanol er basert på årsrapporter, og er dermed antatt å være temmelig sikre. Det kan allikevel være utslipp, særlig små utslipp til jord og vann, som er utelatt.

Data hentet fra Frischknecht (1996); transportdata og tall for produksjon av bensin, er regnet for å være sikre. En kilde til usikkerhet melder seg allikevel da dette er gjennomsnittstall for Vest Europa. Da raffineriet i denne analysen er lokalisert til Norge, hvor valg av energikilder ofte er noe annerledes enn for Europa forøvrig, kan det ligge en liten usikkerhet i resultatene for produksjon av bensin.

Tallene for hydrogenproduksjon og uttak av gass er også regnet som gode data. De er dessuten utarbeidet nokså nylig, slik at de tar hensyn til endringer knyttet til ny teknologi og andre forbedringer.

Data for direkte utslipp fra bil og produksjon av bil, som er hentet fra Röder, er godt underbygde tall. I denne forbindelsen vil det være større usikkerhet rundt de systemene som ikke er etablert enn for det tradisjonelle scenariet med bruk av bensinbil.

7.2.2 Systemgrenser

Systemgrensene har, som nevnt i kapittel 3, blitt forsøkt satt på en slik måte at de er i størst mulig grad like for de fire systemene. Dette har i noen tilfeller vært vanskelig, da grensesettingen avhenger av hvilke valg datakildene har gjort med tanke på systemgrenser. Det er heller ikke alltid like lett å finne ut av hvor datakildene har satt grensene, d.v.s. hva de inkluderer i tallene sine og hva de holder utenfor.

Grensesetting i forbindelse med fyllestasjoner bød på problemer da det er vanskelig å få tak i gode data for stasjoner for LNG og hydrogen. Dette gjorde at konstruksjon av fyllestasjon ble inkludert i systemene for metanol og bensin, men utelatt i de andre. Bakgrunnen for dette valget, var at det da ville være mulig for i alle fall to av systemene å se hvor stor del av totalbidraget denne fasen utgjorde. Ut fra dette ville man kunne si noe om hvor avgjørende det ville være å kutte den ut. Som det går frem av resultatene, er ikke konstruksjon av fyllestasjon av særlig stor betydning. At denne fasen har blitt utelatt for to av systemene er derfor ikke avgjørende for resultatene.

Drift av fyllestasjon er inkludert for alle systemene, men igjen er LNG systemet og hydrogensystemet noe ufullstendig da det kun er kompresjonsarbeidet i denne fasen som er tatt med. Utslipp eller energibruk for fyllestasjon er altså for disse utelatt av samme grunn som for konstruksjon av stasjonen.

For de andre fasene av verdikjedene, er systemgrensene stort sett satt likt for alle de fire systemene.

7.2.3 Forutsetninger og antagelser

I denne studien er det valgt en svinnprosent på 1 % for alle systemene. Det kan være at fordampningen fra LNG og flytende hydrogen gjør at svinnet er noe større for disse drivstoffene.

Som tidligere nevnt er kompresjonsarbeidet ved fyllestasjon for LNG og hydrogen beregnet fra en likning som gjelder for væsker under kritisk trykk. Denne er da ikke helt representativ for kompresjonsarbeid på LNG ved 200 bar og flytende hydrogen ved 450 bar, men er allikevel brukt da beregninger på overkritiske væsker ikke ansees å være innenfor omfanget av oppgaven.

Det har blitt gjort en rekke antagelser i forbindelse med transport av kryogeniske væsker. Det ligger store usikkerheter i data for transport av flytende hydrogen, særlig for strekningen Hammerfest – Le Havre hvor data for en vanlig LNG tanker har blitt benyttet. Hvorvidt det er mulig å gjøre en slik antagelse, er vanskelig å si da det i dag ikke er bygget skip med tanke på transport av flytende hydrogen. En slik antagelse har allikevel blitt gjort med bakgrunn i de fysiske egenskapene ved LNG og hydrogen. Da hydrogen må kjøles til 253°C for å gå over i flytende fase, som er nesten 100° lavere enn for LNG, kan det være at det bør beregnes et tillegg i kjølebehov under transportetappen.

7.3 Forslag til videre arbeid

Det vil være særlig aktuelt å se videre på produksjon av LNG og forbedre datagrunnlaget for denne delen av systemet. Dette kan gjøres når de første innrapporteringene for anlegget foreligger om noen år. Det kan da også gjøres analyser på hvilke miljøgevinster ubemannede gassanlegg kan gi.

Det kan også være interessant å gjøre en dypere analyse av muligheter innen transport av flytende hydrogen, særlig med tanke på store transportavstander.

Denne analysen ser kun de miljømessige konsekvensene av ulike valg av drivstoff. Det vil alltid være interessant å se problemstillingen i lys av økonomiske- og samfunnsmessige konsekvenser også.

8 Konklusjon

Resultatene fra denne livsløpsanalysen viser at en utskiftning av bensinbilen kan gi store miljøfordeler på alle stadier av livsløpet. Det er bare i forbindelse med akvatisk ferskvannstoksisitet og forsuring bensinsystemet ikke kommer dårligst ut. Et system der LNG (CNG) benyttes som drivstoff i bil med tradisjonell forbrenningsmotor, er jevnt over et bedre alternativ enn bensin, men vil i likhet med bensinbilen gi utslipp av en rekke komponenter i bruksfasen som ikke vil gjøre seg gjeldende ved kjøring med en brenselcellebil drevet på hydrogen eller metanol.

Et system der hydrogen benyttes som drivstoff i brenselcellebiler fremstår som det klart beste alternativet, gitt de forutsetninger og antagelser som ligger til grunn for oppgaven. Det er særlig i forbindelse med miljøproblemer som global oppvarming og fotokjemisk ozondannelse at et slikt system kan tilby en løsning. Også et tilsvarende system der hydrogen byttes ut med metanol, kan gi store forbedringer innen transportsektoren.

Drivstoffproduksjonen, som har hatt hovedfokuset i denne analysen, er helt avgjørende med tanke på abiotisk utarming. Ellers gir den jevnt over et betydelig bidrag, men er ellers sjelden den avgjørende fasen i verdikjeden. Unntaket er hydrogenproduksjonens bidrag til global oppvarming og eutrofiering. Disse utslagene kan i hovedsak knyttes til energibehovet ved kjøling av hydrogen til flytende fase.

Referanser

Litteratur:

- Amos, W.A., *Costs of Storing and Transporting Hydrogen*, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 1998.
- Askham, C., Magnussen, K., Vold, M., *Life Cycle Assessment of a Gas Power Station*, Stiftelsen Østfoldforskning – STØ, Fredrikstad, 1999.
- Aylward, G., Findley, T., *SI Chemical Data*, Sidney, John Wiley & Sons, 3 ed, 1994.
- Andreassen, A., Frøseth, V., Seterkleiv, A.E., Stangeby, T.V., *Produksjon av metanol ved konvertering av naturgass*. Prosjekteringsoppgave, NTNU, 2001.
- Bakkane, K.K., *Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas Production*, Tapir Publishers, 1994.
- Bang, J., Flugsrud, K., Holtskog, S., Haakonsen, G., Larssen, S., Maldum, K.O., Rypdal, K., Skedsmo, A., *Utslipp fra veitrafikk i Norge. Dokumentasjon av beregningsmetode, data og resultater*, Statens Forurensningstilsyn – SFT, 1999.
- Barreto, L., Makihira, A., Riahi, K., *Medium- and Long-Term Demand and Supply Prospects for Fuel Cells*, Environmentally Compatible Energy Strategies (ECS) Project, Japan, 2002.
- Brevik, D.A., Jordanger, E., Maurstad, O., Møller-Holst, S., *Hydrogen som energibærer. Energi- og utslippsregnskap for utvalgte energikjeder*, Sintef, Trondheim, 2002.
- Frischknecht, R., *Ökoinventare von Energiesystemen*, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich/Paul Scherrer Institut, 3. auflage, 1996.
- Guinée, J.B., de Bruijn, H., de Konig, A., Gorrée, M., Heijungs, R., Huijbregts, M.A.J., Huppes, G., Kleijn, R., Sleswijk, A.W., Suh, S., Udo de Haes, H.A., van Duin, R., van Oers, L., Lindeijer, E., Roorda, A.A.H., van der Ven, B.L., Weidema, B.P., *An Operational Guide to the ISO Standards*, Leiden University (CML), 2001.
- Halvorsen, M.K., *Metanol som drivstoff i brenselcellebiler – et alternative til bensinbilen? En livsløpsvurdering*. Prosjektoppgave, Institutt for kjemisk prosess teknologi, NTNU, 2001.
- Hanssen, O.J. Status of LCA Activities in the Nordic Region. *International Journal of LCA*, Vol. 5, No. 4, 1999.
- ISO 14040 serien, *Miljøstyring. Livsløpsvurdering. Prinsipper og rammeverk*, Norges Standardiseringsforbund, 1997.
- Lindfors, L.G., Christiansen, K., Ekvall, T., Finnveden, G., Hanssen, O.J., Hoffmann, L., Juntilla, V., Rønning, A., Virtanen, Y., *Nordic Guidelines to Life Cycle Assessment*, The Nordic Council, 1995.

Maxwell, T.T., Jones, J.C., *Alternative Fuels: Emissions, Economics and Performance*, Texas Tech University, Society of Automotive Engineers, 1995.

Moulijn, J.A., Makkee, M., van Diepen, A., *Chemical Process Technology*, Chichester, John Wiley & Sons, 2001.

Röder, A., *Life Cycle Inventory and Costs of Different Car Powertrains*. (Ph.D thesis, Dissertation ETH 14291, Zürich/Villingen 2001).

Røine, K., *Livsløpsanalyse av metanolproduktene eddiksyre og formalin*. Diplomoppgave, NTNU, 1995.

Smith, R.L., Smith, T.M., *Elements of Ecology*, California, The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1998.

Strømman, A. H., Hertwich, E.G., *Applied Hybrid Life Cycle Analysis with Monte Carlo Simulation of a Large Scale Hydrogen Production Facility. Conference Presentation. SETAC Europe Annual Meeting, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Vienna , 2002*

Vold, M., *LCA of Norwegian Oil and Gas Extraction*, Stiftelsen Østfoldforskning – STØ, Fredrikstad, 2000.

Personlig korrespondanse:

Andreassen, H., Kystverket, samtaler pr. telefon i desember 2002.

Ingerud, A., NSB, samtaler pr. telefon i januar 2003.

Jakobsen, J., Statoil, samtaler og e-post korrespondanse i løpet av vinter 2002/2003.

Nesse, N., Kjemisk Prosessteknologi, NTNU, samtaler i januar 2003.

Owren, G.A., Energi og Prosessteknikk, NTNU, samtaler i januar 2003.

Steineke, F., Kjemisk Prosessteknologi, NTNU, samtaler høsten 2001.

Nettsider:

Opels reiseruteplanlegger:

<http://www.lca.no/meromlca/>. Desember 2002.

SFT's side for bedriftsspesifikke utslippsdata:

<http://www.sft.no/bmi/>. Desember 2002.

SFT, nyhetsbrev om energibruken ved Snøhvit:

http://www.sft.no/nyheter/brev/snohvit_energianlegg_nve160902.htm. Desember 2002.

Statoils sider om Snøhvitutbyggingen:
<http://www.statoil.com/snohvit>. Vinter 2002/2003.

Statoils konsekvensutredning av Snøhvit:
<http://www.statoil.com/snohvitku>

Statoils årsrapport fra Tjeldbergodden:
<http://www.statoil.com/inf/SVG02304.nsf?OpenDatabase&lang=no&app=2>

U.S. Department of Energy's sider om lagring av hydrogen:
<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/docs/3>. Januar 2003.

Databaser:

Simapro 5.0, PRé Consultants

B1 INVENTARDATA FOR DRIVSTOFFPRODUKSJON

Tabellene under viser hvilke inventardata som har blitt brukt for produksjon av LNG, hydrogen og metanol. Data for oljeraffineriet er utelatt da dette er tall hentet fra Frischknecht (1996). For alle anleggene er det antatt 330 driftsdøgn pr. år.

B1.1: Produksjon av LNG

Tallene er hentet fra Statoils konsekvensutredning (www.statoil.com/snohvitku), Jakobsen (2003) og www.statoil.com/snohvit.

Komponenter	Enhet	Innverdier	Utverdier
Gass til produksjon	mill. tonn/år	5,410	
Kondensat	mill. tonn/år	0,950	
Energi fra gassturbiner	TWh/år	207	
LNG	mill. tonn/år		4,258
LPG	mill. tonn/år		0,247
Kondensat produkt	mill. tonn/år		0,747
CO ₂	mill. tonn/år		0,900
NO _x	tonn/år		650
VOC	tonn/år		200
Naftalen	tonn/år		507
PAH	tonn/år		39,7
Fenoler	tonn/år		721
Varmetap	GWh/år		103

B1.2: Produksjon av metanol

Tallene er hentet fra www.sft.no og årsrapporten for Tjeldbergodden (www.statoil.com).

Komponenter	Enhet	Innverdier	Utverdier
Gass til produksjon	mill. tonn/år	0,376	
Gass til energi	mill. tonn/år	0,094	
Lut, NaOH	tonn/år	295	
Svovelsyre, H ₂ SO ₄	tonn/år	79	
Metanol, CH ₃ OH	mill. tonn/år		0,867
LNG	tonn/år		11.340
Oksygen	tonn/år		10.470
Argon	tonn/år		9.550
Nitrogen	tonn/år		4.164
CO ₂	mill. tonn/år		0,342
VOC	tonn/år		48
Metan, CH ₄	tonn/år		11
NO _x	tonn/år		463
Total org. karbon, TOC	tonn/år		1,9
Susp. materiale	tonn/år		0,9
Total N	tonn/år		0,9
Kjølevann	m ³		169.000.000

B1.3 Produksjon av hydrogen

Tallene er hentet fra Stømmann (2002) og inkluderer også gassutvinningsfasen. Tallene refererer til produksjon av 1 GJ hydrogen produsert. Kjøling av hydrogen til flytende fase er ikke vist her.

RAW	additions	kg	0,080525414
	baryte	kg	0,007268364
	bauxite	kg	12,32989875
	bentonite	kg	0,005551859
	chromium (in ore)	kg	4,386620173
	clay minerals	kg	0,017304896
	coal	kg	33,36868608
	coal ETH	kg	63,22391769
	cobalt (in ore)	kg	2,54851E -10
	copper (in ore)	kg	2,456978583
	crude oil	kg	8,991923335
	crude oil ETH	kg	151,7817039
	crude oil IDEMAT	kg	5,173086409
	energy (undef.)	MJ	37,69664977
	energy from hydro power	MJ	198,4552554
	energy from uranium	MJ	70,35973807
	feldspar	kg	0,002884149
	gas from oil production	m3	0,038911864
	gravel	kg	0,723387891
	gypsum	kg	0,023363273
	iron (in ore)	kg	35,93930106
	iron (ore)	kg	71,86374513
	lead (in ore)	kg	8,73672E -06
	lignite ETH	kg	0,169687827
	limestone	kg	42,98957854
	magnesium (in ore)	kg	0,060335697
	manganese (in ore)	kg	0,441509748
	marl	kg	1,001178488
	methane (kg)	kg	0,082118792
	molybdene (in ore)	kg	0,397252982
	natural gas	kg	31178,33
	natural gas (vol)	m3	0,114381159
	natural gas ETH	m3	2,680710656
	nickel (in ore)	kg	1,504205912
	palladium (in ore)	kg	6,30079E -12
	platinum (in ore)	kg	1,32051E -11
	rhenium (in ore)	kg	3,46565E -12
	rhodium (in ore)	kg	5,16808E -12
	rock salt	kg	0,186252366
	sand	kg	0,574782102
	silicon (in SiO2)	kg	0,254545402
	silver	kg	2,37507E -06
	tin (in ore)	kg	1,31983E -06
	uranium (in ore)	kg	0,000442056
	uranium (ore)	kg	1,26802E -06
	water	kg	978,9408894
	wood	kg	0,123599816
	wood (agba)	kg	2,34642E -16
	zeolite	kg	4,87527E -05
	zinc (in ore)	kg	2,605527606
AIR	1,2-dichloroethane	kg	1,32554E -07

acetaldehyde	kg	5,03759E-06
acetic acid	kg	3,5475E-05
acetone	kg	4,91525E-06
acrolein	kg	1,11486E-09
Al	kg	0,00069332
aldehydes	kg	2,16012E-07
alkanes	kg	7,58281E-05
alkenes	kg	4,20163E-05
ammonia	kg	0,05101081
As	kg	4,9614E-06
B	kg	6,02591E-05
Ba	kg	7,99536E-06
Be	kg	8,14658E-08
benzaldehyde	kg	1,11486E-09
benzene	kg	0,000263003
benzo(a)pyrene	kg	6,30081E-06
Br	kg	2,55225E-05
butane	kg	0,00017105
butene	kg	1,38203E-06
Ca	kg	0,000100863
Cd	kg	2,21236E-05
CFC-116	kg	0,000134296
CFC-14	kg	0,001208515
Cl2	kg	0,02512016
CO	kg	11,5373481
CO2	kg	371,0231254
CO2 (fossil)	kg	18975,96952
cobalt	kg	1,42413E-06
Cr	kg	1,98756E-05
Cu	kg	7,68688E-05
CxHy	kg	0,053820678
CxHy aromatic	kg	2,72376E-07
cyanides	kg	3,03527E-08
dioxin (TEQ)	kg	3,34253E-09
dust	kg	0,055670791
dust (coarse)	kg	0,048993903
dust (PM10)	kg	0,023369914
dust (SPM)	kg	0,06726803
ethane	kg	0,000504631
ethanol	kg	9,84586E-06
ethene	kg	2,14961E-05
ethylbenzene	kg	8,09683E-05
ethyne	kg	8,8154E-07
F2	kg	0,000295649
Fe	kg	0,000281851
fluoranthene	kg	1,88401E-05
fluoride	kg	0,001680004
formaldehyde	kg	0,000189899
H2	kg	6,6869E-06
H2S	kg	0,003415815
H2SO4	kg	0,000140639
HALON-1301	kg	1,91245E-07
HCl	kg	0,006872087
heptane	kg	1,382E-05

hexane	kg	2,90789E-05	
HF	kg	0,00243539	
HFC-134a	kg	0,000140315	
Hg	kg	1,45919E-05	
I	kg	8,55693E-06	
K	kg	7,85977E-05	
La	kg	2,33831E-07	
metals	kg	1,17895E-05	
methane	kg	4,930467343	
methanol	kg	9,89506E-06	
Mg	kg	0,00020867	
Mn	kg	4,08633E-06	
Mo	kg	5,38705E-07	
N2O	kg	0,196933513	
Na	kg	5,87811E-05	
naphthalene	kg	6,7723E-06	
Ni	kg	3,36947E-05	
NO2	kg	0,179816497	
non methane VOC	kg	2,773789086	
NOx	kg	25,64035567	
NOx (as NO2)	kg	6,433939762	
P	kg	7,26085E-06	
PAH's	kg	0,001406218	
particulates (PM10)	kg	0,085790157	
Pb	kg	0,000426742	
pentane	kg	0,000354161	
phenol	kg	3,432E-05	
propane	kg	0,000222857	
propene	kg	7,15261E-06	
propionic acid	kg	2,03303E-06	
Pt	kg	7,17556E-13	
Sb	kg	1,55478E-07	
Sc	kg	1,00516E-07	
Se	kg	3,07749E-06	
SF6	kg	0,00046294	
silicates	kg	0,00099622	
Sn	kg	2,44066E-07	
SO2	kg	7,916543305	
soot	kg	0,102966408	
SOx	kg	0,379481346	
Sr	kg	9,85326E-06	
Th	kg	5,73777E-07	
Ti	kg	3,0859E-05	
Tl	kg	2,6466E-08	
toluene	kg	0,000559062	
U	kg	2,5831E-07	
V	kg	6,75382E-05	
vinyl chloride	kg	7,57307E-08	
VOC	kg	0,002391197	
xylene	kg	0,000178972	
Zn	kg	0,000778561	
Zr	kg	1,73294E-08	
WATER	Acid as H+	kg	4,33563E-06
	Ag	kg	2,50597E-08

Al	kg	4,949080592
alkanes	kg	5,68261E-06
alkenes	kg	5,15916E-07
AOX	kg	1,3997E-07
As	kg	3,81886E-05
As (sea)	kg	6,85207E-08
B	kg	2,89208E-05
Ba	kg	0,001610426
baryte	kg	0,001594632
Be	kg	3,43614E-09
benzene	kg	5,70618E-06
BOD	kg	3,01037E-05
calcium compounds	kg	0,017660733
Cd	kg	1,51398E-06
Cd (sea)	kg	1,47626E-09
chlorobenzenes	kg	1,07656E-13
Cl-	kg	0,149853285
Co	kg	3,76914E-05
Co (sea)	kg	1,05845E-07
COD	kg	0,000334075
COD (sea)	kg	0,007840886
Cr	kg	0,000194645
Cr (III) (sea)	kg	1,37738E-06
Cr (VI)	kg	4,90676E-08
crude oil	kg	5,08758E-05
Cs	kg	4,00283E-08
Cu	kg	0,00010021
Cu (sea)	kg	0,000158767
CxHy	kg	8,57537E-05
CxHy aromatic	kg	2,81128E-05
CxHy chloro	kg	5,555E-08
cyanide	kg	1,49466E-06
dichloroethane	kg	6,62445E-08
dichloromethane	kg	7,74683E-08
dissolved organics	kg	3,94363E-05
dissolved substances	kg	0,008067399
ethyl benzene	kg	9,61748E-07
Fe	kg	0,010606464
fluoride ions	kg	5,26506E-05
formaldehyde	kg	9,93199E-10
glutaraldehyde	kg	1,96786E-07
H2	kg	7,9048E-05
H2S	kg	8,67167E-07
H2SO4	kg	0,00268293
Hg	kg	2,43628E-07
HOCL	kg	7,88284E-05
I	kg	4,0039E-06
inorganic general	kg	6,989301957
K	kg	0,005852076
Kjeldahl-N	kg	0,009460097
metallic ions	kg	1,45807E-05
Mg	kg	0,015998868
Mn	kg	0,000509282
Mo	kg	5,28888E-05

	N-tot	kg	0,002327922
	Na	kg	0,029688525
	NH3	kg	1,75971E -05
	NH3 (sea)	kg	8,95504E -07
	Ni	kg	9,61026E -05
	Ni (sea)	kg	1,09327E -06
	nitrate	kg	0,000453611
	oil	kg	0,002415354
	P-tot	kg	1,31011E -05
	PAH's	kg	6,72741E -05
	Pb	kg	0,000107898
	Pb (sea)	kg	1,62946E -05
	phenol	kg	6,96848E -06
	phosphate	kg	0,001131177
SOLID	chemical waste	kg	6,92196E -05
	dross	kg	0,00704269
	dust - not specified	kg	0,010006678
	final waste (inert)	kg	4,967826584
	high active nuclear waste	m3	4,59562E -08
	inorganic general	kg	322,7770934
	low,med. act. nucl. waste	m3	3,14863E -06
	mineral waste	kg	0,00170954
	oil	kg	0,014207843
	process waste	kg	0,455427311
	produc. waste (not inert)	kg	0,260484096
	slag	kg	1,354074352
	slags/ash	kg	3,534759838
	toxic waste	kg	6,14179532
	waste	kg	213,0826948
	zinc	kg	1,488870205
	heat losses to air	MJ	297,0179529
	heat losses to soil	MJ	0,139700958
	radioactive substance to air	Bq	23574246,69
	radioactive substance to water	Bq	21662,8003
	Rn222 to air	Bq	0,207511905

B2 RESULTATER FOR EFFEKTKATEGORIENE OZONNEDBRYTNING OG TOKSISITET

Resultater forbundet med ozonnedbrytning og toksisitet ble ikke vist i rapportens resultatdel. Her presenteres bidraget fra de mest avgjørende fasene av verdikjeden; produksjon av drivstoff, produksjon av bil og bruk av bil. En fullstendig oversikt over bidragsytere er vedlagt oppgaven på en Cd-rom.

B2.1 LNG systemet

Ozonnedbrytning (ODP):

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. KFK-11 ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0	~ 0
Produksjon av bil:	0,0066	80,1
Bilkjøring:	0,0016	19,9
Resterende bidrag:	0	~ 0
Totalt for hele systemet	0,0082	100

Human toksisitet (HTP):

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$8,50 \cdot 10^3$	62,5
Produksjon av bil:	$3,98 \cdot 10^3$	29,3
Bilkjøring:	898	6,60
Resterende bidrag:	218	1,60
Totalt for hele systemet	$1,36 \cdot 10^4$	100

Akvatisk ferskvannstoksisitet (FAETP):

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$1,24 \cdot 10^3$	83,8
Produksjon av bil:	181	12,2
Bilkjøring:	50,8	3,43
Resterende bidrag:	8,44	0,57
Totalt for hele systemet	$1,48 \cdot 10^3$	100

Akvatisk toksisitet på marint miljø (MAETP):

<i>Bidragsyter</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$1,36 \cdot 10^4$	0,36
Produksjon av bil:	$3,35 \cdot 10^6$	88,3
Bilkjøring:	$3,08 \cdot 10^5$	8,13
Resterende bidrag:	$1,22 \cdot 10^5$	3,21
Totalt for hele systemet	$3,79 \cdot 10^6$	100

Terrestrisk toksisitet (TETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,03	0,10
Produksjon av bil:	16,7	48,5
Bilkjøring:	17,2	50,0
Resterende bidrag:	0,48	1,40
Totalt for hele systemet	34,4	100

B2.2 Hydrogensystemet

Ozonedbrytning (ODP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. KFK-11 ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	~ 0	0,10
Produksjon av bil:	0,0068	82,2
Bilkjøring:	0,0014	17,2
Resterende bidrag:	~ 0	0,50
Totalt for hele systemet	0,0083	100

Human toksisitet (HTP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	107	2,10
Produksjon av bil:	4,50·10³	88,1
Bilkjøring:	494	9,66
Resterende bidrag:	7,15	0,14
Totalt for hele systemet	5,11·10³	100

Akvatisk ferskvannstoksisitet (FAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	1,39	0,51
Produksjon av bil:	222	81,3
Bilkjøring:	49,1	18,0
Resterende bidrag:	0,52	0,19
Totalt for hele systemet	273	100

Akvatisk toksisitet på marint miljø (MAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	1,78·10⁴	0,43
Produksjon av bil:	3,82·10⁶	92,2
Bilkjøring:	3,02·10⁵	7,29
Resterende bidrag:	3,31·10³	0,08
Totalt for hele systemet	4,14·10⁶	100

Terrestrisk toksisitet (TETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,21	0,59
Produksjon av bil:	19,9	57,0
Bilkjøring:	14,8	42,3
Resterende bidrag:	0,04	0,11
Totalt for hele systemet	34,9	100

B2.3 Metanolsystemet

Ozonedbrytning (ODP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. KFK-11 ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	~ 0	~ 0
Produksjon av bil:	0,0063	75,2
Bilkjøring:	0,0015	17,3
Resterende bidrag:	0,0006	7,50
Totalt for hele systemet	0,0084	100

Human toksisitet (HTP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	18,8	0,41
Produksjon av bil:	$3,85 \cdot 10^3$	83,9
Bilkjøring:	496	10,8
Resterende bidrag:	243	5,30
Totalt for hele systemet	$4,59 \cdot 10^3$	100

Akvatisk ferskvannstoksisitet (FAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,72	0,26
Produksjon av bil:	202	73,3
Bilkjøring:	49,4	17,9
Resterende bidrag:	23,6	8,54
Totalt for hele systemet	276	100

Akvatisk toksisitet på marint miljø (MAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$1,93 \cdot 10^4$	0,49
Produksjon av bil:	$3,33 \cdot 10^6$	84,7
Bilkjøring:	$3,01 \cdot 10^5$	7,67
Resterende bidrag:	$2,81 \cdot 10^5$	7,14
Totalt for hele systemet	$3,93 \cdot 10^6$	100

Terrestrisk toksisitet (TETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,12	0,36
Produksjon av bil:	17,5	51,6
Bilkjøring:	14,7	43,5
Resterende bidrag:	1,54	4,54
Totalt for hele systemet	33,9	100

B2.4 Bensinsystemet

Ozonedbrytning (ODP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. KFK-11 ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	0,0165	67,2
Produksjon av bil:	0,0062	25,1
Bilkjøring:	0,0015	5,94
Resterende bidrag:	0,0004	1,76
Totalt for hele systemet	0,0246	100

Human toksisitet (HTP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$3,32 \cdot 10^3$	13,4
Produksjon av bil:	$3,60 \cdot 10^3$	14,5
Bilkjøring:	$2,31 \cdot 10^3$	9,32
Drift fyllestasjon:	$1,54 \cdot 10^4$	62,2
Resterende bidrag:	144	0,58
Totalt for hele systemet	$2,48 \cdot 10^4$	100

Akvatisk ferskvannstoksisitet (FAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	558	70,0
Produksjon av bil:	166	20,8
Bilkjøring:	52,0	6,53
Resterende bidrag:	21,3	2,67
Totalt for hele systemet	797	100

Akvatisk toksisitet på marint miljø (MAETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzen ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	$1,56 \cdot 10^6$	30,6
Produksjon av bil:	$3,05 \cdot 10^6$	59,6
Bilkjøring:	$3,08 \cdot 10^5$	6,03
Resterende bidrag:	$1,93 \cdot 10^5$	3,77
Totalt for hele systemet	$5,11 \cdot 10^6$	100

Terrestrisk toksisitet (TETP):

<i>Bidragstyper</i>	<i>Andel i kg. 1,4-diklorobenzon ekvivalenter</i>	<i>Andel i prosent av totalen</i>
Produksjon av drivstoff:	8,86	20,8
Produksjon av bil:	15,2	35,7
Bilkjøring:	17,4	40,9
Resterende bidrag:	1,11	2,60
Totalt for hele systemet	42,6	100

B3 DIVERSE BEREGNINGER

I dette bilaget presenteres en rekke beregninger som har blitt utført under arbeidet med oppgaven.

B3.1 Forbruk av drivstoff

Tabellen under viser forbruk av drivstoff pr. km (Röder, 2001) og pr. funksjonell enhet.

Drivstoff	Enhet	Pr. km	Pr. funksjonell enhet
LNG	TJ	$1,31 \cdot 10^{-6}$	0,1965
Hydrogen	TJ	$7,32 \cdot 10^{-7}$	0,198
Metanol	kg	$4,93 \cdot 10^{-2}$	7395
Bensin	kg	$3,46 \cdot 10^{-2}$	5190

B3.2 Karbonregnskap for metanolanlegget

I Tjeldbergoddens årsrapport for 2001 er det oppført at anlegget har en råvarestrøm på 469.800 tonn naturgass. I analysen har det blitt antatt at denne strømmen inkluderer de 93.600 tonn naturgass som går til energiproduksjon. Bakgrunnen for denne antagelsen er vist under.

I Halvorsen (2001) er forholdet mellom mol C og mol gass i naturgass gitt å være 1,138.

Mol C i inngående strøm:

$$(469.800.000 \text{ kg} / 18,297 \text{ kg/kmol}) * 1,138 = \underline{3,54 \cdot 10^7 \text{ kmol}}$$

Mol C i utgående strøm:

$$\begin{aligned} \text{Metanol:} & \quad 866.600.000 \text{ kg} / 32 \text{ kg/kmol} = 2,71 \cdot 10^7 \text{ kmol} \\ \text{CO}_2: & \quad 342.900.000 \text{ kg} / 44 \text{ kg/kmol} = 7,79 \cdot 10^6 \text{ kmol} \\ \text{LNG:} & \quad (11.340.000 \text{ kg} / 18,297 \text{ kg/kmol}) * 1,138 = 7,05 \cdot 10^5 \text{ kmol} \\ \text{Metan:} & \quad 11.000 \text{ kg} / 16 \text{ kg/kmol} = 687 \text{ kmol} \\ \text{Totalt:} & \quad \underline{3,55 \cdot 10^7 \text{ kmol}} \end{aligned}$$