

MILJØRIKTIG MATERIALVALG I DRIKKEVANNSNETTET
– livsløpsanalyser av fire utvalgte rørmaterialer

SELECTING MATERIALS FOR POTABLE WATER PIPES
FROM AN ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE
– life cycle assessments of four chosen pipe materials

KATRINE STEEN FJELDHUS

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITTELSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2012



FORORD

Denne masteroppgaven er utformet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, og markerer avslutningen på min mastergrad i Vann- og miljøteknikk. Masteroppgaven har et arbeidsomfang på 30 studiepoeng, og er skrevet i 2012 parallelt med gjennomføring av avsluttende emner.

Sweco Norge har initiert oppgaven og bistått med to faglige veiledere. Oppgavens tema er livsløpsvurderinger av rørmaterialer med hensyn på miljø og bærekraft. Temaet er tverrfaglig, og har gitt meg god innsikt i LCA-metodikken og tekniske aspekter vedrørende ulike rørmaterialer.

Jeg vil gjerne takke min veileder ved UMB, Jarle Tommy Bjerkholt, for hyggelige mastermøter og god oppfølging gjennom arbeidet med oppgaven. Takk til min LCA-kyndige veileder i Sweco, Ola Moa Gausen, for mange nyttige innspill og hjelp med programvare. Den største takken rettes til min hovedveileder i Sweco, Øystein Rapp, som har bistått med gode råd og faglig støtte gjennom året som har gått.

Gjennomføringen av denne oppgaven har vært helt avhengig av samarbeid med rørprodusenter og rørleverandører, og jeg ønsker å takke alle jeg har vært i kontakt med i forbindelse med informasjonsinnhenting. Jeg er takknemlig for den velvilje og serviceinnstilling jeg er blitt møtt med.

Jeg vil også takke alle studievenner på Fløy V for hyggelig selskap og god stemning på lesesalen. Sist, men ikke minst, takk til Andreas for all støtte.

Ås, 10. desember 2012



Katrine Steen Fjeldhus

SAMMENDRAG

I Norge i dag er det hovedsakelig fire rørmaterialer som benyttes ved nylegging av vannledningsnett: duktilt støpejern, glassfiberarmert polyester (GRP), polyetylen (PE) og polyvinylklorid (PVC). I denne komparative studien er disse fire rørmaterialene vurdert ved hjelp av livsløpsbetraktninger.

Hensikten med en livsløpsanalyse er å vurdere omfanget og fordelingen av de totale miljøpåvirkninger assosiert med et produkt eller tjeneste, i dette tilfellet drikkevannsrør. Tidligere relevante studier har ikke gitt samsvarende resultater med hensyn på hvilke rørmaterialer som kommer godt eller dårlig ut, men flere konkluderer med at hovedvekten av miljøpåvirkninger kommer fra prosesser tilknyttet utvinning og foredling av råstoffene som benyttes i produksjonen av rør.

Livsløpsvurderingene i denne studien er utført med dataverktøyet SimaPro. Livsløpene er delt inn i fasene råstoff, energiforbruk og transport, og resultatene viser hvordan ulike miljøbelastninger fordeler seg mellom disse fasene. Det viser seg at livsløpsfasen råstoff dominerer påvirkningene fra plastbaserte rørmaterialer, mens bidraget fra duktilt støpejern er nokså jevnt fordelt mellom alle tre livsløpsfaser.

For miljøindikatoren klimaendringer (GWP), som ofte benyttes som en relevant miljøparameter, er det PVC som står for det desidert største utslippet av CO₂-ekvivalenter, etterfulgt av PE. Utslippet fra duktilt støpejern er omtrent halvparten av det fra PVC, mens andelen fra GRP utgjør en drøy fjerdedel.

To ulike presentasjonsmetoder i SimaPro er benyttet for å beregne totalpåvirkningene fra effektkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk assosiert med hvert av rørmaterialene. Begge metoder finner at PE og PVC står for de største miljøpåvirkningene, mens GRP med god margin bidrar med minst.

Sensitivitetsanalyser viser at type elektrisitet som benyttes kan være avgjørende for analyseresultatet, mens endringer i transportfasen må være betydelige hvis det skal være utslagsgivende. Resultatene endres når rørdiameteren økes, som følge av at plastrørene PE og PVC øker veggtykkelse og vekt i større grad enn de øvrige rørmaterialene.

Den største usikkerheten i studien knytter seg til analysenes inngangsdata, som foreligger i forskjellig form avhengig av kildene som er benyttet. Dette hemmer grunnlaget for sammenligning. Dog er de fleste resultatene tydelige slik at feilmarginen må være vesentlig skal resultatene endres nevneverdig.

ABSTRACT

In Norway today there are mainly four pipe materials used in the installation of new potable water pipeline networks: ductile iron, fibreglass reinforced polyester (GRP), polyethylene (PE) and polyvinyl chloride (PVC). These pipe materials are compared in this study using life cycle considerations.

The purpose of a life cycle assessment is to consider the scope and distribution of environmental loads associated with a product or service, in this case potable water pipes. Previously studies have not provided consistent results with respect to which pipe materials are better or worse than the others. However several studies conclude that the majority of the environmental impacts come from processes associated with extraction and processing of raw materials used in the manufacture of pipes.

The life cycle analyses are performed using the software SimaPro. The life cycles are divided into the phases raw materials, energy and transportation. The results show how different environmental stresses are distributed between these phases. It turns out the life cycle phase raw materials dominates the impact of plastic based pipe materials, while the contribution of environmental load associated with ductile iron is fairly evenly distributed between all three life cycle phases.

The environmental indicator climate change (GWP) is often used as a relevant environmental parameter, and in this study it is PVC that accounts for the largest amount of CO₂-equivalents, whereas the share from GRP is the smallest, about a fourth of that of PVC.

Two different methods in SimaPro are used to determine the overall load from the environmental impact categories human health, ecosystem and resources associated with each of the pipe materials. Both methods find that PE and PVC are the biggest contributors, while GRP is the material that contributes the least.

Sensitivity analysis show that the type of electricity mix used may be crucial for the analysis results, while changes in the transport phase must be substantial to be decisive. The results changes when the pipe diameter is increased, due to the fact that plastic pipes increase wall thickness and weight to a greater extent than the other pipe materials.

The largest uncertainty in the study relates to the analysis input data, which varies depending on the sources used, and inhibits the basis for comparison. However, most of the results would need a substantial margin of error to change.

INNHOLDSFORTEGNELSE

LISTE OVER FIGURER	XI
LISTE OVER TABELLER	XIII
FORKORTELSER	XV
1 INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 MÅLFORMULERING	1
1.3 OPPGAVENS OPPBYGGING	3
2 LITTERATURSTUDIEN	5
2.1 BÆREKRAFT	5
2.2 LIVSLØPSVURDERINGER	6
3 TEORI	11
3.1 LIVSLØPSANALYSER – LCA	11
DEFINISJON AV MÅL OG OMFANG	11
LIVSLØPSREGNSKAP	12
EFFEKTVURDERING	14
TOLKNING	14
3.2 VANNLEDNINGSNETTET I NORGE	15
SPESIFIKASJONER	16
3.3 RØRMATERIALER	17
DUKTILT STØPEJERN	17
GLASSFIBERARMERT POLYESTER – GRP	20
POLYETYLEN – PE	22
POLYVINYLKLORID – PVC	23
4 METODE	25
4.1 KARTLEGGING	25
BEHOV FOR DATA	25
KILDER	25
4.2 ANALYSENE OPPBYGGING	26
FUNKSJONELL ENHET	26
OMFANG	27
SYSTEMGRENSER	27
ENERGIMIKS	29

VEKTING VED OMREGNING	30
4.3 ANALYSEVERKTØY	30
SIMAPRO	30
ECOINVENT	30
4.4 PRESENTASJON AV RESULTATER	31
RECIPE	31
ECO-INDICATOR 99	35
5 LIVSLØPSBESKRIVELSER	37
5.1 DUKTILT STØPEJERN	37
DN 200	38
DN 600	38
ANALYSEN	38
5.2 GLASSFIBERARMERT POLYESTER (GRP)	40
DN 200	40
DN 600	40
ANALYSEN	40
5.3 POLYETYLEN (PE)	41
DN 250	42
DN 710	42
ANALYSEN	42
5.4 POLYVINYLKLORID (PVC)	43
DN 225	43
ANALYSEN	43
6 RESULTATER	45
6.1 INDIVIDUELLE RESULTATER	45
DUKTILT STØPEJERN	46
GLASSFIBERARMERT POLYESTER (GRP)	47
POLYETYLEN (PE)	48
POLYVINYLKLORID (PVC)	49
6.2 SAMMENSTILTE RESULTATER	50
RECIPE MIDPOINT	51
RECIPE ENDPOINT	54
SINGLE SCORE	57
6.3 SENSITIVITETSANALYSER	58
FORDELING MELLOM SKRAPJERN OG RÅJERN I DUKTILE STØPEJERNSRØR	58
LIVSLØPSFASEN ENERGI	59

LIVSLØPSFASEN TRANSPORT	61
ØKTE RØRDIAMETRE	62
7 DISKUSJON	65
7.1 INDIVIDUELLE RESULTATER	65
7.2 SAMMENSTILTE RESULTATER	66
KLIMAENDRINGER	66
MINERALFORBRUK	68
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	69
RECIPE ENDPOINT	69
SINGLE SCORE	69
KORT OPPSUMMERT	70
7.3 SENSITIVITETSANALYSER	70
FORDELING MELLOM SKRAPJERN OG RÅJERN I DUKTILE STØPEJERNSRØR	70
LIVSLØPSFASEN ENERGI	71
LIVSLØPSFASEN TRANSPORT	71
ØKTE RØRDIMENSJONER	72
7.4 USIKKERHET	74
INNGANGSDATA	74
KILDER	74
7.5 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	75
8 KONKLUSJON	77
9 LITTERATUR	79
VEDLEGG	
A KONTAKTPERSONER	
B SPØRSMÅL TIL PRODUSENTER OG LEVERANDØRER	
C TRANSPORTDATA	

LISTE OVER FIGURER

FIGUR 3.1 – DE FIRE TRINNENE I EN LIVSLØPSANALYSE (FRITT ETTER BAUMANN & TILLMANN 2009)	12
FIGUR 3.2 – SYSTEMGRENSENER I EN LIVSLØPSVURDERING (ETTER BAUMANN&TILLMANN 2009)	13
FIGUR 3.3 – RØRMATERIALER I NORSK VANNLEDNINGSNETT PER 2008 (ETTER MYRSTAD ET AL. 2011)	15
FIGUR 3.4 – ANTATT FORDELING AV RØRMATERIALER VED NYLEGGING (ETTER MYRSTAD ET AL. 2011)	16
FIGUR 3.5 – ET STØPEJERNSRØR TAR FORM (DUKTUS.COM 2012)	19
FIGUR 3.6 – OPPBYGGING AV ET GRP-RØR (FLOWTITE NORWAY)	21
FIGUR 4.1 – EN FORENKLET FREMSTILLING AV RØRENE LIVSLØP	27
FIGUR 4.2 – OVERSIKT OVER ReCIPes EFFEKTKLASSIFISERINGS-SYSTEM (ETTER GOEDKOOP ET AL. 2012)	31
FIGUR 4.3 – KLIMAENDRINGER I ReCIPes MILJØKATEGORISERINGSSYSTEM (GOEDKOOP ET AL. 2012)	33
FIGUR 4.4 – FORBRUK FOSSILE BRENSLER I ReCIPes KATEGORISERINGSSYSTEM (GOEDKOOP ET AL. 2012)	34
FIGUR 4.5 – MINERALFORBRUK I ReCIPes MILJØKATEGORISERINGSSYSTEM (GOEDKOOP ET AL. 2012)	34
FIGUR 4.6 – VEKTING AV MILJØINDIKATORER I ECO-INDICATOR 99	35
FIGUR 5.1 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE DUKTILE STØPEJERNSRØRENE	39
FIGUR 5.2 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE GRP-RØRENE	41
FIGUR 5.3 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE PE-RØRENE	43
FIGUR 5.4 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DET ANALYSERTE PVC-RØRET	44
FIGUR 6.1 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENE PÅVIRKNING, MIDPOINT – DUKTILT STØPEJERN	46
FIGUR 6.2 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENE PÅVIRKNING, MIDPOINT – GRP	47
FIGUR 6.3 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENE PÅVIRKNING, MIDPOINT – PE	48
FIGUR 6.4 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENE PÅVIRKNING, MIDPOINT – PVC	49
FIGUR 6.5 OG 6.6 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRING	51
FIGUR 6.7 OG 6.8 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ MILJØINDIKATOREN MINERALFORBRUK	52
FIGUR 6.9 OG 6.10 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ FORBRUK FOSSILT BRENSL	53
FIGUR 6.11 OG 6.12 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN MENNESKELIG HELSE	54
FIGUR 6.13 OG 6.14 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN YTRE MILJØ	55
FIGUR 6.15 OG 6.16 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN RESSURSFORBRUK	56
FIGUR 6.17 OG 6.18 – RØRMATERIALENE SINGLE SCORE-VERDIER I ReCIPe OG ECO-INDICATOR 99	57
FIGUR 6.19 OG 6.20 – BETYDNINGEN AV ULIKE ENERGIMIKSER PÅ MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRINGER	60
FIGUR 6.21 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING TIL KLIMAENDRINGER MED OG UTEN TRANSPORTFASEN	61
FIGUR 6.22 – RØRENE PÅVIRKNING TIL KLIMAENDRINGER	62
FIGUR 6.23- RØRENE VEGGTYKKELSE SOM FUNKSJON AV INDRE DIAMETER	63
FIGUR 7.1 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING TIL MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRINGER	66

LISTE OVER TABELLER

TABELL 1.1 – RØRTYPENE SOM ANALYSERES I DENNE STUDIEN	2
TABELL 2.1 – RESULTATER FRA LIVSLØPSANALYSER AV ULIKE RØRMATERIALER	10
TABELL 3.1 – ET UTVALG AV PÅVIRKNINGER ASSOSIERT MED ET PRODUKT (BAUMANN & TILLMANN 2009)	14
TABELL 3.2 – POSITIVE OG NEGATIVE EGENSKAPER VED ULIKE RØRTYPER (NPG 2011, ØDEGAARD 2012)	24
TABELL 4.1 – OVERSIKT OVER KILDER BENYTTET FOR DE ULIKE RØRMATERIALENE LIVSLØPSANALYSER	25
TABELL 4.2 – ECO-INDICATORS VEKTING AV EFFEKTKATEGORIENE I HIERARKISK PERSPEKTIV	35
TABELL 5.1 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET DUKTILT STØPEJERNSRØR	38
TABELL 5.2 – FORBRUK AV ELEKTRISITET OG GASS I STÅL- OG JERNINDUSTRIEN (ETTER US EIA 2010)	39
TABELL 5.3 – FORDELING AV RÅSTOFF I GRP-RØR	40
TABELL 5.4 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET PE-RØR	42
TABELL 5.5 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET PVC-RØR	44
TABELL 6.1 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – DUKTILT STØPEJERN	46
TABELL 6.2 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – GRP	47
TABELL 6.3 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – PE	48
TABELL 6.4 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – PVC	49
TABELL 6.5 – DEN SAMLEDE PÅVIRKNINGEN FRA RÅJERN OG SKRAPJERN, VED TO ULIKE FORDELINGER	58
TABELL 6.6 – FORDELINGEN AV ENERGIKILDER I ULIKE REGIONERS KRAFTPRODUKSJON (ITTEN ET AL. 2012)	59
TABELL 6.7 – OVERSIKT OVER HVORDAN RØRMATERIALENE VEKT PÅVIRKER TRANSPORTFASEN	62
TABELL 7.1 – RØRMATERIALENE BIDRAG TIL KLIMAENDRINGER, FUNN FRA ULIKE STUDIER	67
TABELL 7.2 – EN OPPSUMMERING AV RØRMATERIALENE FORDELING I ALLE VURDERTE PARAMETRE	70
TABELL 7.3 – RØRMATERIALENE VEKTØKNING VED DIMENSJONSØKNING	72

FORKORTELSER

DALY	=	Disability adjusted life years
D _i	=	Indre diameter
DN	=	Nominell diameter
E	=	Egalitært perspektiv
EPD	=	Environmental Product Declaration
GRP	=	Glass fibre reinforced polyester
GWP	=	Global warming potensial
H	=	Hierarkisk perspektiv
HDPE	=	High density polyethylene
I	=	Individualistisk perspektiv
ISO	=	International Organization for Standardization
LCA	=	Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis
LCI	=	Life Cycle Inventory
LPG	=	Liquefied petroleum gas
MDPE	=	Medium density polyethylene
PE	=	Polyetylen
PN	=	Nominelt trykk
PVC	=	Polyvinylklorid
SDR	=	Standard dimension ratio
SN	=	Nominell stivhet
VA	=	Vann og avløp
YLD	=	Years lived with disability
YLL	=	Years of life lost

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Vannforsyning i Norge er regulert gjennom Drikkevannsforskriften, som stiller krav til vannets hygieniske sikkerhet, kvalitet og kvantitet. Hovedfokuset ved prosjektering av distribusjonsnett for drikkevann ligger derfor på forbrukerens rett til helsemessig betryggende vann i tilstrekkelige mengder, samt økonomiske aspekter. Bærekraft som kriterium anvendes ikke (Helse- og omsorgsdepartementet 2001; Sægrov 2010).

Ledningsnett for distribusjon av drikkevann og oppsamling av spillvann og overvann utgjør nærmere 90% av Norges totale vann- og avløpstekniske investeringer. Rør, rørdeler og kummer representerer dermed størsteparten av verdiene i VA-teknisk sektor. Norges kommunale vannledningsnett strekker seg ca 49 000km (Myrstad et al. 2011). Det å inkludere bærekraft og miljømessige betraktninger ved nylegging og fornyelse av transportnettet kan med andre ord tenkes å utgjøre en vesentlig forskjell for miljøet.

Sweco Norge er et av landets ledende rådgivende selskaper innen tverrfaglig samfunnsplanlegging. Sweco har et overordnet mål om å bidra aktivt til en bærekraftig utvikling av samfunnet. Det er derfor fra deres side ønskelig å se nærmere på muligheten for å velge rørmaterialer ut fra et bærekraftig perspektiv, hvilket er lite undersøkt per idag.

1.2 MÅLFORMULERING

Ut fra betraktningene ovenfor er følgende problemstilling formulert:

Kan det være aktuelt å inkludere bærekraft som vurderingskriterie ved valg av rørmaterialer til bruk i drikkevannsnettet?

På bakgrunn av dette er hensikten med studien definert med utgangspunkt i tre hovedpunkter:

Studien søker å besvare problemstillingen gjennom å

- vurdere den miljømessige bærekraftigheten til ulike rørmaterialer ved hjelp av livsløpsbetraktninger
- sammenligne rørene med hensyn på utvalgte miljøeffekter
- undersøke hvilke aspekter ved rørenes livsløp som står for de mest vesentlige miljøpåvirkningene

Rørmaterialene som undersøkes i studien er duktilt støpejern, glassfiberarmert polyester (GRP), polyetylen (PE) og polyvinylklorid (PVC). Materialene er valgt ut fra markedsandel i Norge, og disse fire står for mer enn 80% av det kommunale vannledningsnettets løpemeter. Ved nylegging av drikkevannsrør i dag utgjør disse rørmaterialene ca 98% av det som totalt anlegges (Myrstad et al. 2011).

Livsløpsanalysene tar for seg to rørdimensjoner; indre diameter (D_i) 200mm og 600mm. Det er valgt å se på to ulike dimensjoner for å undersøke om miljøpåvirkningsbildet endres nevneverdig ved oppjustering av rørenes diameter.

Livsløpsvurderingene utføres med analyseverktøyet SimaPro. Valgte rørtyper for studien er presentert i tabell 1.1.

TABELL 1.1 – RØRTYPENE SOM ANALYSERES I DENNE STUDIEN

LEDNINGSTYPE	DN	D_i	SPESIFIKASJONER	LEVERANDØRER (UTVALG)
Duktilt støpejern	200mm	201mm	C 64* (tilsvarende K9)	PAM Duktus
GRP	200mm	208.9mm	PN 16**	APS (Flowtite)
PE100	250mm	204.6mm	SDR 11***	Pipelife Hallingplast Wavin
PVC	225mm	203.4mm	SDR 21	Pipelife Wavin
Duktilt støpejern	600mm	605mm	C 40 (tilsvarende K9)	PAM Duktus
GRP	600mm	604mm	PN 16	APS (Flowtite)
PE100	710mm	581mm	SDR 11	Pipelife Hallingplast Wavin

*C = trykkklasse, angir maksimalt driftstrykk [bar]

**PN = nominelt trykk [bar]

***SDR = standard dimensjonsforhold [ytre diameter/veggtykkelse]

1.3 OPPGAVENS OPPBYGGING

I kapittel 2 presenteres litteraturstudien som danner bakgrunnen for denne studiens analyser. Her belyses temaet bærekraft, og funn fra relevante livsløpsstudier presenteres. Deretter følger teorikapitlet med en innføring i LCA-metodikken, fakta om vannledningsnett i Norge, og informasjon om de fire vurderte rørmaterialenes egenskaper og produksjonsprosesser.

I fjerde kapittel beskrives metodene benyttet i forbindelse med denne studiens analyser; informasjonsinnhenting, oppbygging og omfang av analysene, og verktøy for gjennomføring. En beskrivelse av miljøpåvirkningene det analyseres for blir også gitt her. I påfølgende kapittel blir livsløpene som ligger til grunn for hver av analysene presentert.

Etter dette kommer resultatkapitlet med presentasjon av utvalgte funn fra analysene. Resultatene er delt inn i individuelle og sammenstilte resultater.

I kapittel 7 følger diskusjon av resultatene og forslag til videre arbeid, før oppgaven avsluttes med en kort konklusjon i kapittel 8.

2 LITTERATURSTUDIEN

2.1 BÆREKRAFT

Global befolkningsvekst og økt levestandard resulterer i overforbruk av jordens ressurser, samt økt forurensning av jord, luft og vann. Grunnet bekymring for negative miljøeffekter, urettferdig ressursforbruk og fremtidige generasjoners skjebne, rettet FNs Verdenskommisjon for miljø og utvikling, bedre kjent som Brundtlandkommisjonen, i 1987 oppmerksomheten mot bærekraftig utvikling. Begrepet innebærer at næringsaktiviteter i minst mulig grad skal medføre negative konsekvenser for miljø og samfunn, av hensyn til nåværende og kommende generasjoner (UNESCO 1999).

FN vedtok i år 2000 åtte tusenårsmål for global bekjempelse av fattigdom. Tusenårsmål 7 er å *sikre miljømessig bærekraftig utvikling*, blant annet gjennom om å integrere prinsippet om bærekraftig utvikling i alle lands politiske strategier, og å redusere tap av naturressurser. FNs 192 medlemsland har signert Tusenårserklæringen, og alle landene har ansvar for at målene nås. CO₂-utslipp og bevarte landområder er blant indikatorene som vurderes for hvert av landene med hensyn på måloppnåelse (FN 2012b).

Miljømessig bærekraft innebærer å ta beslutninger og iverksette handlinger som har til hensikt å beskytte naturen. For bedrifter handler begrepet om å ta ansvarlige valg som vil redusere den negative innvirkningen på miljøet, både ved å redusere energiforbruk og avfall, og ved å utvikle prosesser som bidrar til at bedriften blir mer bærekraftig i fremtiden. Fokuset skal ligge på et langsiktig perspektiv fremfor kortsiktig gevinst, og ved produktutvikling skal miljøpåvirkninger vurderes for hele produktets livsløp (NSW 2012).

I Norge er bærekraftig utvikling satt på dagsordenen i både offentlig og privat sektor, og organisasjoner må tilrettelegge sine virksomheter slik at negative miljøeffekter unngås i størst mulig grad. Sett i lys av dette er miljø og bærekraft valgt som satsningsområder i Standard Norge de kommende årene. ISO-standardene 14040 og 14044 gir oversikt over henholdsvis anvendelse og utarbeidelse av livsløpsvurderinger for et produkt eller system (Standard Norge 2008).

Urbane vann- og avløpssystemer står foran utfordringer vedrørende håndtering av økt vann- og ressursforbruk, sanering av aldrende infrastruktur, og nylegging av distribusjonssystemer ved byutvikling. Et bærekraftig vann- og avløpssystem bør tjene sitt formål samtidig som menneskers helse og miljø beskyttes, og ikke-fornybare ressurser forbrukes best mulig i et langsiktig perspektiv (ASCE 1998). Det er et sterkt

behov for å utvikle og implementere indikatorer som tillater kvantifisering og målbarhet av optimaliseringsparametre, både for eksisterende VA-systemer og urbane samfunn i sin helhet (Larsen & Gujer 1997).

Flere studier har påpekt det faktum at håndtering av vann og avløp er viktig for en bys totale bærekraftighet (Hellstrom D. & Hjerpe 2004; UNESCO 1999). Overordnede strategier for forbedring av eksisterende infrastruktur og utvikling av nye systemer bør inkludere miljømessige aspekter på et overordnet nivå, og livsløpsanalyse (LCA) kan være et viktig hjelpemiddel når beslutninger skal fattes (Lundin 2002).

2.2 LIVSLØPSVURDERINGER

Livsløpsanalyse som metode er ofte benyttet for å vurdere et systems bærekraftighet, og samtidig kartlegge hvilke deler av et systems livssyklus som bidrar til de største miljøutslippene (Windsperger et al. 1999). I forbindelse med vann og avløp er det mange aspekter som kan vurderes, og tidligere studier har tatt for seg ulike deler av VA-teknikken.

Noen studier har sett på alle ledd i en bys vannforsyning og avløpshåndtering, herunder vannbehandling, distribusjon og avløpsrensing (Lundie et al. 2004; Lundin et al. 2000; Qi & Chang 2012). Ofte er det behandlingsmetodene som er hovedfokuset i slike analyser (Friedrich & Buckley 2002). Andre har tatt for seg drikkevannshåndtering eller avløpshåndtering separat, og sett på systemene helt overordnet i et forsøk på å finne ut hvor potensialet for økt bærekraft er størst (Ashley & Hopkinson 2002; Savic & Walters 1997).

Videre er det utført studier på urbane avløpssystemer, inkludert klimatilpasset overvannshåndtering, med hovedfokus på økonomi (Concrete Pipe Association of Australasia 1996), bærekraft (Lundin et al. 2000) eller systemanalyser med den hensikt å benytte resultatene som beslutningsgrunnlag for senere prosjektering (Piratla et al. 2011). Konklusjonene i de ulike studiene varierer, og det er ingen entydighet med hensyn på anbefalte løsninger, men flere har påpekt at grad av bærekraft i urbane VA-systemer er avgjørende for en bys totale bærekraft (Filion et al. 2004; Lundin 2002; Lundin & Morrison 2002; Penagos 2007; Savic & Walters 1997).

Rørmaterialer

Ulike rørmaterialer i vann- og avløpsledningsnett er analysert med hensyn på bærekraftighet ved flere anledninger (Andersson 1998; Dennison et al. 1999; Venkatesh et al. 2009; Windsperger et al. 1999). Analysene har forskjellige angrepsvinkler, systemgrenser og funksjonell enhet. Det er oftest analyser av

avløpsrør, herunder overvannsrør og spillvannsrør (Andersson 1998; Venkatesh et al. 2009). Flere studier har tatt for seg både vann- og avløpsrør. Rørmaterialene PVC og betong opptrer hyppigst i analysene (Andersson 1998; Windsperger et al. 1999).

Mange studier har vært initiert av rørprodusenter som ønsker å sammenligne sitt produkt med konkurrerende rørtypen på markedet. Tidligere studier har ikke gitt entydige resultater, tvert imot er det varierende hvilke rørmaterialer som kommer godt eller dårlig ut. Det har heller ikke vært store utslag i verken positiv eller negativ retning. Det er påpekt at resultatene er mindre troverdige dersom de går i favør av oppdragsgiver (Windsperger et al. 1999), hvilket har forekommet ved flere anledninger (Andersson 1998; Borealis AG 2008; Concrete Pipeline Systems Association 2001; Howard 2009; Windsperger et al. 1999).

Komparative studier

En britisk studie (Dennison et al. 1999) har sett på to ulike rørmaterialer for vanntransport; duktilt støpejern og polyetylen, og sammenlignet disse med hensyn på miljøpåvirkninger gjennom rørens livsløp, blant annet energiforbruk og potensiell global oppvarming (GWP). Studien har konkludert med at støpejernsrørets beskyttelseslag i sink gir et betydelig miljøbidrag grunnet energibehovet i fremstillingsprosessen av dette, mens det for PE-røret er produksjon av polyetylen som gir den største negative påvirkningen. Videre ble det funnet at hovedvekten av miljøbelastninger for begge rørmaterialer stammer fra prosesser tilknyttet råstoff, og mindre fra rørproduksjon og bruksfase. Dette betyr at de negative miljøpåvirkningene ved et vanddistribusjonssystem kan reduseres betraktelig ved å velge rør som produseres av mindre miljøbelastende råmaterialer (Friedrich et al. 2007). Studien har ikke resultert i noen anbefaling av det ene materialet fremfor det andre.

En annen studie (Recio et al. 2005) har sett på de mest benyttede rørmaterialene for drikkevanns- og spillvannstransport, og tatt for seg energiforbruk og CO₂-utslipp assosiert med alle fasene i rørens livsløp. På drikkevannssiden er det PVC, PE og duktilt støpejern som er analysert. Studien har funnet at hovedvekten av både energiforbruk og CO₂-utslipp knytter seg til rørens bruksfase, definert som 50 års levetid med pumpedrift og normalt vedlikehold. Det nest største bidraget kommer fra foredling av råmaterialene som benyttes i de respektive rørproduksjonsprosessene. Resultatet av analysen er presentert relativt til PVC, som kommer best ut med hensyn på begge parametre. PE er marginalt dårligere hva gjelder både energiforbruk og CO₂-utslipp (henholdsvis 1.4 og 0.4% høyere). Duktilt støpejern kommer dårligst ut med energiforbruk som er 56% høyere, og CO₂-utslipp som er 51% høyere enn referansematerialet PVC, dog gjelder dette støpejern uten noe resirkulert råmateriale.

En nylig publisert studie (Du et al. 2012) har tatt for seg seks ulike materialer som benyttes i vann- og avløpsrør; PVC, HDPE, duktilt støpejern, grått støpejern, betong og armert betong. Rørmaterialene er analysert med hensyn på bidrag til potensiell global oppvarming gjennom de fire livsløpsfasene rørproduksjon, transport, installasjon og bruk. Materialene er også analysert for økende diametre, med den intensjon å se hvordan påvirkningsbildet endres med diameteren. Ved diametre opp til 710mm er det støpejernsrørene som kommer dårligst ut, mens fra 760mm og oppover er det PVC som gir størst bidrag. Betong kommer best ut for alle analyserte rørdiametre. Av de analyserte livsløpsfasene er det produksjonsfasen som dominerer påvirkningen for alle seks rørmaterialer, og transportfasen som er minst betydelig.

To aktuelle studier, en svensk studie utført av CIT Ekologik, Chalmers Industriteknik (Andersson 1998), og en østerriksk studie initiert av The European Plastic Pipe and Fitting Association (Windsperger et al. 1999) har tatt for seg flere bærekraftighetsanalyser av ulike rørmaterialer og sammenlignet disse. Studiene har sett på mange aspekter ved LCA-analyser og hvordan disse belyses i de respektive rapportene. Begge studiene anses som relevante da de har påpekt viktige faktorer ved livsløpsvurderinger, analysemetoder og oppbygging. Et utvalg av disse faktorene presenteres i påfølgende avsnitt, øvrige henvisninger er oppgitt.

Metode

Ved livsløpsvurderinger av flere produkter med den hensikt å sammenligne disse, er det avgjørende at funksjonell enhet velges spesifikt og hensiktsmessig. Dette for at produktene skal sammenlignes så rettferdig som mulig, såfremt de basale krav til produktfunksjon er oppfylt. I studier som har tatt for seg ulike rørmaterialer er funksjonell enhet ofte valgt som 1m, 100m eller 1000m rør av ulik dimensjon og kvalitet (Spirinckx et al. 2011), alternativt er transportkapasitet uttrykt som volum per tidsenhet benyttet (Filion et al. 2004; Herstein & Filion 2010).

Livsløpsanalyser må ha et avgrenset omfang, og valgte systemgrenser avgjør hvilke økologiske påvirkninger som inkluderes i analysen. Disse bør derfor være velbegrunnet. Inkluderes for mye vil det resultere i en urealistisk høy påvirkning, mens for snevre grenser kan medføre at enkelte relevante prosesser utelukkes, og totalpåvirkningen undervurderes. Systemgrensene bør velges ut fra studiens formål, og analysens oppbygging skal tilstrebe å finne alternativer med minst mulig miljøpåvirkning i ett eller flere prosesstrinn uten at eventuelle negative påvirkninger i øvrige deltrinn neglisjeres (Lundin & Morrison 2002). Prinsipielt bør en analyse ta for seg så mye som mulig av material- og energistrømmer både opp- og nedstrøms produksjonen (Penagos 2007). Transport i alle stadier av livsløpet, herunder transport

av råstoff, produkt og kassert avfall, bør inkluderes. Dersom transportetapper utelukkes kan dette medføre en favorisering av produkter med langtransporterte elementer, da disse ofte vil gi et større utslippsbidrag enn elementer som transporteres kortere avstander, dog spiller også type transportmiddel og drivstoff inn.

Videre vil valg av energigrenser og energimiks påvirke resultatet i stor grad. Blant annet vil ekskludering av eksterne energikilder medføre en favorisering av produkter som forbruker ekstern energi, og resultere i et lavere totalutslipp enn det som er reelt. Valg av energimiks kan være helt avgjørende for resultatet av en LCA-analyse, da forskjellene i utslipp fra ulike energikilder ofte er betydelige. Ulike energikilder gir forskjellige utslippsbidrag av blant annet NO_x og SO_x, samt klimagasser som øker potensialet for global oppvarming (Stokes & Horvath 2005).

I mange analyser er anleggsprosessen betraktet som lik for alle rørmaterialer, men dette medfører at faktorer som rørtykkelse og vekt ignoreres, når det i realiteten kan være avgjørende både for valg av leggemetode og andel svinn i form av avkapp på anleggsplass. Videre stilles det ulike krav til grunnarbeider for de forskjellige rørmaterialene. I den svenske studien (Andersson 1998) er det hevdet at anleggsfasen er den mest miljøbelastende fasen hva angår avløpsrør. På bakgrunn av dette kan det synes urimelig å anta at denne prosessen er lik for alle materialer. På den annen side har to nyere studier sett på rørinstallasjon som en egen livsløpsfase og kommet frem til at påvirkningene fra denne fasen, uavhengig av rørmateriale, er forsvinnende liten. Den ene studien (Recio et al. 2005) har valgt å se fullstendig bort fra energiforbruket i denne fasen, da det antas at rør med lik diameter vil ha et tilnærmet likt energibehov. Den andre studien (Du et al. 2012) har beregnet klimaendringer i form av CO₂-ekvivalenter, og funnet at påvirkningene fra installasjonsfasen for duktilt støpejern, PE og PVC i alle tre tilfeller er mindre enn en halv prosent av de totale påvirkningene.

Miljøpåvirkning fra rørenes bruksfase varierer i omfang med faktorer som vedlikeholdsbehov, krav til rengjøring, feil og mangler, samt skader og lekkasjer. Da dette er aspekter som i liten grad er kartlagt med konsise data kan det være hensiktsmessig å kun omtale disse kvalitativt, og eventuelt inkludere dem i en avsluttende sensitivetsanalyse.

Valg av levetid er en viktig faktor som kan være avgjørende for hvilket rørmateriale som kommer best ut. Dette varierer i de ulike studiene, og det kan se ut som at resultatet er nokså proporsjonalt med valgt levealder. Dersom produktets levetid ikke inkluderes, innebærer det at alle materialene sidestilles med hensyn på varighet. Eventuell avfallshåndtering av rør etter endt levetid behandles også ulikt i de

forskjellige studiene, og kan være utslagsgivende for resultatet. Blant annet er det påpekt for flere av tilfellene i den østerrikske studien at plastrør ville kommet bedre ut hadde det blitt benyttet en høyere resirkuleringsprosent for plast.

Skal en studie benyttes som referanse er det avgjørende at resultatene er testbare. For å underbygge en analyses troverdighet bør det være mulig å studere alle ledd i livsløpets oppbygging, og se alle verdier som er benyttet i utregningene. En slik gjennomsiktighet gjør leseren i stand til å vurdere analysens omfang, i hvilken grad obligatoriske trinn er ivaretatt, og hva som eventuelt er ekskludert.

Resultater

Et utvalg av resultater fra de ovennevnte studier er presentert i nedenstående tabell. Det er verdt å merke seg at resultatene er hentet fra livsløpsanalyser av ulikt omfang med forskjellige systemgrenser og datagrunnlag, og tallene kan derfor ikke sammenlignes på tvers av radene. Det vesentlige er differansen mellom verdiene innad i radene, som sier noe om hvordan rørmaterialene har kommet ut i forhold til hverandre i de respektive analysene.

Flere av studiene er relevante for sammenligning med undersøkelsene i denne studien, men ingen kan sammenlignes direkte, da samtlige av de øvrige studiene er mer omfattende med hensyn på livsløpenes omfang.

TABELL 2.1 – RESULTATER FRA LIVSLØPSANALYSER AV ULIKE RØRMATERIALER

FORFATTER	ÅR	MILJØEFFEKT	STØPEJERN	PE	PVC	GRP
Du et al.	2012	GWP [tonn CO ₂ /km rør]	472	218	318	-
Piratla et al.	2011	Energiforbruk [MJ/kg rør]	34.4	74.9	75.2	-
Venkatesh et al.	2009	GWP [kg CO ₂ /kg rør]	3.41	2.33	2.36	-
Recio et al.	2005	Energiforbruk [kWh/3m rør]	1620	1055	1041	-
		GWP [kg CO ₂ /3m rør]	681	454	452	-
KIWA	1992	Energiforbruk [GJ/100m rør]	36	-	6.9	6.9

- = ikke analysert i den aktuelle studien

3 TEORI

3.1 LIVSLØPSANALYSER – LCA

En livsløpsanalyse er en omgripende metode for å vurdere et produkts (eller en tjenestes) miljøpåvirkninger gjennom hele dets livssyklus. Begrepet livssyklus er ment å omfatte alle stadier i et produkts levetid, *fra vugge til grav*. En livsløpsanalyse tar dermed for seg det aktuelle produktets miljøpåvirkning fra råstoffuttak og materialproduksjon via transportetapper, anvendelse og vedlikehold, frem til avfallshåndtering/deponering. Eventuelt kan livsløpsfasene begrenses til å omhandle stadiene *fra vugge til port*, det vil si frem til produktet er ferdig produsert og skal tas i bruk. Dette er ofte aktuelt når det er vanskelig å fremskaffe gode data om et produkts bruksfase. Et siste alternativ er å se på livsløpet *fra vugge til vugge*, dersom produktet ved endt bruksfase resirkuleres og går inn i produksjonen av et nytt produkt, og ikke til avfallsbehandling.

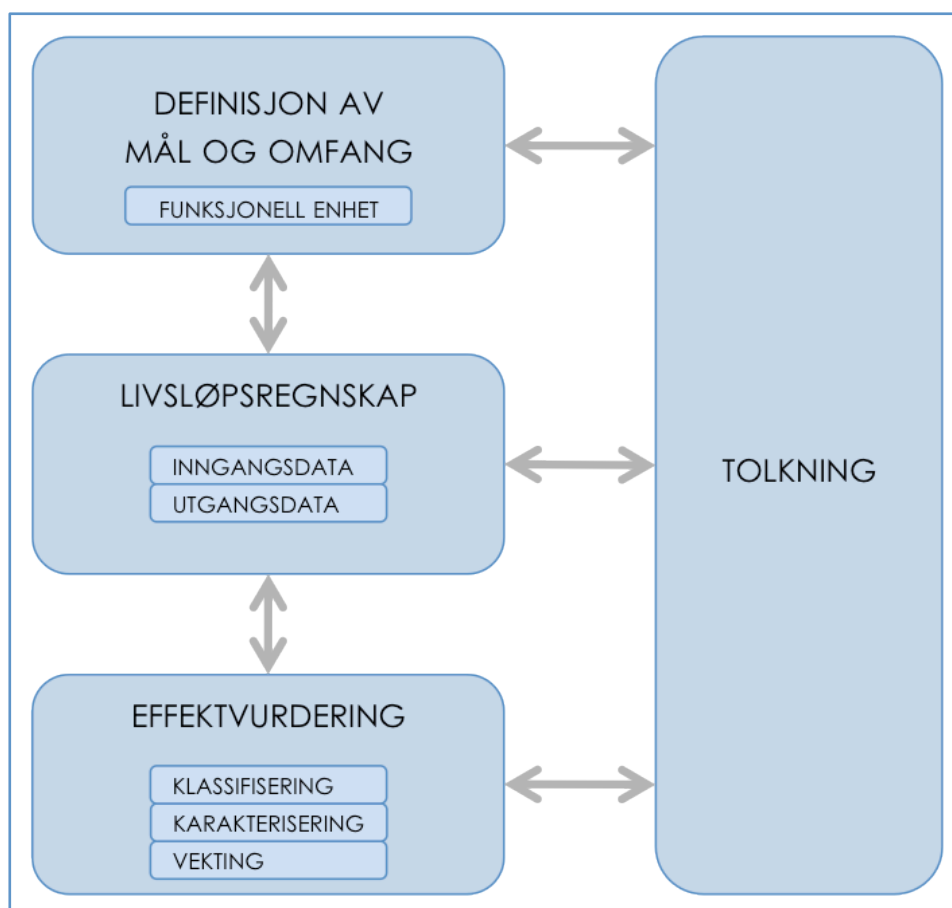
En livsløpsanalyse kan gi en overordnet oversikt over aktuelle miljømessige aspekter ved et produkt, og bidra til å kartlegge hvor i livsløpet de mest betydelige påvirkningene forekommer. Dette gjøres ved å inkludere relevante material- og energistrømmer både inn og ut av systemet, og evaluere disse med hensyn på potensielle miljøpåvirkninger. Ved å benytte denne metoden øker sannsynligheten for at de mest bærekraftige løsningene kan fremmes og videreutvikles (Standard Norge 2006a).

Standarder for miljøstyringssystemer omfattes av ISO 14000-serien, og prosedyrene for LCA finnes i ISO 14040 og 14044, begge fra 2006. For at en analyse skal være i henhold til disse standardene må flere krav være tilfredsstillt. Skal analysen publiseres offentlig er det egne kriterier som må oppfylles, blant annet stilles det krav om verifisering fra en ekstern tredjepart, som kommer inn tidlig i prosessen og sikrer en redelig prosess. LCA-analysens fire hovedtrinn beskrives i detalj i ISO 14044. Disse trinnene er omtalt i hvert sitt avsnitt nedenfor, samt vist i figur 3.1 på neste side.

DEFINISJON AV MÅL OG OMFANG

Her bestemmes formålet med analysen, samt dennes omfang. Det første som avklares er produktsystemets *funksjonelle enhet*, det vil si *en kvantifisert prestasjon for et produktsystem til bruk som en referanseenheter*. Hele analysen bygges rundt den funksjonelle enheten. Denne skal defineres slik at analysen i størst mulig grad bygges omkring produktets *funksjon*, og inkluderer ofte et tidsaspekt og en geografisk eller arealmessig avgrensning. Videre knyttes målet med LCA-analysen opp mot

omfanget av studien, blant annet ved å definere hva som skal inkluderes og hvilke prosesser som kan utelukkes, samt hvilke miljøparametre det skal analyseres for (Baumann & Tillmann 2009). Dersom analysen utføres for å sammenligne ulike produkter med samme funksjon, som i denne studien, kan det ofte være aktuelt å ekskludere faser i livsløpet med likeverdig påvirkningsbilde for de respektive produktene.



FIGUR 3.1 – DE FIRE TRINNENE I EN LIVSLØPSANALYSE (FRITT ETTER BAUMANN & TILLMANN 2009)

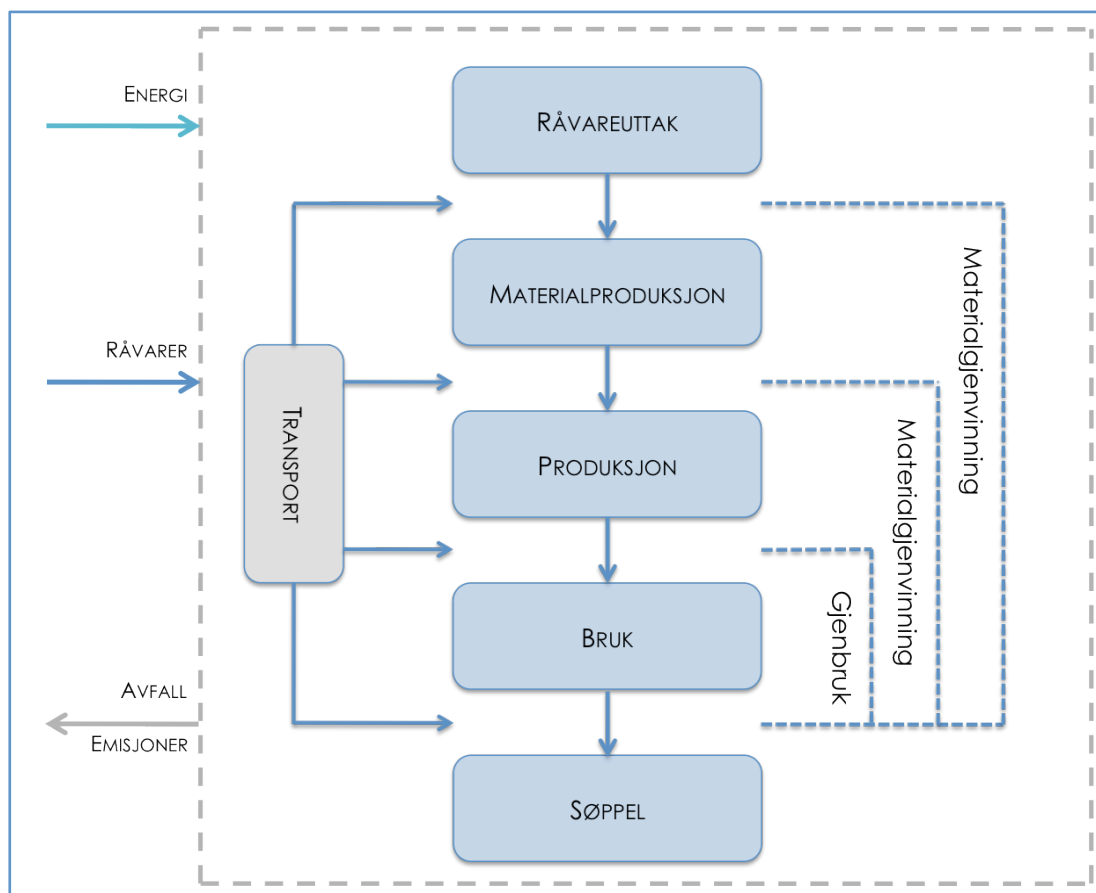
LIVSLØPSREGNSKAP

I livsløpsregnskapet konstrueres en systemmodell i henhold til den definerte funksjonelle enhet. Regnskapet består i å skape et inventar av produktsystemets strømmer fra og til naturen; henholdsvis innstrømming av energi, råstoff og vann, og utslipp til luft, land og vann. Ved hjelp av disse inn- og utgangsdatabene dannes en flytmodell for det tekniske systemet, som gir en oversikt over systemets strømningsbilde. Modellen kan illustreres ved et flytskjema som viser de relevante aktivitetene i produktets levetid med tilhørende underliggende prosesser.

Flytskjemaet kan fungere som et hjelpemiddel for å få oversikt over analysens systemgrenser og hvilke prosesser som skal tas hensyn til (Baumann & Tillmann 2009).

Alle nødvendige inn- og utgangsverdier i tilknytning til aktiviteter innenfor systemgrensene hentes inn før den fullstendige modellen kan konstrueres. Dataene må tilpasses valgte funksjonelle enhet, og resultatet av livsløpsregnskapet gir da informasjon om elementære strømninger til og fra miljøet for alle enhetsprosesser i studien, direkte relatert til denne funksjonelle enheten. Avhengig av systemgrensene kan antallet strømmer komme opp i flere hundre.

Det kan være en utfordring å få tilgang på alle data som kreves for strømmene som går inn og ut av *teknosfæren*, definert som modellering av materiale i form av produksjonsprosesser, produktsystemer og transportprosesser som finnes i samfunnet (Goedkoop et al. 2010). Disse verdiene må ofte hentes fra sekundære, mer generelle kilder, for eksempel nasjonale databaser eller datasett i analyseverktøyer. Her må det utvises forsiktighet for å sikre at valgte sekundærkilde er tilstrekkelig relevant. Figur 3.2 viser hvordan systemgrensene til et produkt kan se ut.



FIGUR 3.2 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV SYSTEMGRENSER I EN LIVSLØPSVURDERING (ETTER BAUMANN&TILLMANN 2009)

EFFEKTURDERING

Formålet med dette trinnet er å sette resultatene fra livsløpsregnskapet i et miljømessig perspektiv, ved å se på de potensielle miljøeffektene ulike parametre kan bidra til. Her evalueres betydningen av utslipp og ressursforbruk forbundet med den funksjonelle enheten. Konsekvensutredningen er tredelt: Først *klassifiseres* alle miljøbelastninger/parametre i henhold til hvilke miljøeffekter de bidrar til. Deretter *karakteriseres* den relative påvirkningen av de ulike miljøbelastningene innenfor hver effektkategori. Til slutt *vektes* resultatene fra effektkategoriene og resulterer i en endimensjonal totalpåvirkning. Dette kan gjøres ved normalisering av målte påvirkninger innad i hver effektkategori, på bakgrunn av formaliserte prosedyrer for vekting. En slik prosedyre kan for eksempel bygge på politiske miljømål. Totalpåvirkningen kan også bestemmes ved hjelp av uttalelser fra et oppnevnt ekspertpanel eller baseres på kvalitativ argumentasjon (Baumann & Tillmann 2009).

Det skilles ofte mellom lokale, regionale og globale påvirkninger, samt tidsperspektivet på påvirkningene. I tabell 3.1 er ulike miljøpåvirkninger listet opp under sine respektive effektkategorier.

TABELL 3.1 – ET UTVALG AV POTENSIELLE PÅVIRKNINGER ASSOSIERT MED ET PRODUKT
(ETTER BAUMANN & TILLMANN 2009)

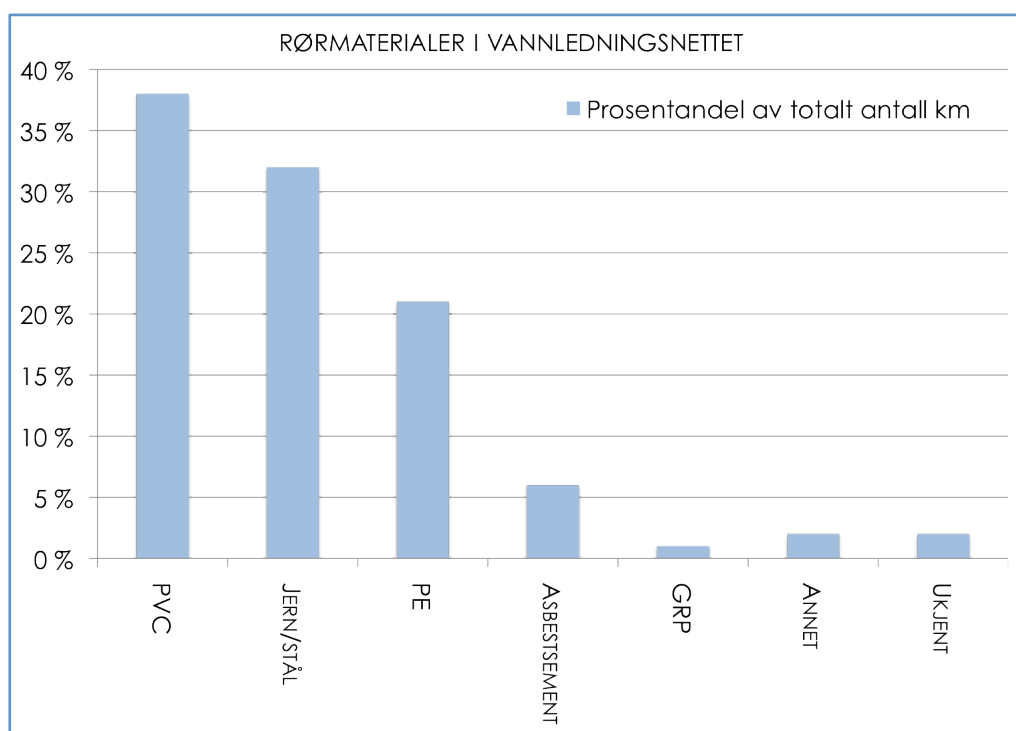
MENNESKELIG HELSE	YTRE MILJØ	RESSURSFORBRUK
Toksiske effekter	Global klimaendring	Energi
Arbeidsmiljø	Ozon-nedbryting	Materialer
Psykosomatiske effekter	Forsuring	Vann
Støy	Eutrofiering	Arealer

TOLKNING

Dette er analysens siste trinn. Her settes funnene fra livsløpsregnskapet og effektvurderingen i sammenheng med de mål og omfang som ble definert i første trinn. Resultatene identifiseres, kvantifiseres, testes og evalueres systematisk. Til slutt summeres resultatene, og danner et sett med konklusjoner og anbefalinger. Gyldighet, usikkerhet og eventuelle svakheter ved analysen bør spesifiseres her (Standard Norge 2006b).

3.2 VANNLEDNINGSNETTET I NORGE

I Norge i dag er det i all hovedsak fire materialtyper som benyttes ved nylegging av rør i drikkevannsnettet: duktilt støpejern, glassfiberarmert herdeplast, polyetylen og polyvinylklorid. Dette fraviker en del fra materialfordelingen i det eksisterende ledningsnett, da enkelte rørmaterialer er forholdsvis nye og øker i omfang, mens andre materialer fases ut (Myrstad et al. 2011). Fordelingen av rørmaterialer i det norske vannledningsnett, basert på informasjon fra 2008, er vist i figur 3.3.

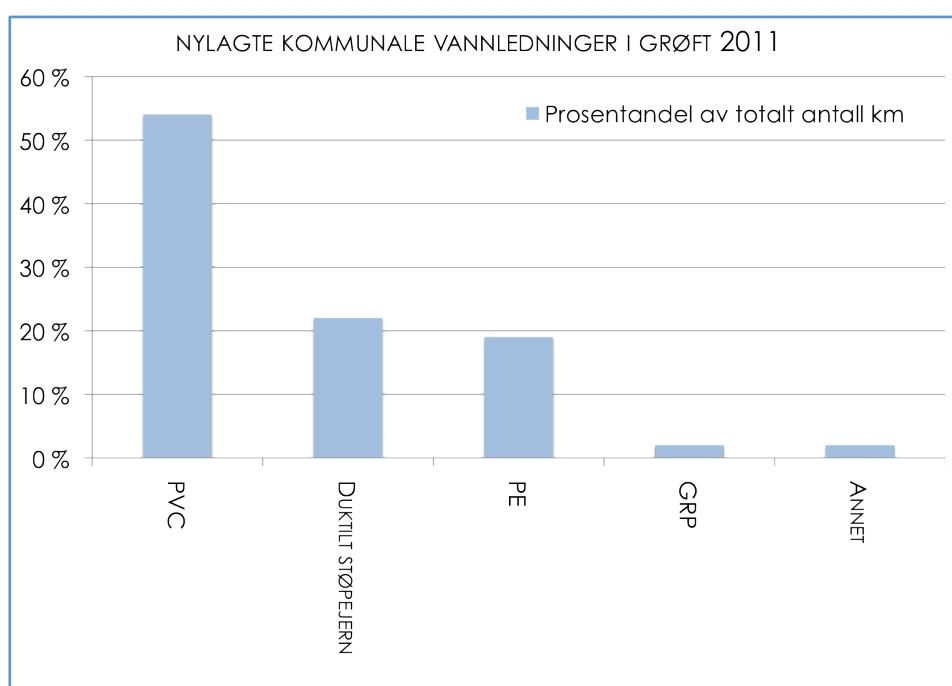


FIGUR 3.3 – FORDELING AV RØRMATERIALER I NORSK VANNLEDNINGSNETT PER 2008 (ETTER MYRSTAD ET AL. 2011)

Stiftelsen VA/Miljøblad er grunnlagt av Norsk kommunalteknisk forening og Norsk Vann med den hensikt å produsere veiledende normer for VA-tekniske løsninger. Miljøbladene er utarbeidet på bakgrunn av krav i europeiske standarder. I Miljøblad nr. 30 (2010) – Valg av rørmateriell er følgende funksjonskrav beskrevet:

“Ledningsmaterialet skal være motstandsdyktig mot alle interne og eksterne påkjenninger av fysisk, kjemisk art innenfor en dimensjonerende levetid på minst 100 år. De mest aktuelle belastninger er innvendig trykk, trykkstøt, hydrauliske krefter i bend, overganger, T - rør, innvendig erosjon, termiske spenninger, frost, utvendig jordtrykk, trafikklast, punktlaster, korrosjon, setninger i grunnen. For vannledninger skal rørmaterialet tilfredsstillende de hygieniske kravene i drikkevannsforskriften.”

Materialer til bruk i ledningsnett skal med andre ord inneha tekniske egenskaper som korrosjonsbestandighet, styrke, fleksibilitet og tåleevne mot ytre last. Disse egenskapene varierer med ulike rørmaterialer, og blant annet grunnforhold og dimensjonerende trafikklast kan være viktige faktorer å ta i betraktning når rørtype skal velges. Dermed kan bestemte tekniske egenskaper ofte være utslagsgivende for materialvalg når nye ledningsstrek anlegges. Videre er vekt og håndterbarhet, anleggsmetode og krav til grunnforhold aspekter som må vurderes. Det er også viktig at rørene er kompatible med eksisterende løsninger, og at det finnes systemer for senere tilkobling av stikkledninger (VA/Miljø-blad 2010). Figur 3.4 viser den antatte fordelingen av rørmaterialer ved nylegging av drikkevannsrør.



FIGUR 3.4 – ANTATT FORDELING AV RØRMATERIALER VED NYLEGGING AV VANNLEDNINGER (ETTER MYRSTAD ET AL. 2011)

En helhetsvurdering basert på nevnte punkter, samt økonomiske betraktninger, tilgjengelighet og leveringssikkerhet legges til grunn ved valg av rørmateriale (Sægrov 2010). Per i dag later det ikke til å være norsk praksis å inkludere miljømessige bærekraftighetsaspekter ved valg av rørmaterialer.

SPESIFIKASJONER

Forhold i og omkring grøften, som dybde, omkringliggende masser, frost og trafikklast kan medføre store belastninger på rørene som ligger der. Duktile støpejernsrør, som er stive, møter disse belastningene ved å oppta spenninger i rørveggen. Fleksible rørmaterialer, herunder plast, samvirker med omkringliggende masser og må derfor fundamenteres i godt komprimerte omfyllingsmasser.

Mekanisk styrke

Ledningsnett for drikkevann er trykksatt, det vil si at vannet distribueres ved hjelp av driftstrykk i nettet, som vanligvis ligger på mellom 1.5 og 8.5 bar i hele leveringssonen. Dette stiller bestemte krav til rørene som benyttes; de må tåle indre trykk så vel som ytre påkjenninger.

Den mekaniske styrken til et trykkrør beror på flere faktorer ved både innvendig og utvendig belastning:

- Evnen til å tåle innvendig trykk
- Evnen til å tåle utvendig belastning i ringretning, type jordlast og trafikklast
- Evnen til å tåle utvendig belastning i lengderetning
- Evnen til å tåle utvendige, mekaniske støt, ofte uttrykt som rørets evne til å tåle et slag uten å sprekke; slagseigheten

Rørmaterialers mekaniske egenskaper kan beskrives som elastiske/viskoelastiske, eller sprø og seige. Elastiske materialer, blant annet støpejern, har et lineært forløp ved på- og avlastning – en entydig sammenheng mellom spenning og tøyning. Viskoelastiske materialer øker deformasjonen over tid ved konstant belastning (Moser & Folkman 2008).

Plastmaterialer deles inn i to grupper: termoplast og herdeplast. Termoplast betegner myk plast som kan formes ved varmebehandling, og som kan omformes flere ganger uten at kvaliteten forringes. PE og PVC kommer inn under denne kategorien. Den andre typen er herdeplast, som ikke mykner ved oppvarming og dermed ikke kan omformes ved varmebehandling. GRP-rør består av slik herdeplast (Ødegaard 2012).

3.3 RØRMATERIALER

DUKTILT STØPEJERN

Anvendelse

Duktilt støpejern har vært på markedet siden 1960, etter oppdagelsen av at gråjern tilsatt magnesium endrer jernets egenskaper fra sprøtt til seigt. Dette åpnet for utvidet bruk i VA-nette. Materialet er i dag et av de mest opptredende i norsk vannforsyningsnett. Rørene går sjelden i brudd, da materialet er slitesterkt og tåler store trykkbelastninger. Det er derimot utsatt for gjennomtæring som følge av korrosjon, og må beskyttes mot dette. Vanligvis legges sementmørtel innvendig, og epoksyforbindelser på utsiden av røret (Mosevoll & Oddevald 2010). Støpejernsrør produseres ikke i Norge, men leveres fra store europeiske produsenter i Tyskland og Frankrike. På vektbasis leveres årlig rundt 18 000 tonn støpejernsrør til landet.

Krav

Alle trykkrør i duktilt støpejern til norsk bruk produseres i henhold til NS-EN 545:2006. Trykklasse skal velges tilsvarende K9 i nevnte standard. Standarden er kommet i en ny utgave i 2010, men denne er ikke anerkjent i det norske markedet, ei heller i Europa for øvrig, da den innebærer et redusert krav til veggtykkelse, hvilket reduserer styrken på rørene. Materialets ringstivhet er proporsjonal med veggtykkelsen i tredje potens, og det vurderes derfor som mer sikkert å benytte målene beskrevet i 2006-utgaven. Øvrige endringer i den nye standarden går på krav til rørmerking, og generelt opererer den med flere varianter av rør, hvilket av noen blir oppfattet som uoversiktlig (Egeberg 2012). Det er verdt å merke seg at det her er snakk om en veiledende standard, og ikke en forskrift eller lov. Da det stadig er K-klassifiseringen som foretrekkes i Norge i dag, er det valgt å analysere duktile støpejernsrør med K9-kvalitet. Det påpekes likevel at standarden av 2010 med trykk-klasser type C fremfor K-klasser innebærer en betydelig vektreduksjon på rørene, som vil kunne gi et mer positivt resultat hvis analysert.

Støpejern er utsatt for korrosjon, i større eller mindre grad avhengig av grunnforhold, og må beskyttes deretter. Innvendig beskyttelse skal bestå av sementmørtelforing, med høyovn slagssement. Utførelse og tykkelse etter beskrivelse i NS-EN 197-1. Mellom rørvegg og beskyttelseslag skal det påføres et sinkbelegg på 200g/m². Videre skal det medfølge fra produsent en krympemuffe i PE for hver rørlengde, som legges over muffeskjøten (VA/Miljø-blad 2007a).

Produksjon

Støpejernsrør består vektmessig av ca 93% jern, 4% grafitt og 3% øvrige metaller. Volummessig utgjør grafittandelen nærmere 15%, hvilket er medvirkende til støpejernsrørens gode lyddeppe egenskaper.

I første steg av rørproduksjonen blir råjern, skrapjern og annet resirkulert metall behandlet ved ca 1500°C i kuppelovn. Luft blåses inn fra bunnen og bidrar til oppvarming av de faste stoffene som siden beveger seg nedover i smelteovnen. På vei nedover endres massen i flere steg; den varmes opp til forbrenningspunktet, smelter og tar til seg karbon som bidrar til å gjøre jernet sterkere. Ved bunnen av ovnen ligger det flytende jernet tildekket av slag som beskytter jernmassen mot uønsket oksidering. Den flytende massen analyseres for komponentinnhold, blant annet av karbon, silisium, mangan og magnesium. Verdiene vurderes opp mot ønsket sammensetning, og ulike tilsetninger gjøres i henhold til denne oppskriften. Hvilke stoffer som tilsettes og mengden av disse avhenger altså av egenskapene til skrapmetallet i smeltmassen.

Magnesium i gassform fremmer dannelse av kulegrafitt, og er en viktig komponent i støpejernet, da denne reaksjonen bidrar til å gjøre jernet seigt fremfor sprøtt. Ekstra magnesium må derfor tilsettes dersom den opprinnelige mengden i smeltmassen er lavere enn ønsket verdi. Temperaturen må ligge på 1500°C nokså nøyaktig for at ønskede seighet skal oppnås. Ved temperaturer høyere eller lavere enn et intervall på ca 20°C vil støpejernet likevel bli sprøtt, da den kuledannende reaksjonen mellom grafitt og magnesium krever helt bestemt temperatur. Tilsvarende må magnesium tilsettes i samme temperatursjikt ved en eventuell omsmelting av duktilt støpejern, som ellers vil bli sprøtt (Mosevoll & Oddevold 2010; Ødegaard 2012).

Det siste som skjer før selve rørformingen tar til er at smeltmassen tilsettes inokulanter som forhindrer dannelse av uønskede komponenter.

I neste steg formes røret, og dette foregår i en roterende støp hvor metallet stivner gjennom kontinuerlig nedkjøling. Kvaliteten på rørene kontrolleres systematisk blant annet ved hydrostatiske tester, visuell inspeksjon og undersøkelse av metallets struktur og rørenes dimensjon. I denne kontrollfasen hender det at rør underkjennes, og dette medfører at et helt parti med nyproduserte rør går ut. Rørene kan da gå inn i produksjonen igjen som skrapmetall, enten via skraphandler eller direkte. Figur 3.5 viser et støpejernsrør ta form i en roterende støp.



FIGUR 3.5 – ET STØPEJERNSRØR TAR FORM (DUKTUS.COM 2012)

Når rørene er formet og dimensjonert påføres belegg innvendig og utvendig. Dette for å beskytte rørene mot korrosjon, både fra vannet som skal transporteres på insiden, og fra massene som blir liggende rundt. For rør som skal benyttes til distribusjon av drikkevann stilles egne krav til beskyttelsesbelegg, for at helsemessig

forringelse av drikkevannet skal unngås. Innvendig er det sementmørtel som benyttes, og denne er hygienisert ved høy temperatur.

Siste steg i produksjonen er tilsetning av elastomerer i skjøtene, som skal sørge for at disse forblir tette gjennom rørenes levetid på 100 år. Det er viktig at pakningene ikke lekker i drift, og ulike elastomerer velges avhengig av ønskede egenskaper i grøft. Et ledningstrekk vil kunne krympe eller utvides over tid, avhengig av temperatur og grad av komprimering, og uten elastomerer er det disse faktorene som avgjør hvorvidt skjøtene forblir tette på lang sikt (Egeberg 2012; Svendsen 2012).

GLASSFIBERARMERT POLYESTER – GRP

Anvendelse

GRP står for Glass Reinforced Polyester og benyttes som betegnelse på glassfiberarmert herdeplast. GRP-rør er tidligere betegnet ved andre forkortelser som GUP (Glassfiberarmert Umettet Polyester), GAP (Glassfiberarmert Polyester) og FRP (Fibreglass Reinforced Plastic), men materialet er det samme. I henhold til aktuelle standarder er det nå betegnelsen GRP som brukes.

GRP-rør benyttes ofte i store forsynings- og overføringsledninger for vann, da de er økonomisk konkurransedyktige i dimensjoner fra 500mm og oppover. Gjennomsnittlig produsert rørdimensjon er på 1100mm (Ressourcen Management Agentur GmbH 2011). Rørene er bygget opp av glassfibertråder og herdeplast som gir styrke, og har gode korrosjonsegenskaper (Sægrov 2010).

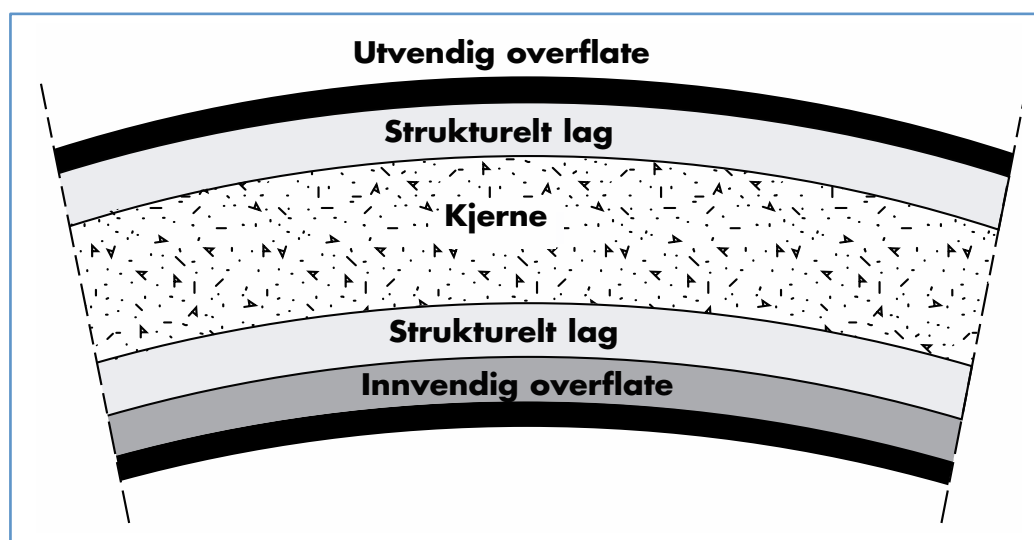
Krav

Alle vannforsyningsrør i GRP skal produseres som beskrevet i NS-EN 1796. Det er videre egne krav til tetningsringene som er i kontakt med drikkevann. Disse skal utføres i syntetisk kvalitet med gode ozon- og aldringsegenskaper (VA/Miljø-blad 2003).

Produksjon

Valgte rørdimensjoner til analyse i denne studien (D_i 200 og D_i 600) er mindre enn hovedtyngden av produserte GRP-rør, som har en gjennomsnittlig rørdiameter på 1100mm. Det er uvanlig at dette materialet benyttes for diametre under 500mm i Norge, og det er kun én fabrikk i Europa som produserer rør med diametre i størrelsesorden 100-300mm. Dette foregår i en diskontinuerlig prosess med produksjon av rørlengder på 6 meter. For øvrig er produksjonsprosessen lik den kontinuerlige prosessen beskrevet i kommende avsnitt. Øvrige produksjonsprosesser for GRP-rør (sentrifugalstøping og kryssvikling) omtales ikke nærmere her, da metodene henholdsvis produserer rør med redusert trykkapasitet og rør som ikke benyttes innen vann og avløp (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011).

GRP er et komposittmateriale, og GRP-rør er sammensatt av tre hovedråstoff; glassfiber, polyester og sand. Glassfiber i kuttet og kontinuerlig form danner rørets armering, henholdsvis i alle retninger og i ringretning. Dette gir rørene styrke. Resin i form av polyester, oftest ortoeftalsyrepolyester, binder glassfiberarmering og sand sammen. Sanden benyttes som fyllstoff i kjernen av røret. Den strukturelle oppbyggingen av et trykrør er vist i figur 3.6:



FIGUR 3.6 – OPPBYGGING AV ET GRP-RØR (FLOWTITE NORWAY)

Rørene produseres gjennom det som kalles en kontinuerlig vikleprosess. Produksjonen foregår rundt en avansert kjerne ved utvendig påføring av materialer, med oppbygging som vist i figuren over. Det første laget som produseres er den innvendige overflaten bestående av en polyesterrik liner armert med noe glassfiber, og en overflatematte som danner rørets kontakflate med transportmediet.

Kjernen omslutes av strukturelle lag både på inn- og utside, og disse lagene innehar hovedtyngden av armeringen som gir rørene styrke, spesielt fra den kontinuerlige glassfiberen i ringretning som bidrar til å gjøre rørene motstandsdyktige mot innvendig trykk og utvendig belastning. Kjernen gir rørene godstykkelse og består for det meste av kuttet glassfiber og kvartssand sammenbundet med polyester. Polyesterens herdes grunnet produksjonsprosessens temperatur som kommer opp mot 130°C, hvilket gir en god utharding med lave restverdier av ulike stoffer i det ferdige laminatet. Idet polyesterens herdes i kryssbundet molekylstruktur får rørene sin endelige form. Til forskjell fra termoplast kan ikke GRP-rør omformes ved smelting etter dette. Produksjonsmetoden som er beskrevet har høy kapasitet og skaper rør med gode trykkegenskaper (Hausberg 2009; Hausberg 2012).

POLYETYLEN – PE

Anvendelse

Polyetylen er et termoplastisk kunststoff, og er den type plast det fremstilles mest av på verdensbasis. Polyetylen er et robust materiale, og benyttes innen VA-teknikken hovedsakelig i trykksatte ledningssystemer. Under normale betingelser vurderes PE til å være det mest motstandsdyktige materialet mot slitasje (Sægrov 2010).

PE-rør benyttes ofte som sjøledninger og ved vanskelige leggeførhold i grøft, da de kan sveises til lange sammenhengende rør.

PE som rørmateriale forekommer både med medium tetthet (MDPE) og høy tetthet (HDPE). I trykkrør betegnes disse materialene henholdsvis som PE 80 og PE 100 (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011). PE 100-rør tåler høyere trykk enn PE 80-rør med samme dimensjon, veggtykkelse og designfaktor (Pipelife 2008). I denne studien analyseres rørmaterialet PE 100.

Krav

PE-trykkrør produseres i henhold til NS-EN 12201-2 og 3 (VA/Miljø-blad 2007b). Det er ikke noe norsk godkjenningssystem for materialer som skal benyttes i kontakt med drikkevann. Norske PE-rør produseres i henhold til den danske godkjenningsordningen som baserer seg på krav i drikkevannsforskriften. Rørene som benyttes i Norge er derfor merket som dansk standard (DS-merket) (Pipelife 2008).

Produksjon

PE produseres utelukkende av organisk materiale og fremstilles ved polymerisering av gassen etylen. Produksjon av etylengass gjøres ved foredling av petroleum eller naturgass. Etylengassen polymeres gjennom en kontinuerlig reaksjon, enten i gass- eller slurryform. I denne prosessen tilsettes stoffer som gir plasten ønskede egenskaper, blant annet antioksidanter for å stabilisere. Prosessens sluttprodukt er polyetylen i granulatform.

PE-rør fremstilles i en ekstruder. Råstoffet er PE-granulat som allerede har de nødvendige tilsetningsstoffer fra ovennevnte prosess. Ekstruderingen foregår ved en massetemperatur rett under 200°C. Ved denne temperaturen er plasten viskøs og enkel å forme til et sirkulært produkt i en ekstruderdyse. Videre går materialet inn i en kalibreringsenhet for nedkjøling og fastsettelse av dimensjon. Rørene fremstilles i kontinuerlige lengder uten muffe (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011).

POLYVINYLKLORID – PVC

Anvendelse

PVC er det første plastmaterialet som ble benyttet i rørproduksjon, allerede på 1930-tallet. Det er et sterkt materiale med lav vekt, og brukes ofte i vann- og avløpsrør både i Norge og internasjonalt. PVC er i dag det markedsledende rørmaterialet for vannledninger opp til diameter 400mm i Norge (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011).

Det hevdes at produksjon, bruk og avfallshåndtering av PVC-holdige produkter kan medføre betydelige miljø- og helsemessige skader. Av denne grunn er PVC et nokså omstridt materiale, og dets negative påvirkninger er anerkjent både av styresmakter og forskningsinstitusjoner verden over. Restriksjoner på anvendelse av PVC forekommer i store deler av Europa, og flere land har ambisjoner om å redusere bruken av materialet (Thornton 2001). Dette har imidlertid initiert flere omfattende livsløpsstudier som konkluderer med at PVC-produkter verken er bedre eller dårligere enn andre alternativer hva angår et bredt spekter av miljø- og helseisikovurderinger (Howard 2009).

Krav

PVC-rør skal oppfylle tekniske bestemmelser i henhold til NS-EN 1452-1,2 og 3. Trykklassen for vannledninger skal være minimum PN 12.5, som tilsvarer en SDR-verdi på 21 (VA/Miljø-blad 2001).

Produksjon

Etylengass foredles fra petroleum eller naturgass, mens klorgass syntetiseres fra havsalt ved hjelp av høyenergiske elektrolyse. Disse to gassene er hovedkomponentene i PVC. Etylendiklorid produseres ved sammenkobling av klor og etylen i en kloreringsprosess. Hydrogenklorid er et biprodukt i denne reaksjonen, og kombinert med mer etylen dannes etylenklorid i en oksikloreringsprosess. Deretter blir etylenkloridforbindelsene omdannet til vinylkloridmonomerer ved hjelp av pyrolyse. Til slutt kobles vinylkloridmonomerene sammen til polyvinylklorid. Produktet er ofte i pulver- eller granulatform.

Polyvinylklorid i ren form tilsettes kjemikalier, herunder stabilisatorer, plastiserer, fargestoffer og lignende, for å oppnå en plast med ønskede egenskaper. PVC er ikke spesielt anvendelig i sin reneste form, det er stift og sprøtt, og brytes ned ved eksponering for ultrafiolett lys (UV-stråler). Det er derfor nødvendig med tilsetningsstoffer for at platen skal bli fleksibel og holdbar. Som siste trinn formes platen til ferdig rørprodukt (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011; Thornton 2001).

Tabell 3.2 gir en oversikt over utvalgte positive og negative egenskaper ved de ulike rørmaterialene, hentet fra tilsvarende tabeller i litteraturen (Nordiske Plastrørgruppen Norge 2011; Ødegaard 2012). Som det fremgår av tabellen er miljømessige aspekter fullstendig fraværende.

TABELL 3.2 – OVERSIKT OVER UTVALGTE POSITIVE OG NEGATIVE EGENSKAPER VED ULIKE RØRTYPER
(ETTER NPG 2011 OG ØDEGAARD 2012)

RØRTYPE	FORDELER	BEGRENSNINGER
Duktilt støpejern	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosjonsbestandig med korrosjonsbeskyttelse • Sterkt materiale • Tåler store utvendige belastninger • Takler temperaturer > 40 °C • Fleksible, enkle skjøtesystemer 	<ul style="list-style-type: none"> • Utsatt for korrosjon dersom beskyttelse mangler • Høy vekt
GRP	<ul style="list-style-type: none"> • Lav vekt og lange rørlengder • Stor styrke, høyest E-modul av plastrørene • Mekaniske egenskaper uendret mellom -50 og 35 °C • Ikke behov for UV-beskyttelse ved anlegg over bakken • Meget liten termisk utvidelseskoeffisient • Gode hydrauliske egenskaper • Meget korrosjonsbestandig 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan skades ved slag og støt • Sårbare ved store punktbelastninger • Sentrifugalstøpte rør kan ha redusert evne til å tåle høye trykk • Lav tillatt tøyning
PE	<ul style="list-style-type: none"> • Lav vekt, lange rørlengder, enkel kapping • God slagfasthet, også ved svært lave temperaturer • Meget stor fleksibilitet og bøyelighet • Strekkfaste skjøter ved sveising • Meget gode hydrauliske egenskaper • Meget korrosjonsbestandig • Tett mot utlekking/innsuging over tid 	<ul style="list-style-type: none"> • Stor lengdeutvidelse • Behov for strekkfaste tilkoblingspunkter • Evnen til å tåle trykk reduseres ved temp. over 20°C • Mykt materiale, må håndteres fornuftig for å hindre riper/skader
PVC	<ul style="list-style-type: none"> • Lav vekt, lange lengder og enkel å kappe • Liten termisk utvidelse • Fleksibelt rør som tåler de fleste bevegelser i ledningssonen uten brudd • Høy E-modul, gir god styrke og kapasitet • Gode hydrauliske egenskaper • Korrosjonsbestandig • Tette skjøter 	<ul style="list-style-type: none"> • Redusert slagstyrke under -10°C • Punktbelastninger kan gi sprøbrudd • Begrenset evne til å tåle gjentatte trykkstøt

4 METODE

4.1 KARTLEGGING

BEHOV FOR DATA

Følgende data anses som nødvendig for å gjennomføre tilfredsstillende analyser:

- Generell og gyldig informasjon om alle råmaterialer
- Stedsspesifikk informasjon vedrørende energiforbruk i de respektive rørproduksjonsprosessene
- Spesifikk informasjon om transportstrekninger og transportmidler
- Generell informasjon om utslipp assosiert med transport
- Geografisk representativ energimiks for alle aktiviteter

KILDER

Inngangsdata i analysene er hentet fra aktuelle produsenter og leverandører i Norge, etter møter med disse. Spørsmålene som ble sendt ut i forkant av møtene kan leses i vedlegg B. Leverandører er valgt ut fra størrelse i Norge, samt at de leverer de aktuelle rørdimensjoner for denne studien. En oversikt over produsenter og leverandører er gitt i tabell 4.1.

TABELL 4.1 – OVERSIKT OVER KILDER BENYTTET FOR DE ULIKE RØRMATERIALENE'S LIVSLØPSANALYSER

LEDNINGSTYPE	DN	KILDER
Duktilt støpejern	200 mm	PAM – produsent Brødrene Dahl – leverandør av Duktus-rør
PVC	225 mm	Pipelife – norsk produsent Wavin – leverandør
PE100	250 mm	Pipelife – norsk produsent Hallingplast – norsk produsent Wavin – leverandør
GRP	200 mm	APS – leverandør av Flowtite-rør
Duktilt støpejern	600 mm	PAM – produsent Brødrene Dahl – leverandør av Duktus-rør
PE100	710 mm	Pipelife – norsk produsent (spesialordre) Hallingplast – norsk produsent Wavin – leverandør
GRP	600 mm	APS – leverandør av Flowtite-rør

I de tilfeller der den valgte rørtypen er tilgjengelig fra flere norske leverandører er informasjon hentet inn fra minimum to av disse. Denne studien har vært helt avhengig av samarbeidsvilje fra leverandører/produsenter, og konstruktive møter og god informasjon og oppfølging har vært avgjørende for gjennomføringen av analysene.

Hensikten med analysene er å sammenligne ulike rørmaterialer, og ikke ulikheter i produksjon av rør i samme materialutførelse. I de tilfeller der flere leverandører har bistått med tallmateriale om samme rørtype og dennes produksjonsprosess og råstoff sammensetning, er det gjort en vurdering av hvilket datasett som er mest utfyllende, og dette er så benyttet i analysene. Det er også gjort en kontroll av at datasettene ikke er vesentlig avvikende.

En del av verdiene vedrørende råmaterialer og aktiviteter oppstrøms rørproduksjonen er hentet direkte fra SimaPros tilhørende database Ecoinvent. I enkelte tilfeller er informasjon om produksjon av rør hentet fra tidligere utførte livsløpsanalyser. Dette er gjort for å spare tid, da arbeidet med informasjonsinnhenting og kartlegging er omfattende og tidkrevende.

4.2 ANALYSENE OPPBYGGING

En stor utfordring ved gjennomføring av en LCA-analyse er å bevare objektivitet gjennom hele prosessen. Flere studier har påpekt det faktum at mange LCA-analyser har resultert i konklusjoner i favør av oppdragsgiver, det produktet man ønsker sammenlignet eller antagelser man har hatt i utgangspunktet (Karlsson et al. 2007; Standard Norge 2006a). Slike konklusjoner kan bidra til å svekke den generelle oppfattelsen av en LCA-analyses troverdighet. Med utgangspunkt i dette er det svært viktig å velge systemgrenser med omhu, samt være bevisst på hvilke antagelser man starter med. Analysene i denne studien er utført med den hensikt å finne ut om enkelte av rørmaterialene peker seg ut i positiv eller negativ retning med hensyn på ulike miljøbelastninger. En objektiv innstilling uten verken formening eller forhåpninger til analysens utfall er forsøkt lagt til grunn. Videre er erfaringer fra litteraturstudien benyttet ved utforming av analysene.

FUNKSJONELL ENHET

Funksjonell enhet er i denne studien definert som *100 meter rør (av bestemt materiale og med bestemt dimensjon) levert på anleggsplass*. De fire rørmaterialene duktilt støpejern, GRP, PE og PVC er alle analysert for indre diameter nærmest mulig 200mm og 600mm, med unntak av PVC som ikke produseres i sistnevnte dimensjon.

OMFANG

LCA-analysene tar for seg de respektive rørenes livsløp frem til anleggsfasen. Dette innebærer miljøpåvirkninger assosiert med råstoff-foredling, rørproduksjon og transportetapper frem til rørenes ankomst på byggeplass/anleggsområde. Dette virker som en rimelig avgjørelse, da analyseresultatene er ment å kunne benyttes som beslutningsgrunnlag ved valg av rørmateriale i forbindelse med prosjektering.

Livsløpene som behandles i analysene tar altså ikke for seg aktiviteter vedrørende rørlagging, bruksfase og håndtering av rørene ved endt levetid. Disse livsløpsfasene er likevel beskrevet i senere avsnitt, med begrunnelse for at de er utelatt i analysene.

SYSTEMGRENSE

Det er valgt å betrakte livsløpet til hvert av rørmaterialene nokså skjematisk, som vist i figur 4.1. For hver av fasene er material- og energistrømmer forsøkt valgt slik at eventuelle forskjeller for de ulike rørmaterialene fremkommer, men uten å favne så bredt at analysene blir vanskelige å gjennomføre grunnet mangelfullt datagrunnlag.



FIGUR 4.1 – EN FORENKLET FREMSTILLING AV RØRENE LIVSLØP

Råstoff

Informasjon om de ulike råmaterialene som benyttes i rørproduksjon er hentet fra SimaPros tilhørende database Ecoinvent, og er ikke stedsspesifikke. Dette er gjort fordi rørene som leveres til Norge produseres ved forskjellige fabrikker rundt om i Europa, og disse henter råvarene sine fra flere kilder. Det vil derfor gi et ukorrekt resultat skulle stedsspesifikke data for en bestemt fabrikk benyttes. Råstoffene som inngår i produksjonen av et rør er allerede foredlet gjennom ulike prosesser (avhengig av type råstoff) før det ankommer rørfabrikk. Alle bakgrunnsprosesser knyttet til et råstoff ligger inne som en del av livsløpet til dette råstoffet, og blir en del av det totale livsløpet til rørmaterialet som analyseres. Dette innebærer at råstoffene bidrar med material- og energiforbruk forbundet med disse prosessene, samt utslipp fra eventuelle transportetapper som inngår i deres livsløp. Informasjonen om bakgrunnsprosessene er i all hovedsak basert på regionale eller globale gjennomsnittsdatabaser.

Rørproduksjon (energiforbruk)

I denne livsløpsfasen er det kun energiforbruket som inngår, da alle råstoff i produksjonen betraktes som en egen fase, som beskrevet i forrige avsnitt. I rørproduksjonen er stedsspesifikke data lagt til grunn så langt det lar seg gjøre. Eventuelle avvik er spesifisert i kapittel 5 under livsløpsbeskrivelsen for det aktuelle rørmaterialet. Vedlikehold av fabrikk er kun betraktet generelt og inngår kun som en del av fabrikkens totale energiforbruk. Utskifting av produksjonsutstyr og andre materialstrømmer i tilknytning til daglig drift og vedlikehold er ekskludert.

Det er valgt å se bort fra produksjon av eventuelle skjøter og andre rørdeler knyttet til et ledningsstrek på 100 meter. Dette for å forenkle datainnsamling, som i utgangspunktet er svært tidkrevende. Krav til oppbevaring og emballering av ferdigproduserte rør er kommentert, men ikke medtatt i analysene.

Grossist/leverandør

En del av rørene leveres direkte fra fabrikk til anlegg, men det er ikke uvanlig at standardrør lagres hos grossist for å kunne tilby kort leveringstid. Det har ikke vært enkelt å anslå en prosentandel for rør som mellomlagres på denne måten, og dette trinnet er derfor utelatt i den endelige analysen.

Grøft/anlegg

Denne fasen er ikke inkludert i analysene, da informasjonsgrunnlaget er mangelfullt. Det vises til at det i nyere studier er funnet at påvirkninger fra installasjonsfasen er forsvinnende liten, og dessuten nokså lik for ulike rørmaterialer (jf litteraturstudien). Det er likevel flere faktorer som kan spille inn, selv om de ikke er medtatt i analysene. Rørene oppbevares som angitt av produsent, blant annet med påkrevd underlag og eventuell emballasje rundt rørene. Materialene som benyttes her er kommentert. Andelen avkappede rør og ødelagte rør som ikke benyttes, samt hvordan disse behandles i etterkant er kommentert i de tilfeller informasjon har vært tilgjengelig.

Transport

Alle data vedrørende transport er hentet fra de aktuelle rørprodusenter og rørlleverandører, og er dermed stedsspesifikke for en bestemt fabrikk. Det er valgt å benytte denne informasjonen for å få reelle inngangsdata, selv om det kan sies å svekke generaliteten i analyseresultatene. Dette omhandles i sensitivitetsanalysene.

Som det fremgår av figur 4.1 på forrige side er to transportetapper inkludert i analysene. Første etappe er frakt av råstoff til rørfabrikk. Her er enkelte avstander og type transportmidler anslått av leverandør, basert på at råvareuttak i enkelte tilfeller kan foregå på alle kontinenter. Neste transportetappe, som går fra fabrikk og direkte

til anlegg, er godt dokumentert av leverandør. Transportmetodene inkluderer skipslast, trailer, truck og tog. På-, av- og omlasting av rør, med de løfteredskap som kreves til disse operasjonene er ikke inkludert. Nærmere presiseringer av transportfasen kan leses under de respektive livsløpsbeskrivelsene, samt i vedlegg C.

Alle avstander er beregnet ved hjelp av Gule Siders karttjeneste (gulesider.no 2012). Transportetappe fra fabrikk til anleggssted er i alle tilfeller beregnet frem til Oslo. Det er for øvrig dokumentert fra de respektive kilder at alle rørtypene transporteres på samme vis enten de leveres til Østlandet eller andre steder i Norge.

Drift og vedlikehold i rørenes bruksfase

Denne livsløpsfasen er ikke inkludert i analysene, da det er vanskelig å finne god informasjon. Behov for vedlikehold og reparasjoner er dårlig dokumentert, og den informasjonen som foreligger anses ikke å være tilstrekkelig relevant. Dette fordi reparasjoner ofte skyldes uforsvarlig håndtering av rørene ved legging av disse, eller galt valg av rør og rørbelegg i utgangspunktet. Analyseresultatenes gyldighet forutsetter dermed en korrekt håndtering av rørene i alle faser.

Det påpekes likevel at påvirkning fra rørenes bruksfase kan være betydelige for det totale livsløpsregnskapet, spesielt hvis pumping inngår i den daglige driften av ledningsnett hvor rørene inngår (jf litteraturstudien).

Ved endt levetid

Med dagens teknologi og kunnskap om både rørmaterialer og drift av ledningsnett vurderes det som rimelig å anta at rørene skal ha en levetid på 100 år. Dette er også et krav til rørene som produseres, og gjelder for alle rørmaterialer og –dimensjoner (VA/Miljø-blad 2001; VA/Miljø-blad 2003; VA/Miljø-blad 2007a; VA/Miljø-blad 2007b). På bakgrunn av dette er det valgt å se bort fra eventuell håndtering av brukte rør, fordi det er svært usikkert hvordan dette vil gjøres når den tid kommer. Per i dag er det ikke norsk praksis å håndtere rør som avfall når de ikke lenger er i bruk. Rørene blir som oftest liggende i bakken når de er ute av drift. Ved utblokking fraksjoneres rørene og omslutter de nye rørene som trekkes inn i eksisterende trasé. Dersom rørstrekket legges om blir rørene liggende uten videre håndtering.

ENERGIMIKS

Energi, her i form av elektrisitet, varierer både geografisk og i tid. Som beskrevet i litteraturstudien kan typen elektrisitetskilde som benyttes ha stor betydning for resultatene i en livsløpsvurdering. Det er valgt å benytte en felles europeisk elektrisitetsmiks for de respektive produksjonene i analysene, uavhengig av hvilket land de foregår i. Dette for å unngå en favorisering av ett produksjonsland (og én

produsent) fremfor et annet. Den valgte miksen er basert på produksjonstall fra 24 europeiske land som i dag er medlem av ENTSO-E (European network of transmission system operators for electricity), tidligere UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity). Tallene er fra 2000.

VEKTING VED OMREGNING

Alle inngangsdata i analysene er regnet om til verdier som kan relateres direkte til en meter rør av det aktuelle rørmaterialet. Dette innebærer at det er gjort vurderinger med hensyn på hvor stor andel av produksjonen det analyserte rørstrekket på en meter utgjør, på vektbasis av totalproduksjonen. De fleste verdier i forbindelse med fabrikkene er oppgitt i tonn/år, og videre regnet om til andelen en meter av gitt rørmateriale og dimensjon utgjør i den årlige produksjonen. Ved analyse velges så 100 meter av dette rørmaterialet, for å få resultater som samsvarer med funksjonell enhet.

4.3 ANALYSEVERKTØY

SIMAPRO

Til å gjennomføre livsløpsanalysene er analyseverktøyet SimaPro benyttet. Andre alternativer er vurdert, men valget falt på SimaPro da dette er et anerkjent og mye benyttet verktøy i forbindelse med livsløpsvurderinger som har vært på markedet i mange år. SimaPro er utviklet av PRé Consultants i Nederland, og er et omfattende dataverktøy for beregning av livsløpsanalyser av produkter og tjenester. Verktøyet er tilrettelagt for innhenting, behandling og tolkning av utslippsdata. Programmet innehar karakteriseringsmetoder for ulike regioner rundt om i verden, og er kompatibel med flere inventardatabaser. Programvaren oppdateres kontinuerlig med hensyn på utvikling innenfor karakteriseringsmetoder og databaser (Goedkoop et al. 2010).

ECOINVENT

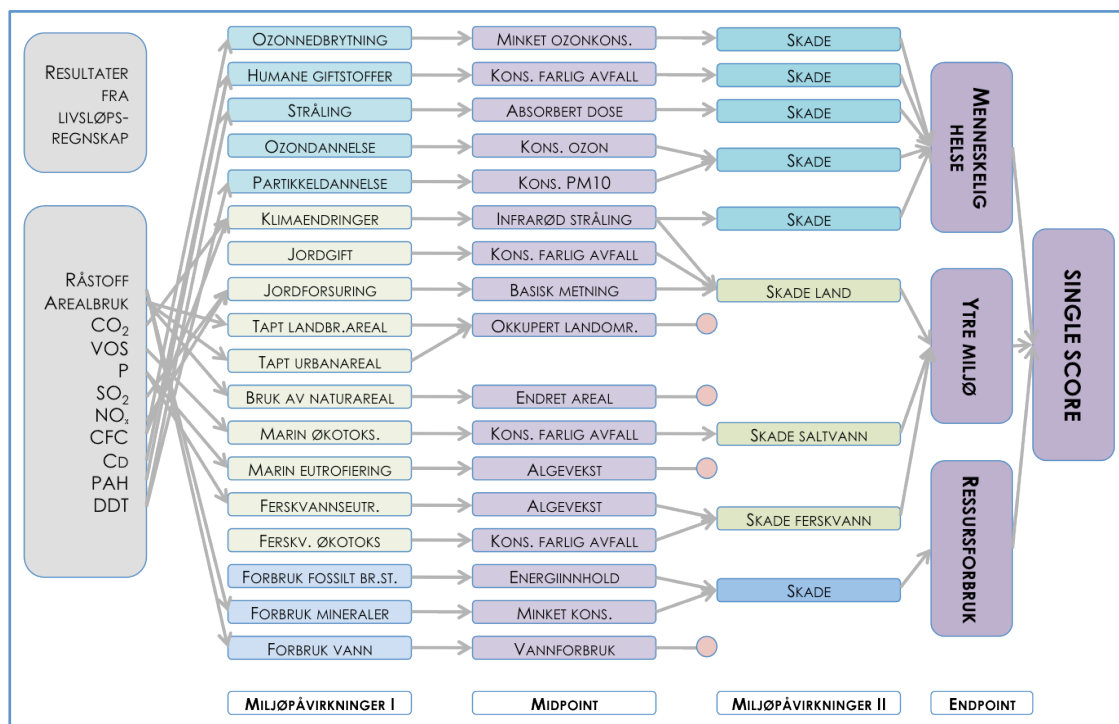
Ecoinvent er en database som utvikles kontinuerlig av kompetansesenteret Ecoinvent Centre i Sveits. Databasen er verdensledende hva angår oppdaterte livsløpsinventar-data, som er konsekvente og gjennomsiklige. Databasen innehar mer enn 4 000 datasett med livsløpsregnskap innenfor blant annet landbruk, energiforsyning, transport, biodrivstoff, kjemikalier, konstruksjonsmaterieell, emballasje, metallforedling og avfallshåndtering. Databasen er kompatibel med de fleste store programvarer innenfor LCA og eco-design, deriblant SimaPro (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2012).

4.4 PRESENTASJON AV RESULTATER

I SimaPro er det mulig å se på flere typer effektkategorier ved hjelp av ulike presentasjonsmetoder. Effektkategoriene er uavhengig av inngangsdata, og presentasjonsmetode velges etter at analysen er ferdig bygget opp og alle verdier er lagt inn. Det er valgt å se på flere typer påvirkninger i denne studien, disse presenteres i hvert sitt avsnitt. Dette er anerkjente vurderingskriterier, og enkelte av dem kan sammenlignes med funn fra tidligere studier.

RECIPE

ReCiPe er en miljøkarakteriseringsmetode i SimaPro som anbefales benyttet i alle europeiske livsløpsstudier (Misa Miljøsystemanalyse 2012). Figur 4.2 viser hvordan ulike miljøbelastninger bidrar til de ulike miljøklassene som omhandles, hva som er konsekvensene av disse igjen, og hvilken effektkategori de ulike skadene havner i. Det er i første omgang 18 miljøindikatorer som klassifiseres i ulike typer miljøpåvirkninger, i det som i figuren kalles *midpoint*. Videre kategoriseres disse påvirkningene etter type skade de utgjør. Skadene ender til slutt i én av de tre hovedkategoriene av miljøeffekter. Enkelte av punktene fra midpoint blir ikke kategorisert videre med hensyn på type skade, og er markert med et rødt punkt i figuren.



FIGUR 4.2 – OVERSIKT OVER RECIPE'S EFFEKTKLASSIFISERINGS-SYSTEM (ETTER GOEDKOOP ET AL. 2012)

De tre hovedkategoriene av miljøpåvirkninger er beskrevet nedenfor:

Menneskelig helse måles i DALY (disability-adjusted life years), det vil si et mål på total sykdomsbyrde, uttrykt som antall år tapt som følge av sykdom, dårlig helse, uførhet eller tidlig død. Måleenheten DALY er en funksjon av YLD (years lived with disability) og YLL (years of life lost), altså summen av antall år levd med funksjonshemming og antall tapte leveår. Humane giftstoffer, partikkeldannelse og stråling er blant miljøindikatorerne som påvirker denne effektkategorien.

Ytre miljø måles i arter*år og sier noe om faren for at ulike arter skal utryddes, enten fra enkelte områder eller totalt. Indikatorer som påvirker denne kategorien er blant annet utnyttelse av landarealer, miljøgifter på land og i vann, og forsurening av jordsmonn. Det skilles mellom landlevende -, ferskvanns- og saltvannsindivider.

Ressursforbruk måles i økte kostnader (\$). Faren for at fremtidige generasjoner skal gå tomme for ressurser som forbrukes i dag er ofte omtalt som et viktig tema. ReCiPes tilnærming til denne effektkategorien er å se på den geologiske fordelingen av mineraler og fossile ressurser, og vurdere hvordan bruken av disse medfører endringer i arbeidet med å utvinne fremtidige ressurser. Gjenbruk av ressurser og eventuelle substitutter er medtatt i beregningene (Goedkoop et al. 2012).

Det finnes ulike tilnærminger til håndtering av usikkerhet og antagelser i karakteriseringsmodellen, og tre mulige perspektiv er valgbare:

- Individualistisk (I) som baseres på kortsiktige interesser, ubestridte innvirkningstyper og optimisme hva angår menneskers evne til å tilpasse seg, samt tro på at fremtidige teknologiske løsninger kan unngå mange potensielle problemer.
- Hierarkisk (H) som baseres på de vanligste politiske prinsipper med hensyn til blant annet tidsperspektiv. Dette er ofte ansett som standardperspektivet, og er det mest benyttede perspektivet i vitenskapelige modeller.
- Egalitært (E) som tar flest forholdsregler, har lengst tidsperspektiv, og som benytter innvirkningstyper som ikke er ferdig etablerte og som derfor kun har et utvalg av indikasjoner tilgjengelige. Dette perspektivet bygger på føre-var-prinsippet (*Characterisation and Normalisation factors* 2012; Goedkoop et al. 2012).

Analysene i denne studien benytter det hierarkiske perspektivet, da dette er det mest politisk aksepterte perspektivet, og det som oftest benyttes i vitenskapelige modeller. Det synes å være en mellomting mellom de to andre perspektivene, både med tanke på tidsperspektiv og omfanget av vurderingene som inngår.

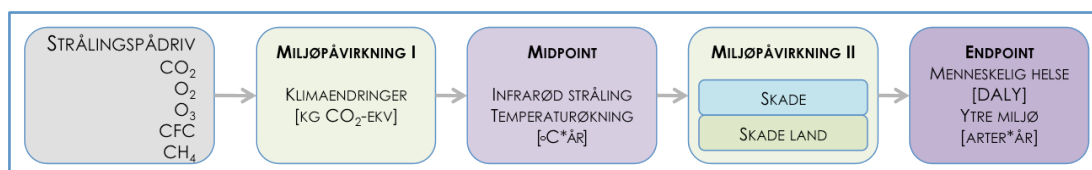
I ReCiPe skilles det mellom midpoint- og endpoint-analyser, det vil si hvor langt de ulike miljøindikatorene aggregeres (som vist i figur 4.2). Midpoint-analyser gir resultater for alle 18 miljøindikatorer som inngår i klassifiseringen, mens endpoint-analyser gir tre resultater, ett for hver av effektkategoriene.

I denne studien benyttes endpoint-analyser for å presentere resultatene for de tre hovedkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk. I tillegg presenteres resultatene som en enkeltverdi for hvert av rårmaterialene, en såkalt *single score*. Denne verdien er satt sammen av tre delsummer, en fra hver av effektkategoriene, og representerer en totalvurdering av alle aspekter. Delsummene er vektet og normalisert slik at single score-verdien er uten benevning. Jo lavere verdien er, jo færre miljøskadelige utslipp og negative påvirkninger er assosiert med det aktuelle rårmaterialet.

Fra midpoint-analysene presenteres resultatet for tre utvalgte miljøindikatorer. Disse er nærmere beskrevet i de følgende avsnitt:

Klimaendringer [kg CO₂-ekvivalenter]

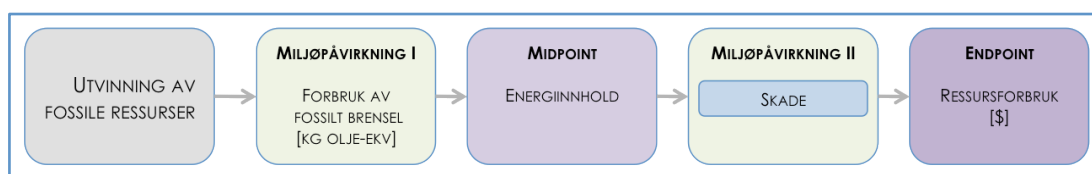
Miljøindikatoren som i ReCiPe kalles *klimaendringer* blir ofte omtalt som potensiell global oppvarming (GWP). Menneskeskapt utslipp av klimagasser bidrar til antropogen drivhuseffekt. Drivhuseffekt er definert som effekten av at atmosfæren kan begrense utstråling av energi fra jorda. Betegnelsen gir et bilde på hvordan atmosfæren i likhet med et drivhus holder på energi i form av varme. De såkalte klimagassene omfatter vanddamp, karbondioksid, lystgass, ozon, metan og klorfluorkarboner. Målet på hvor oppvarmingsaktiv en gass er, altså effekten hver av disse gassene har på den globale oppvarmingen, er oppgitt relativt til CO₂ som er satt til 1. Antropogene utslipp av klimagasser medfører økte konsentrasjoner av disse gassene i atmosfæren, og potensielt kan dette bidra til økte temperaturer, polsmelting, havnivåstigning og regionale klimaendringer. I det hierarkiske perspektivet i ReCiPe er tidsrammen for klimaendringer satt til hundre år. Figur 4.3 viser hvordan denne indikatoren klassifiseres. Som det fremgår av figuren er klimaendringer medvirkende til både menneskelig helse og ytre miljø.



FIGUR 4.3 – INDIKATOREN KLIMAENDRINGER I RECIPES MILJØKATEGORISERINGSSYSTEM (ETTER GOEDKOOP ET AL. 2012)

Forbruk av fossilt brensel [kg olje-ekvivalenter]

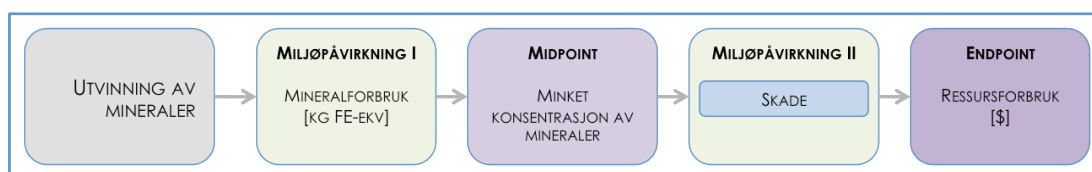
Begrepet fossilt brensel omfatter hydrokarboner som metan, flytende bensin og kull. Det skilles mellom konvensjonelle fossile energikilder som disse, og ukonvensjonelle fossile energikilder som ekstra tung olje, oljesand og oljeskifer. Ukonvensjonelle energikilder er ofte dyrere å foredle, og forbruk av de konvensjonelle brennstoffene bidrar dermed til økte kostnader på to måter; både i form av økt pris grunnet stor etterspørsel, og økte kostnader assosiert med utvinning av ukonvensjonelle energikilder. I denne effektklassen er det forbruk av konvensjonelle energikilder, og hvordan dette påvirker behovet for utvinning av ukonvensjonelle energikilder som ligger til grunn for beregning av påvirkning. Karakteriseringsfaktoren er basert på den projiserte endringen i leveringsforholdet mellom konvensjonelle og ukonvensjonelle energikilder. Det hierarkiske perspektivet benytter et tidsperspektiv på ca 100 år med dagens produksjonsrate, og ser på den marginale kostnadsøkningen etter at 3000 milliarder fat med olje er utvunnet. Figur 4.4 viser hvordan denne miljøindikatoren klassifiseres i ReCiPe.



FIGUR 4.4 – FORBRUK FOSSILT BRENSSEL I RECIPES MILJØKATEGORISERINGSSYSTEM (ETTER GOEDKOOP ET AL. 2012)

Mineralforbruk [kg Fe-ekvivalenter]

Forbruk av minerale ressurser beregnes ut fra mengden mineraler som utvinnes. Hoveddatakilden ved beregning av mineralforbruk er en database fra US Geological Survey som innehar historiske data om mineraluttak fra mer enn 3000 gruver. Skadeomfanget er definert som netto ekstrakostnader (beregnet ut fra nåverdi) samfunnet må betale som følge av en utvinning. Beregningsmetoden er lik for alle tre perspektiver (Goedkoop et al. 2012). Figur 4.5 viser miljøindikatoren mineralforbruk i ReCiPes klassifiseringssystem.



FIGUR 4.5 – INDIKATOREN MINERALFORBRUK I RECIPES MILJØKATEGORISERINGSSYSTEM (ETTER GOEDKOOP ET AL. 2012)

ECO-INDICATOR 99

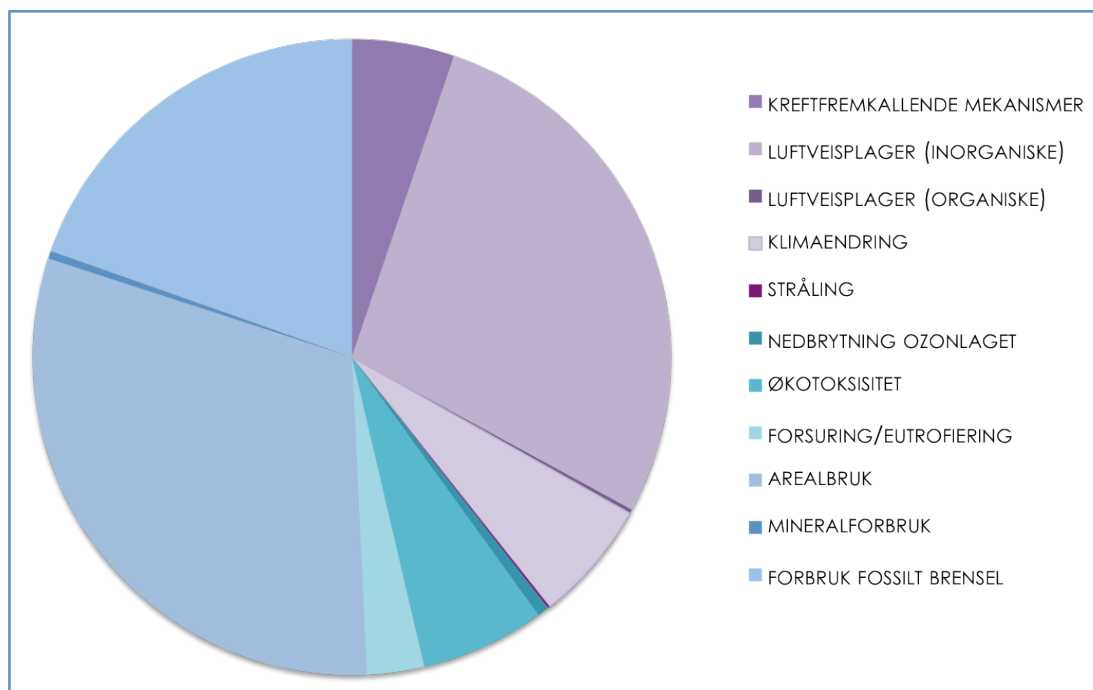
Eco-indicator er en metode som kan benyttes i SimaPro for å vurdere den totale miljømessige belastningen assosiert med et produkt eller tjeneste. Miljøbegrepet er tredelt og innbefatter menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk. Analysemetoden ReCiPe bygger på denne metoden (Goedkoop & Spriensa 2000).

Eco-indicator 99 gir resultater i form av single score-verdier, ut fra ett av tre perspektiver (I/H/E), tilsvarende perspektivene tidligere beskrevet for ReCiPe.

For å få konsekvente resultater benyttes det hierarkiske perspektivet også i disse analysene. Tabell 4.2 viser hvordan de tre effektkategoriene vektet i dette perspektivet i Eco-Indicator. Figur 4.4 viser hvilke miljøindikatorer som inngår i vurderingen, og hvordan disse er vektet i forhold til hverandre.

TABELL 4.2 – ECO-INDICATORS VEKTING AV EFFEKTKATEGORIENE I HIERARKISK PERSPEKTIV

	MENNESKELIG HELSE	YTRE MILJØ	RESSURSFORBRUK
Vekting [%]	40	40	20



FIGUR 4.6 – VEKTING AV MILJØINDIKATORER I ECO-INDICATOR 99

5 LIVSLØPSBESKRIVELSER

Analysene for hvert av rørene følger samme oppsett, men med ulike inngangsdata for råmaterialer og energikilder i produksjonsprosessen, samt forskjellige transportmidler og transportavstander. Livsløpet for hvert av rørene som er analysert er derfor gjengitt i de påfølgende avsnitt, med oversikt over alle inkluderte elementer og valgte inngangsdata. Der ikke annet er oppgitt er informasjon hentet fra de aktuelle rørprodusenter og -leverandører etter møter med disse. Supplerende opplysninger i analysene er estimert på bakgrunn av historiske data vedrørende prosesser eller materialbruk, dette er redegjort for.

5.1 DUKTILT STØPEJERN

Duktile støpejernsrør består hovedsakelig av jern, både råjern og skrapjern. Skrapjernet handles fra det internasjonale smeltejernsmarkedet. Opprinnelsen på råstoffet i rørproduksjonen er dermed svært varierende, og det er vanskelig å bestemme hvordan og hvor langt dette er transportert før det ankommer fabrikk. Jernmalmen som benyttes stammer fra gruvedrift i Sør-Amerika, Asia, Australia, og noe i Europa. Dette leveres fabrikk i Europa hovedsakelig med skipslast til kontinentet, og trailer- og togtransport videre. Videre benyttes koks i produksjonen, og denne leveres enten fra Svalbard eller fra Australia, per skip.

I produksjon underkjennes ca 2-3% av rørene. Skrapjernet fra disse rørene går inn i produksjonen igjen, mens sementdelen gjenbrukes som fyllingsmasse. Rørene som ikke godkjennes etter trykktesting har kun svakheter ved spissenden, og disse rørene kappes 10-15cm inn og kan da likevel benyttes. De ferdigproduserte rørene oppbevares med muffeende mot spissende. Plastikk eller spon legges mellom rørene for å hindre skade på utsiden av disse. Begge rørender emballeres med plastpropp utført i hygienisk tilfredsstillende PE-kvalitet.

Rørene transporteres på trailer til Norge, via ferge fra Danmark til Larvik eller et annet sted langs den norske østkysten. Det fraktes omtrent 20 tonn med rør per trailer, og rørene må lastes på og av ved hjelp av gummierte kroker/gafler styrt fra gravemaskin, truck eller bil. Under transporten er det få skader og det er i hovedsak snakk om kosmetiske riper på rørenes ytre, som kan repareres ved ankomst. Dette gjøres ved påføring av epoxymaling eller annet belegg. Rør som faller av derimot, kan ikke benyttes og må leveres til skraphandler. En del rør fraktes til grossist i Norge, som lagrer rør og leverer på forespørsel. Herfra kjøres rørene på lastebil. Større leveranser av rør går direkte fra fabrikk til anlegg, slik at det blir minst mulig omlasting.

DN 200

Rørene har en indre diameter på 201mm. Et billass kan frakte 20 tonn med rør, dette tilsvarer 538 meter rør, eller 90 rørlengder. Alle rør opp til diameter på 350mm leveres i bunter, med avtagende antall ettersom diameteren øker. DN 200-rør buntet sammen seks og seks, med stropper i stål eller plast. Rørene oppbevares på trebukker, med maks ti rader i høyden. Rørene i denne dimensjonen veier 37kg/meter.

DN 600

Disse rørene har en indre diameter på 605mm. Et billass kan frakte 118 meter rør i denne dimensjonen (20 rørlengder). Rørene stables maksimum fire i høyden, adskilt av tømmerstokker med kvadratisk tverrsnitt. Rørene veier 168kg/meter, hvilket er 4.5 ganger så mye som rørene med DN 200.

ANALYSEN

Inngangsdata vedrørende råstoffsammensetning i støpejernsrørene er hentet direkte ut fra analyse av smeltmassen som benyttes i produksjonen. En tilnærming til den nøyaktige sammensetningen er benyttet i SimaPro, men er konfidensiell utover dette. En oversikt over hovedkomponentene i rørene er listet opp i tabell 5.1:

TABELL 5.1 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET DUKTILT STØPEJERNSRØR

RÅSTOFF	MENGDE (VEKTPROSENT)
Jern (råjern/skrapjern)	93%
Koks (grafitt)	4%
Øvrige tilsetningsstoffer (Mg, Mn, Si +++)	3%

Forholdet mellom råjern og skrapjern varierer med tilgjengelighet og pris på det internasjonale markedet, samt fra fabrikk til fabrikk. Andelen skrapjern er anslått til 90% av begge leverandører som benyttes som kilder i denne studien, mens andre anslag varierer fra minimum 50% og opptil 90%. Forholdet mellom råjern og skrapjern kan spille en stor rolle i livsløpsregnskapet, og det er utført en egen analyse med høyere andel råjern for å se hvordan dette endrer totalbildet av livsløpsanalysen for duktile støpejernsrør.

Energiforbruket i form av elektrisitet og gass er oppgitt som fabrikkens totalkostnader per år for en produksjon på 90 000 tonn rør: 5.8 millioner euro. Det har ikke vært mulig å få mer spesifikke data fra leverandørene som er kilder i denne studien. Det er derfor utarbeidet en tilnærming til rørenes energiforbruk, basert på data for stålindustri, kombinert med data vedrørende stedsspesifikke strøm- og gasspriser:

Elektrisitet levert til industri (Tyskland): € 102 400 per GWh (*Electricity Industry* 2012)

Naturgass levert til industri (Tyskland): € 46 200 per GWh (*Natural Gas Industry* 2012)

Opplysningene i tabell 5.2 er hentet og omregnet fra tabell om energiforbruk "Energy Consumption" (U.S EIA 2010), og viser totalforbruket av elektrisitet og gass i amerikansk jern- og stålindustri for tre år:

TABELL 5.2 - FORBRUK AV ELEKTRISITET OG GASS I STÅL- OG JERNINDUSTRIEN (ETTER US EIA 2010)

ENERGIFORM / ÅR	2007	2008	2009
X = Elektrisitet [GWH]	60 146	53 592	18 705
Y = Gass [GWH]	124 091	115 884	54 491
Forhold (X:Y)	1:2.06	1:2.16	1:2.91

Gjennomsnittlig forholdstall mellom X og Y for disse tre årene er 2.38. Det gir følgende likning for kostnadsbidraget fra X og Y, henholdsvis elektrisitet og gass:

$$102\,400 X + 46\,200 Y = 5\,800\,000$$

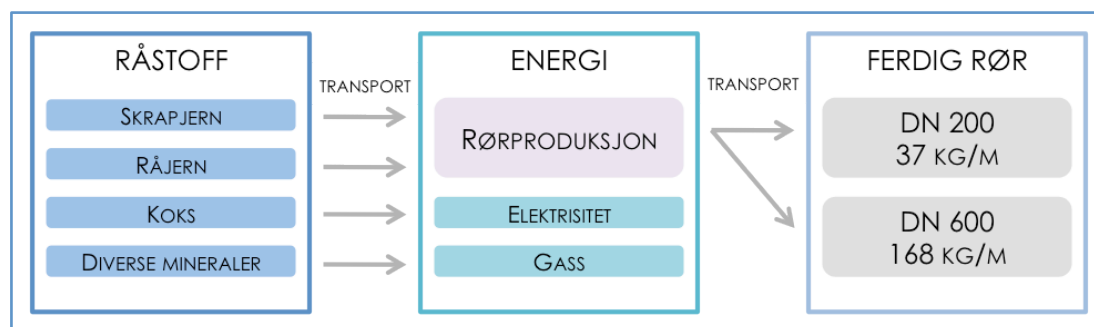
$$102\,400 X + 46\,200 * (2.38 X) = 5\,800\,000$$

$$X = 27.3 \text{ GWh}$$

$$Y = 65.0 \text{ GWh}$$

Fordelt på en årlig produksjon av 90 000 tonn rør blir elektrisitetsforbruket på 0.30kWh/kg rør, og gassforbruket på 0.72kWh/kg rør. Disse verdiene benyttes for energiforbruk i livsløpsanalysene av duktile støpejernsrør.

Råstoffenes opprinnelsessted og transport til fabrikk er anslått av leverandør i samråd med fabrikk. Transport av ferdigproduserte rør er dokumentert av leverandør, både med hensyn på type transportmidler og avstander. En skjematisk fremstilling av livsløpet til duktile støpejernsrør, slik det analyseres i SimaPro, vises i figur 5.1:



FIGUR 5.1 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE DUKTILE STØPEJERNSRØRENE

5.2 GLASSFIBERARMERT POLYESTER (GRP)

GRP-rør ble tidligere produsert i Norge, men leveres nå fra fabrikker i Europa. Hovedandelen av leveranser til Norge kommer fra en fabrikk i Gdansk i Polen. Råstoffene som benyttes er tilgjengelig fra utallige kilder, såfremt de tilfredsstiller kvalitetskravene rørprodusentene har satt.

DN 200

Denne rørdimensjonen, med indre diameter på 208.9mm, er ikke vanlig i Norge da GRP-rør i størst grad benyttes ved diametre fra 500mm og oppover, grunnet økonomisk konkurransedyktighet i dette segmentet. GRP-rør i dimensjonsspekeret 100-300mm produseres kun i Tyskland, i en diskontinuerlig prosess med rørlengder på seks meter. Herfra transporteres rørene med bil til destinasjon i Norge. Det går 768 meter rør (127 rørlengder) av denne dimensjonen på et billass. Rørene veier 6.8kg/meter.

DN 600

GRP-rør i denne dimensjonen (indre diameter 604 mm) leveres i lengder på 12 meter fra fabrikk, og fraktes med bil til anleggssted i Norge. En bil kan transportere 192 meter rør (16 rørlengder) av aktuelle rørdimensjon. Disse rørene veier 30.6 kg/meter, 4.5 ganger så mye som rørene med nominell diameter på 200mm.

ANALYSEN

Rørenes råstoffsammensetning er oppgitt av Flowtite Technology AS (Hausberg 2012). Sammensetningen varierer med diameteren, og mengden glassfiber øker betraktelig med økt rørdiameter. Fordelingen av råstoff for DN 200 og DN 600 er gitt i tabell 5.3.

TABELL 5.3 – FORDELING AV RÅSTOFF I GRP-RØR

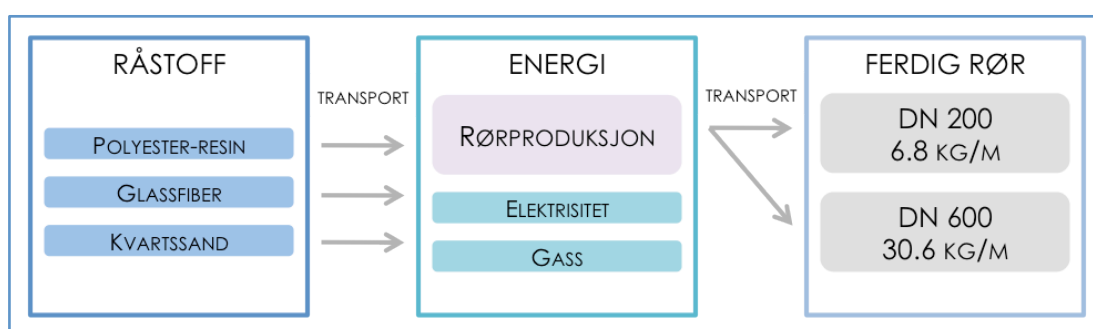
RÅSTOFF	MENGDEN (KG PER METER RØR)	
	DN 200	DN 600
Polyester-resin	2.3	8.5
Glassfiber	1.9	12.1
Kvartssand	2.6	10.0

Inngangsdata vedrørende energiforbruk er hentet fra en omfattende LCA-analyse (Ressourcen Management Agentur GmbH 2011) av Flowtites GRP-rør. Analysen tar for seg Flowtites rørproduksjon i Spania. Hovedmengden av produksjonsdata i denne

analysen er fra 2009. Energiforbruket er beregnet ut fra fabrikkens totalforbruk av elektrisitet og gass, og total årlig rørproduksjon:

Totalproduksjon GRP-rør:	22 431 tonn		
Elektrisitetsforbruk:	3 365 245kWh	=	0.15kWh/kg rør
Liquefied petroleum gas (LPG):	185 714 liter	=	0.054 liter/kg rør

Transport av råstoff til fabrikk i Spania er nøye dokumentert av produsent. Type transportmidler og avstander for transport av ferdigproduserte rør er gitt av leverandør. Figur 5.4 viser en forenklet versjon av livsløpet til GRP-rør.



FIGUR 5.2 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE GRP-RØRENE

5.3 POLYETYLEN (PE)

PE-rør leveres det norske markedet hovedsakelig fra fabrikker i Norge, og øvrig i Skandinavia. Produksjonsråstoffet er PE-granulat levert fra Borealis. Det som vrakes i løpet av produksjonsfasen går inn i smelten igjen, og benyttes i ny rørproduksjon. Det opereres med en øvre grense for innhold av regranulat i hvert enkelt rør, men alt som kasseres inne på fabrikk gjenbrukes på stedet. Hovedandelen av kasserte rør stammer fra overgangen mellom rørserier av ulike farger; her produseres 30-40 meter med fargegradert rør som ikke har en tydelig fargeidentitet, og denne lengden må derfor omsmeltes.

Ferdigproduserte rør oppbevares utendørs, og dekkes til med blikktak eller presenning. Under frakt er rørene buntet med treramme og stålbånd hver tredje meter. Såfremt en leveranse er stor nok til å fylle en bil, leveres rørene direkte fra fabrikk til anlegg, ellers går det via grossist sentralt på Østlandet. Transport foregår hovedsakelig med trailer, og rørene kommer i rette lengder a' 6 eller 12 meter. Et unntak er rørene som produseres på Pipelifes fabrikk i Stathelle – her kan rør produseres direkte i vannet, og leveres som sjøslep i opptil 550 meters lengder.

Ved levering på anlegg benyttes løfteverktøy for å lempe rørbuntene av bilen. Mindre dimensjoner, særlig i seks meters lengder, er mulig å håndtere uten løfteredskaper. Ved større/lengre rør benyttes løftekran. Det er gjenbruk av rørkapp på anlegg så langt det lar seg gjøre, og det er ofte kun små rørstumper som ikke blir brukt. Disse håndteres av entreprenør, og går ofte til forbrenningsanlegg. Her fungerer plasten som et alternativ til fyringsolje, da den har god brennverdi. Nye rør som skades under transport, eller rør som er blitt solbleket ved utendørs oppbevaring, kan omsmeltes og benyttes i ny rørproduksjon, såfremt de ikke er utsatt for annen forurensning enn det som eventuelt er i luften. Ellers kan brukte rør gjenbrukes i andre plastprodukter med mindre krav til styrke og hygiene. En av grunnene til at rør av ukjent opprinnelse ikke benyttes i ny rørproduksjon er strenge hygieniske krav til materialer i kontakt med drikkevann. Blant annet er det fare for blyinnhold i gamle rør.

DN 250

Rørene i denne dimensjonen oppbevares med PE-propp i begge ender, uten ytterligere emballasje. De analyserte rørene har SDR-verdi 11, hvilket tilsvarer nominelt trykk på 16 bar. Disse rørene har en indre diameter på 204.6mm og veier 16.9kg/meter.

DN 710

Disse rørene er forholdsvis tykkveggede og har en indre rørdiameter på 581 mm. Rørene oppbevares utendørs på trepaller, med PE-propp i begge rørender. Rørene i denne dimensjonen er også analysert for SDR-verdi 11, og har en vekt på 112 kg/meter, hvilket er omtrent 6.6 ganger så mye som rørene med DN 250.

ANALYSEN

Inngangsdata vedrørende råstoff er hentet fra plastprodusenten Borealis som leverer PE-granulat direkte til rørfabrikk. Følgende opplysninger vedrørende PE100-materialet er oppgitt, og inngår i livsløpsanalysen av PE-rør:

TABELL 5.4 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET PE-RØR

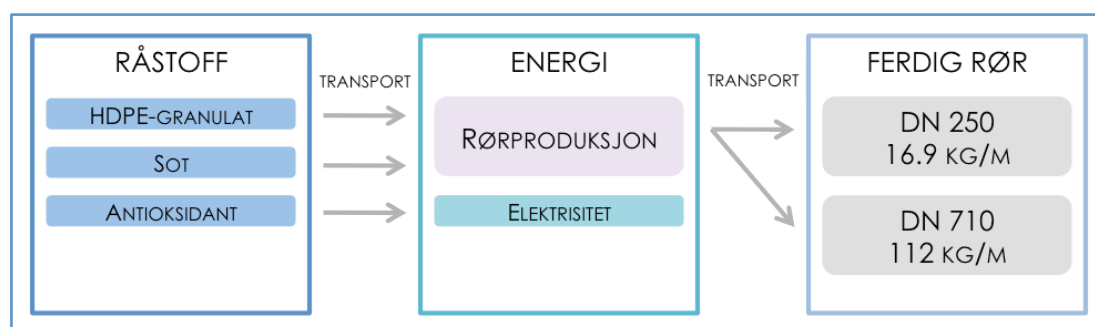
RÅSTOFF	MENGDE (VEKTPROSENT)
HDPE (High Density Polyethylene)	> 95%
Sot (Black Carbon)	ca 2.5%
Antioksidant (uspesifisert)	"liten andel"

Den konfidensielle ingrediensen (antioksidant) er utelatt i analysen, da det er vanskelig å finne en god tilnærming til et ukjent stoff i ukjent mengde. Det antas at

det som beskrives som en "liten andel" vil ha liten innvirkning på rørets totale påvirkningsbilde.

Energiforbruket er oppgitt til 0.6kWh/kg rør. Denne verdien benyttes direkte i analysene i SimaPro.

Informasjon om transport av PE-granulat til fabrikk er hentet fra rørprodusent. Type transport og avstander for levering av ferdigproduserte rør er også dokumentert av rørprodusent. En skjematisk fremstilling av livsløpet til et PE-rør er vist i figur 5.3.



FIGUR 5.3 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DE ANALYSERTE PE-RØRENE

5.4 POLYVINYLKLORID (PVC)

PVC-rørene på det norske markedet produseres i all hovedsak i Norge og i Danmark, i dimensjonsspekteret 63-400mm. Fabrikken i Danmark benytter PVC produsert i Norge og i Nederland, i omtrent like store mengder. Plasten transporteres først på båt, og videre med bil på det danske fastlandet. Ferdigproduserte rør transporteres med bil, eventuelt via ferge fra Danmark. I den grad det er mulig leveres rørene direkte til anleggsplass, men rørdimensjoner som benyttes mye mellomlagres hos grossist for å sikre tilgjengelighet og muliggjøre rask levering.

DN 225

Rørene leveres i lengder på seks meter. Rørene oppbevares utendørs på trepaller. Valgte rør til analysen har SDR-verdi 21, og veier i underkant av 12kg/meter. Indre rørdiameter er 203.5mm.

ANALYSEN

Informasjon om råstoff, herunder sammensetning og mengder, er gitt av PVC-produsenten Ineos som leverer råstoff til de rørfabrikker som er benyttet som kilder i denne studien. Tabell 5.5 viser sammensetningen av råstoff i et PVC-rør:

TABELL 5.5 – FORDELING AV RÅSTOFF I ET PVC-RØR

RÅSTOFF	MENGDE (VEKTPROSENT)
PVC	95.7 – 95.9%
Kalsiumkarbonat	1.9%
OBS (organisk basert stabilisator)	1.9 – 2.1%
Masterbatch (pigment)	0.3%

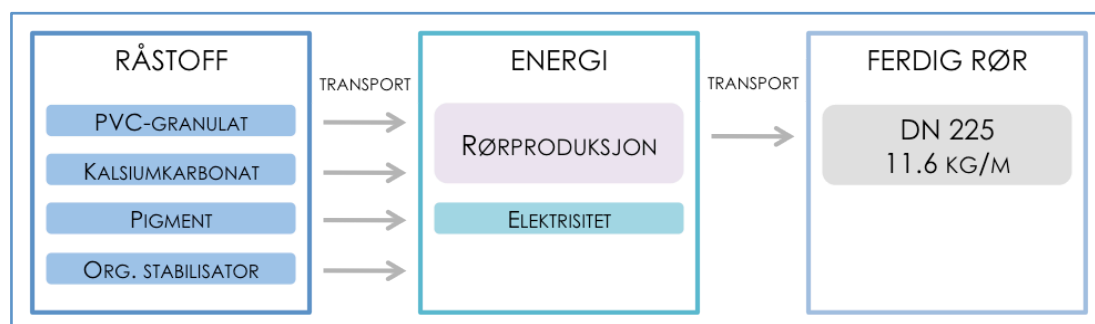
Energiforbruket er oppgitt som elektrisetskostnader per produserte rør av typen DN 225 PN 12.5 trykkør 6 meter:

Elforbruk rør	=	23.16DKK
Elforbruk mixeri	=	5.50DKK
Totalkostnad	=	28.66DKK
28.66 DKK	=	3.84€ (per 19.10.12)

Elektrisitet levert til industri (Danmark): € 0.0982 per kWh (*Electricity Industry* 2012)

En elektrisetskostnad på 3.84€ per produserte rørlengde av gitte rørtipe tilsvarer dermed 39.1 kWh/rør, eller 0.56kWh/kg rør. Sistnevnte verdi benyttes i SimaPro.

Informasjon vedrørende transport av råstoff og ferdigproduserte rør, både type transport og avstander er dokumentert av rørprodusent. Figur 5.4 viser en skjematisk fremstilling av livsløpet til PVC-rør.



FIGUR 5.4 – SKJEMATISK FREMSTILLING AV LIVSLØPET TIL DET ANALYSERTE PVC-RØRET

6 RESULTATER

I dette kapittelet presenteres resultatene fra livsløpsanalysene utført i SimaPro. Alle resultater er gitt for valgte funksjonelle enhet; et ledningsstrek på 100 meter levert på anleggsplass. Livsløpene er delt inn i fasene råstoff, energiforbruk og transport. For nærmere presiseringer av livsløpsfasene vises det til kapittel 4.2.

I figurene er livsløpsfasene råstoff, energi og transport merket med hver sin farge, henholdsvis **blå**, **turkis** og **grå**.

I utgangspunktet var det tenkt at resultatene både for D_i 200 og D_i 600 skulle presenteres. Med det informasjonsgrunnlaget som nå foreligger, der det aller meste av inngangsdata er gitt som antall kg eller antall kWh per kg rør, er resultatene for den største rørdiameteren kun en oppskalering av resultatene for D_i 200 for duktile støpejernsrør, GRP-rør, og PE-rør. Det har dermed liten hensikt å presentere disse i sin helhet. De nedenstående resultater er derfor gjeldende for rør med indre diameter på tilnærmet 200mm. Betydningen av økte rørdiameterer er omhandlet i kapittel 6.3.

6.1 INDIVIDUELLE RESULTATER

Resultatene for hvert av rørmaterialene presenteres i de påfølgende avsnitt. Resultatene er hentet ut ved hjelp av presentasjonsmetoden ReCiPe med hierarkisk perspektiv, som beskrevet i kapittel 4.4. I de individuelle resultatene presenteres kun funnene fra midpoint-analysene:

Midpoint

Her presenteres resultatene for miljøindikatorene klimaendringer, mineralforbruk og forbruk av fossilt brensel. Resultatene viser den interne fordelingen av påvirkning mellom råstoff, energi og transport i rørenes livsløp.

Tabellene viser omfanget av miljøpåvirkninger for hvert av rørmaterialene. Påvirkningene er fordelt mellom råstoff, energiforbruk og transport i rørenes livsløp.

Figurene gir en grafisk fremstilling av hvordan påvirkningene fra de tre livsløpsfasene fordeler seg for alle tre miljøindikatorer.

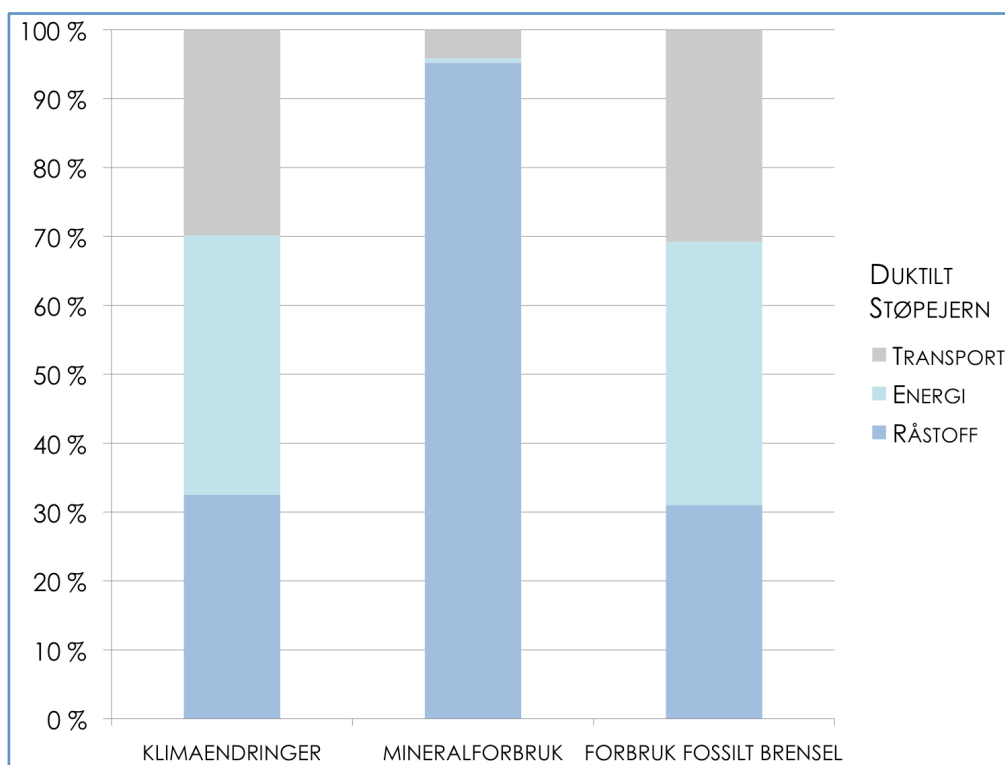
DUKTILT STØPEJERN

Midpoint

Tabell 6.1 viser bidragene fra livsløpsfasene råstoff, energi og transport for miljøindikatorerne klimaendringer, mineralforbruk og forbruk fossilt brensel, mens figur 6.1 viser fordelingen mellom bidrag fra de tre livsløpsfasene. Fordelingen er veldig lik for klimaendringer og forbruk fossilt brensel, med størst bidrag fra energi, og litt mindre fra transport og råstoff. For miljøindikatoren mineralforbruk derimot, er det bidraget fra råstoff som dominerer fullstendig. Dette er ikke overraskende med tanke på at duktilt støpejern i all hovedsak består av jern, som er en av ressursene som inngår i miljøindikatoren mineralforbruk. Bidraget fra transport er større enn bidraget fra energi til denne miljøindikatoren, men begge synes nokså ubetydelige sammenlignet med bidragsandelen fra livsløpsfasen råstoff.

TABELL 6.1 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – DUKTILT STØPEJERN

		RÅSTOFF	ENERGI	TRANSPORT
KLIMAENDRINGER	[KG CO ₂ -EKV]	1096	1268	1006
MINERALFORBRUK	[KG FE-EKV]	978	7	43
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	[KG OLJE-EKV]	369	454	366



FIGUR 6.1 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENES PÅVIRKNING, MIDPOINT – DUKTILT STØPEJERN

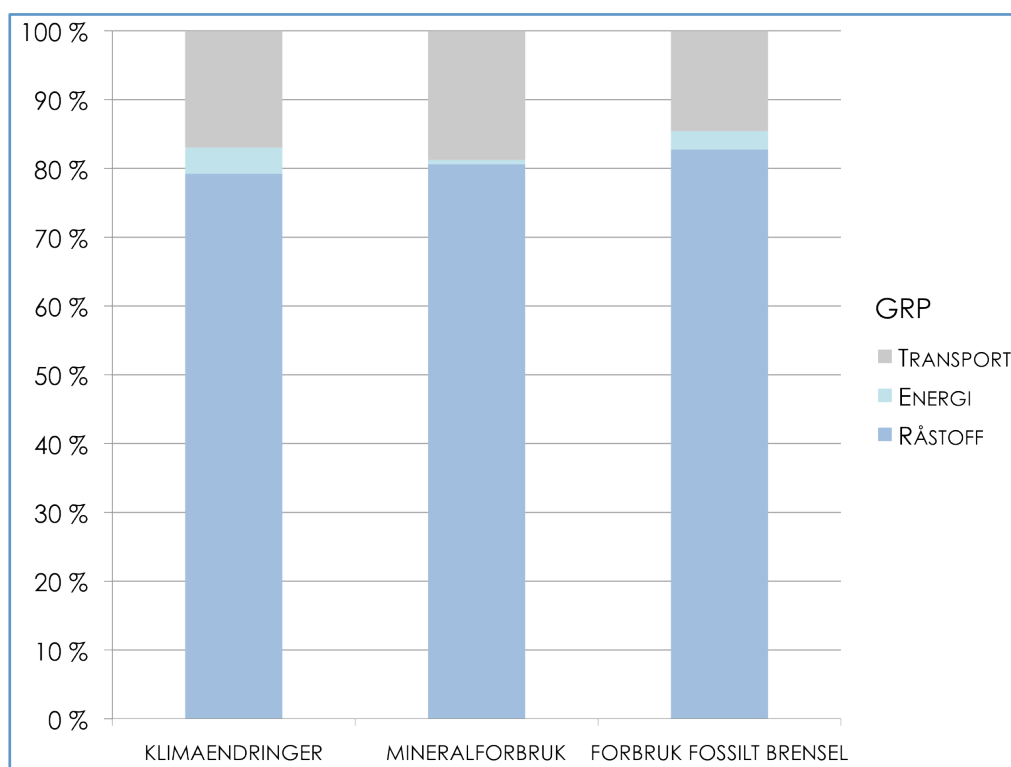
GLASSFIBERARMERT POLYESTER (GRP)

Midpoint

Resultatene fra midpoint-analysen for GRP-rør kan studeres i tabell 6.2. En grafisk fremstilling av bidragsfordelingen mellom livsløpsfasene vises i figur 6.2. Den relative fordelingen er nokså systematisk, og bidraget fra råstoff utgjør i alle tilfeller godt over 70 prosent av totalen, mens energifasen er den minste bidragsyteren. En nærmere titt på analyseresultatene fra SimaPro viser at de forskjellige råmaterialene bidrar nokså ulikt til hver av miljøindikatorene. For klimaendringer og forbruk fossilt brensel er det polyester som står for den største andelen, mens det for mineralforbruk er glassfiber som dominerer påvirkningene. Kvarssanden bidrar forsvinnende lite i alle tilfeller, til tross for at sanden utgjør omtrent en tredjedel vektmessig.

TABELL 6.2 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – GRP

		RÅSTOFF	ENERGI	TRANSPORT
KLIMAENDRINGER	[KG CO ₂ -EKV]	1278	61	274
MINERALFORBRUK	[KG FE-EKV]	50	0.4	12
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	[KG OLJE-EKV]	570	18	100



FIGUR 6.2 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENES PÅVIRKNING, MIDPOINT – GRP

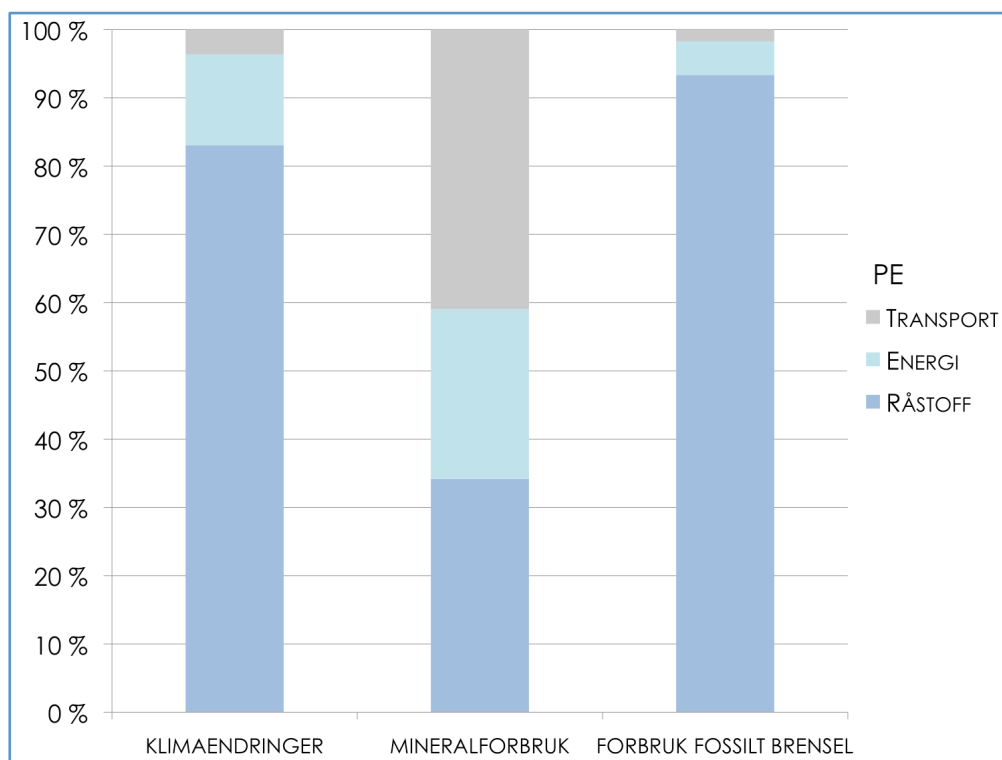
POLYETYLEN (PE)

Midpoint

Tabell 6.3 og figur 6.3 viser fordelingen mellom livsløpsfasene for PE-rør. Fordelingen av påvirkning til miljøindikatorene klimaendringer og forbruk fossilt brensel er nokså like i den forstand at størsteparten av påvirkningene kommer fra livsløpsfasen råstoff. Dog er bidraget fra både energi og transport omtrent dobbelt så stort for klimaendringer som for forbruk fossilt brensel. For miljøindikatoren forbruk fossilt brensel er andelen fra råstoff på drøye 90 prosent, mens det er i overkant av åtti prosent for klimaendringer. Påvirkningene er jevnest fordelt for miljøindikatoren mineralforbruk; her står livsløpsfasen råstoff for en tredjedel nokså nøyaktig, transport utgjør ca 40 prosent, og energi den resterende andelen. Her er det altså transportfasen som bidrar mest, i motsetning til de to andre miljøindikatorene, hvor transportfasen bidrar minst.

TABELL 6.3 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – PE

		RÅSTOFF	ENERGI	TRANSPORT
KLIMAENDRINGER	[KG CO ₂ -EKV]	3260	523	143
MINERALFORBRUK	[KG FE-EKV]	5	4	6
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	[KG OLJE-EKV]	2879	152	53



FIGUR 6.3 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENES PÅVIRKNING, MIDPOINT – PE

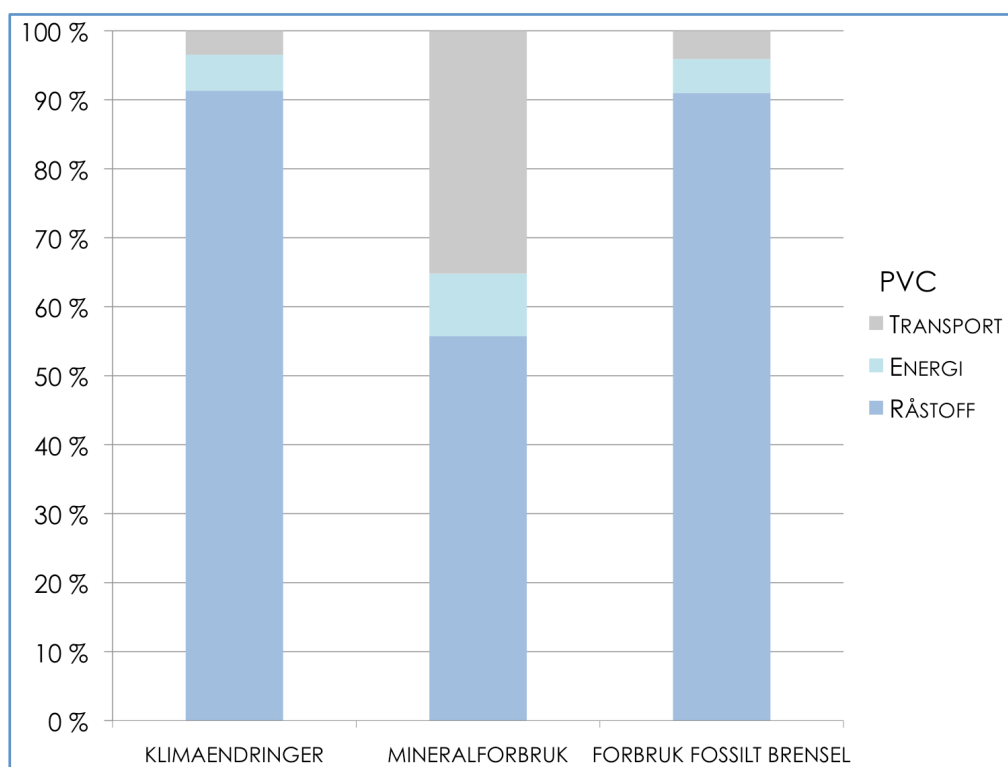
POLYVINYLKLOORID (PVC)

Midpoint

Tabell 6.4 og figur 6.4 viser fordelingen mellom livsløpsfasene til rørmaterialet PVC. I livsløpet til et PVC-rør er det bidraget fra fasen råstoff som utgjør størsteparten av påvirkningene. Fordelingen mellom livsløpsfasene råstoff, energi og transport er nærmest identisk for klimaendringer og forbruk fossilt brensel, med bidrag på henholdsvis 91, 5 og 4 prosent. Påvirkningene til mineralforbruk skiller seg ut, her utgjør råstoffandelen en drøy halvpart, mens transport utgjør ca 35 prosent. Energifasen står for omtrent ti prosent, altså omtrent dobbelt så mye som bidraget til de to andre miljøindikatorerne. Tilsvarende figur for PE-rør likner denne, med unntak av at energifasens bidrag til både klimaendringer og mineralforbruk er mindre for PVC, som her har et større bidrag fra råstoff.

TABELL 6.4 – BIDRAG TIL UTVALGTE MILJØINDIKATORER – PVC

		RÅSTOFF	ENERGI	TRANSPORT
KLIMAENDRINGER	[KG CO ₂ -EKV]	5576	318	212
MINERALFORBRUK	[KG FE-EKV]	14	2	9
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	[KG OLJE-EKV]	1726	93	77



FIGUR 6.4 – FORDELING AV DE ULIKE LIVSLØPSFASENE PÅVIRKNING, MIDPOINT – PVC

6.2 SAMMENSTILTE RESULTATER

I dette delkapittelet presenteres sammenstilte resultater for de fire analyserte rørmaterialene. Her vises resultatene fra presentasjonsmetodene ReCiPe og Eco-Indicator 99.

Fra ReCiPe presenteres resultatene fra både midpoint- og endpoint-analysene. Her er hensikten å vise forskjellene mellom de ulike rørmaterialene, både fordelt på ulike faser i livsløpet, og totalt sett.

Midpoint

Her presenteres funnene fra midpoint-analysene i ReCiPe, for de tre miljøindikatorne klimaendring, mineralforbruk og forbruk av fossile brensler. Grafer som viser fordelingen mellom bidrag fra livsløpsfasene råstoff, energi og transport for hvert av rørmaterialene, samt grafer som viser totalpåvirkningen fra hvert av rørmaterialene presenteres for hver av de tre miljøindikatorne.

Endpoint

Her presenteres totalpåvirkningen rørene har på de tre miljøkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk. Figurene viser både fordelingen av påvirkninger fra hver livsløpsfase, og totalpåvirkningen fra hvert rør.

Single score

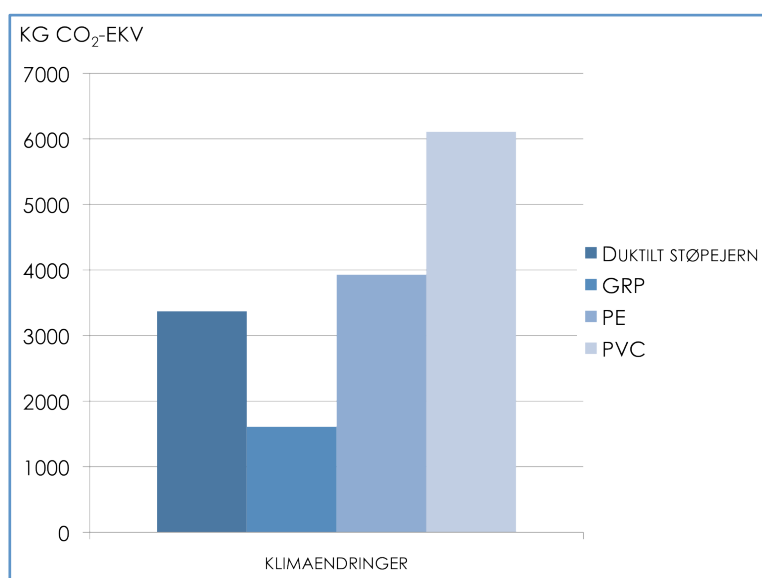
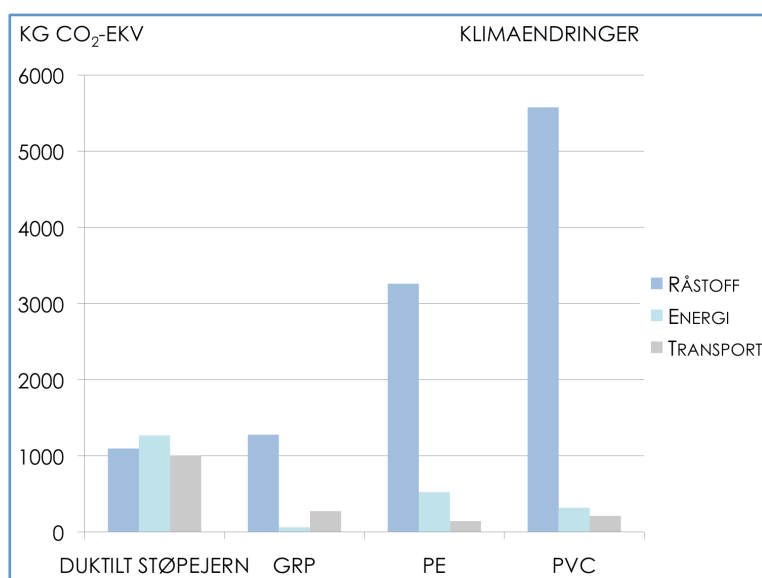
Til slutt presenteres single score-verdiene for hvert av rørmaterialene, både fra ReCiPe og fra Eco-Indicator 99. Her gis resultatet i form av grafer som viser single score-verdiene for alle rørmaterialene. Verdiene er i begge tilfeller satt sammen av delsummer fra miljøkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk.

Merk at alle resultater er gitt for hver av rørmaterialenes funksjonelle enhet; 100 meter rør med D_i 200 mm levert på anleggsplass.

RECIPE MIDPOINT

Klimaendringer

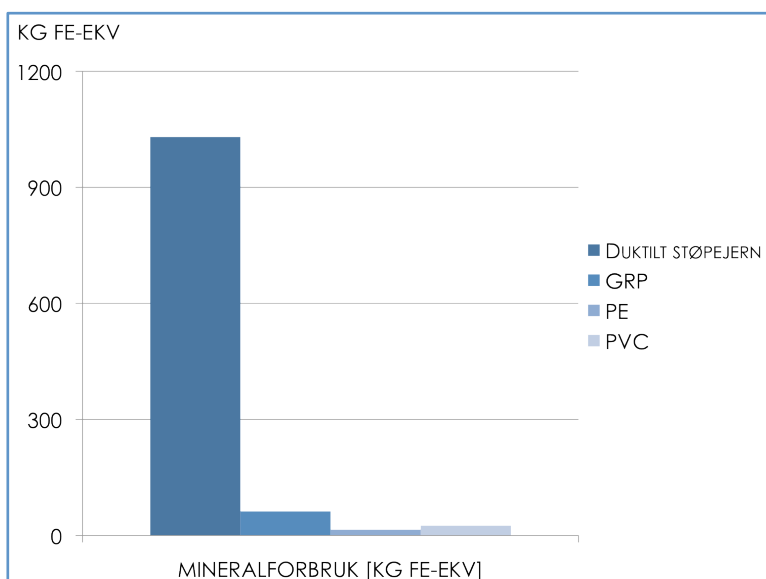
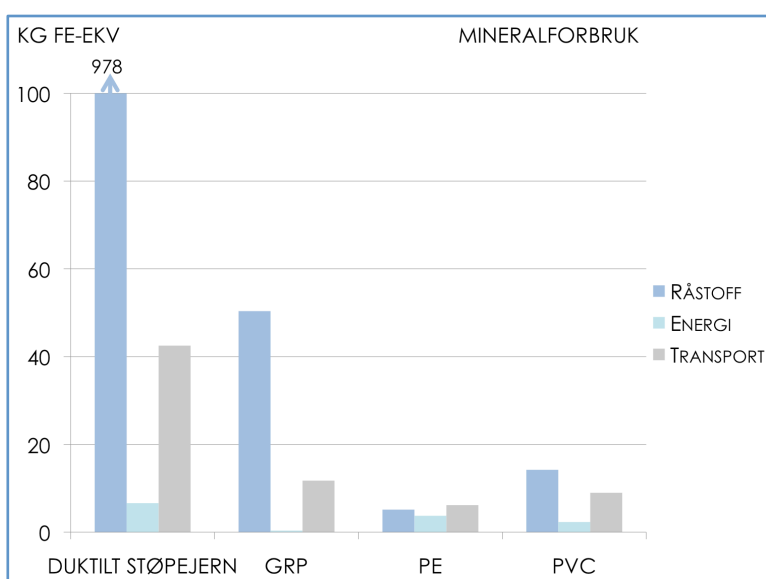
Figur 6.5 og 6.6 viser påvirkningene de ulike rørmaterialene har på miljøindikatoren *klimaendringer*. For de plastbaserte materialene PE og PVC er det livsløpsfasen råstoff som bidrar med den største andelen av påvirkningene. PVC skiller seg ut med det desidert største bidraget, både fra råstoff og totalt sett. Duktilt støpejern står for det minste bidraget fra livsløpsfasen råstoff, mens påvirkningene både fra energifasen og transportfasen er større enn bidragene fra de tre andre rørmaterialene til sammen. GRP-rør skiller seg positivt ut med et bidrag på under 2000kg CO₂-ekvivalenter, hvilket er omtrent halvparten av utslippet forbundet med duktile støpejernsrør som står for det nest minste totalbidraget.



FIGUR 6.5 OG 6.6 – RØRMATERIALENE'S PÅVIRKNING PÅ MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRING

Mineralforbruk

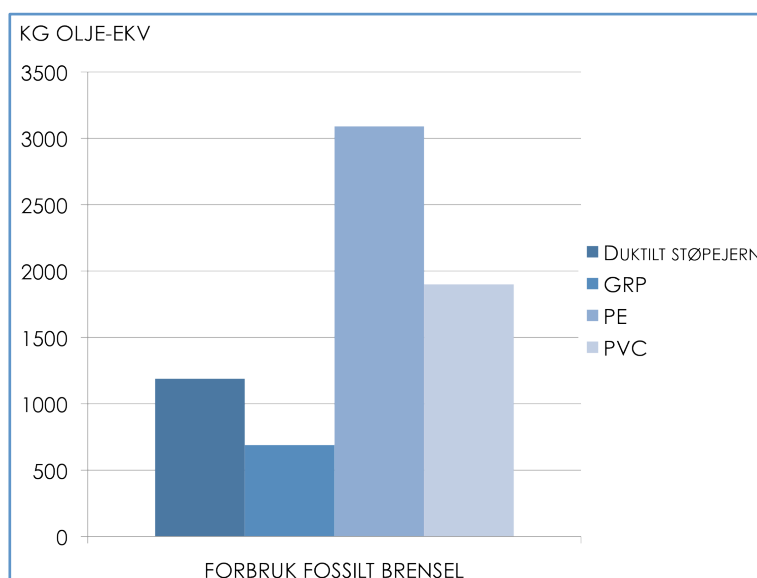
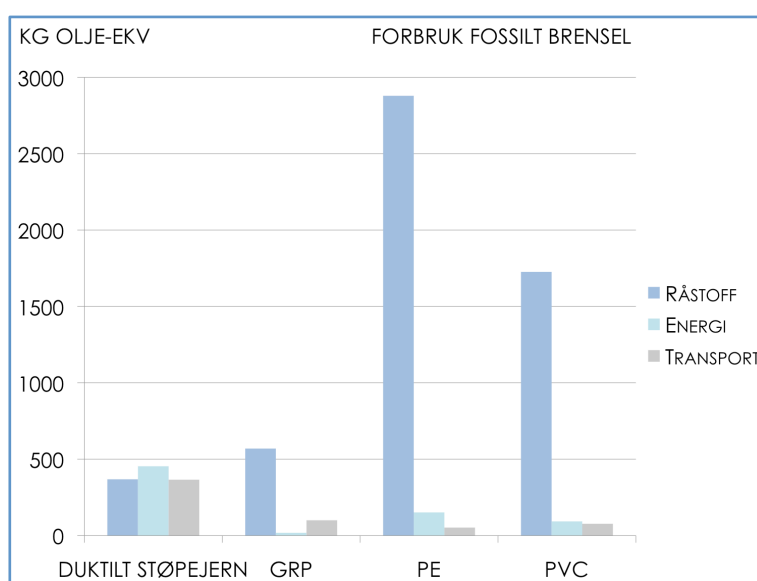
Figur 6.7 og 6.8 viser rørmaterialenes påvirkning til miljøindikatoren mineralforbruk. Figurene er fullstendig dominert av bidraget fra rørmaterialet duktilt støpejern. Hovedsakelig er det livsløpsfasen råstoff som bidrar, men også bidraget fra energi- og transportfasen er større enn for de andre rørmaterialene. GRP står for det nest største bidraget fra råstoff og transport, og det nest største bidraget totalt sett, selv om energifasen bidrar forsvinnende lite. PE kommer best ut med det laveste totalforbruket, mens PVC har litt høyere verdier for råstoff- og transportfasen. Merk at det totale mineralforbruket knyttet til duktile støpejernsrør er over ti ganger så stort som det samlede mineralforbruket fra GRP, PE og PVC til sammen.



FIGUR 6.7 OG 6.8 – RØRMATERIALENES PÅVIRKNING PÅ MILJØINDIKATOREN MINERALFORBRUK
MERK AT BIDRAGET FRA RÅSTOFF I DUKTILT STØPEJERN ER HØYERE ENN DET SOM FREMGÅR AV KOLONNEN I FIGUR 6.13

Forbruk fossilt brensel

Figur 6.8 og 6.9 viser rørmaterialenes påvirkning til forbruk fossilt brensel. For denne miljøindikatoren viser figur 6.9 at det er råstoffet forbundet med de plastbaserte rørmaterialene som bidrar med den største andelen. PE-rør står for den største påvirkningen fra råstoff, og også samlet for alle livsløpsfaser, som vist i figur 6.10. PVC har et mindre bidrag, men påvirkningene er likevel betydelig større enn påvirkningene fra duktilt støpejern og GRP. Duktilt støpejern er det rørmaterialet som har minst påvirkning fra livsløpsfasen råstoff, mens GRP-rør bidrar med minst påvirkning totalt. Samlet sett er bidraget fra GRP og duktilt støpejern til denne miljøindikatoren mindre enn bidraget fra PE alene.

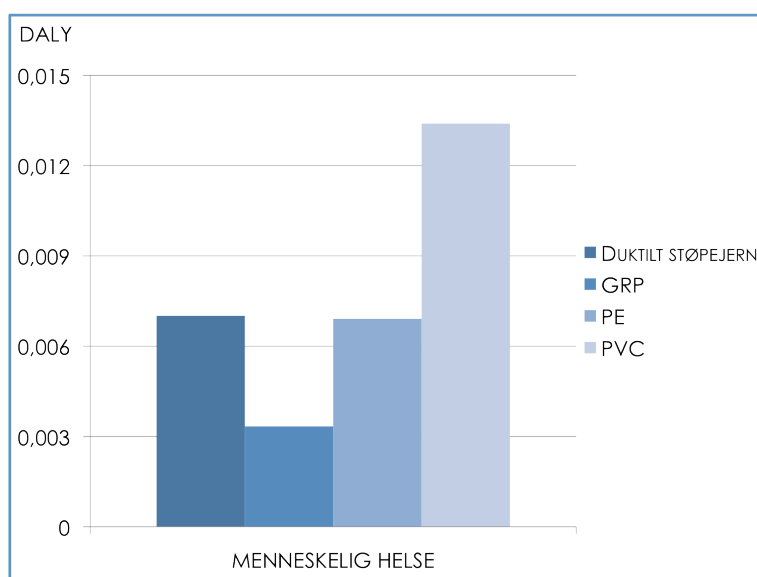
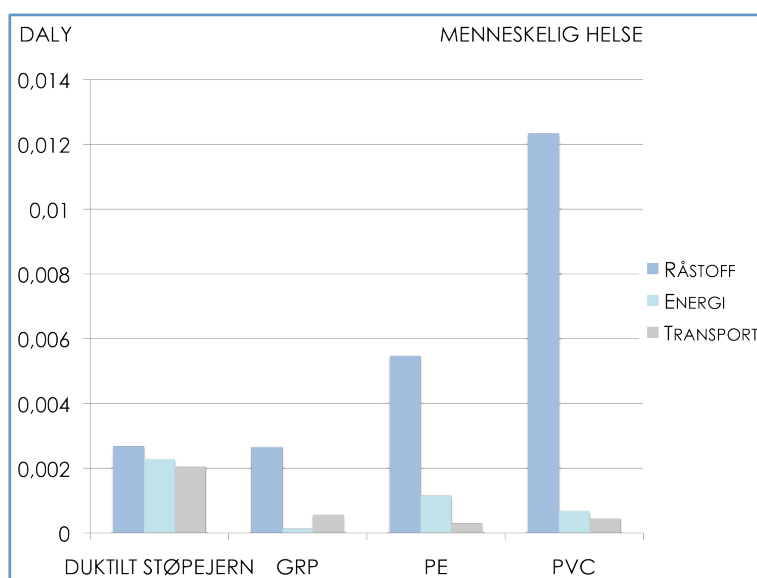


FIGUR 6.9 OG 6.10 – RØRMATERIALENES PÅVIRKNING PÅ FORBRUK FOSSILT BRENSEL

RECIPE ENDPOINT

Menneskelig helse

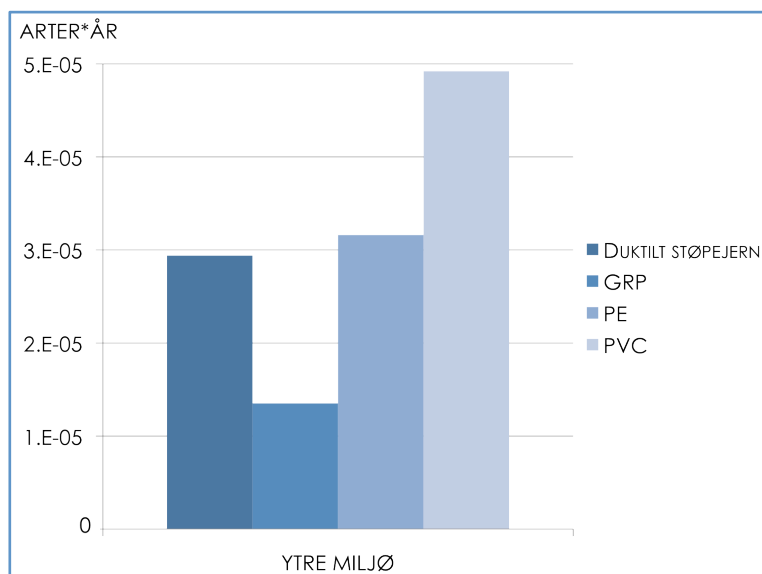
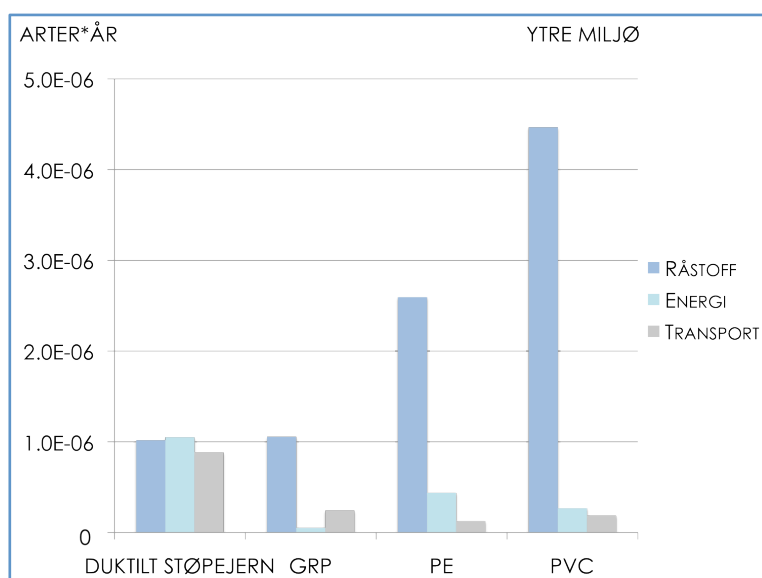
Figur 6.11 og 6.12 viser hvordan de ulike rørmaterialene virker inn på effektkategorien *menneskelig helse*. Både den interne fordelingen og totalpåvirkningen likner resultatene for klimaendringer, grafisk fremstilt i henholdsvis figur 6.5 og 6.6. PVC skiller seg ut med et stort bidrag fra livsløpsfasen råstoff, som er mer enn dobbelt så stort som tilsvarende bidrag fra PE. Påvirkningsandelen fra rørens energifase er størst for duktilt støpejern og minst for GRP. Duktilt støpejern har det nest største totalbidraget, dog er ikke PE stort bedre. GRP er det materialet som kommer best ut.



FIGUR 6.11 OG 6.12 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN MENNESKELIG HELSE

Ytre miljø

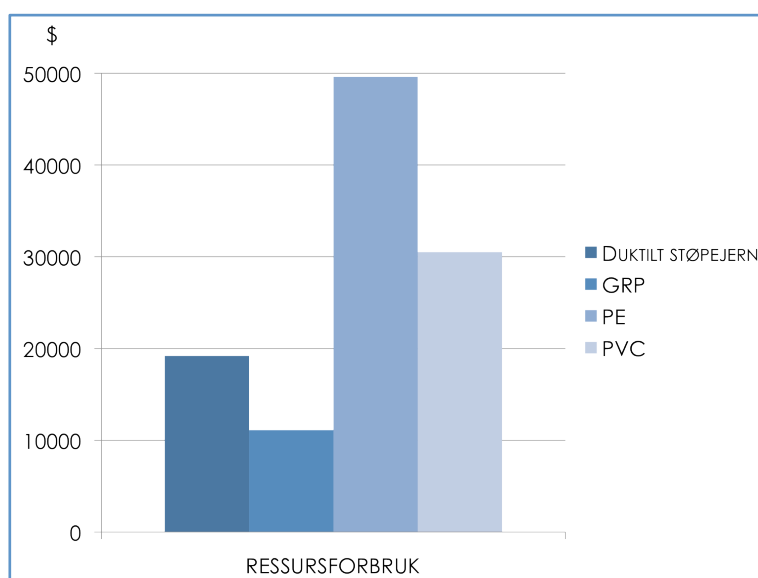
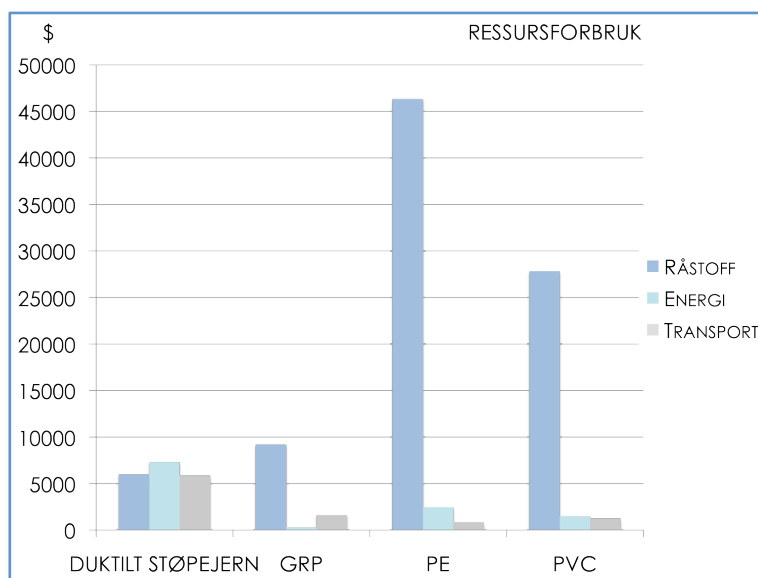
Resultatene for effektkategorien *ytre miljø* vises i figur 6.13 og 6.14. Fordelingen fra foregående effektkategori gjentas nokså konsekvent. Verdiene for PVC er relativt sett lavere her, men fortsatt vesentlig høyere enn for de øvrige materialene. Bidraget fra PE er det nest største, hovedsakelig fra livsløpsfasen råstoff. Bidraget fra duktilt støpejern er marginalt mindre, med hovedvekten av påvirkninger fra energi- og råstoff-fasen, og litt mindre fra transportfasen. GRP kommer best ut med det desidert laveste totalbidraget, hvorav mesteparten kommer fra livsløpsfasen råstoff og forsvinnende lite fra energifasen.



FIGUR 6.13 OG 6.14 – RØRMATERIALENE'S PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN YTRE MILJØ

Ressursforbruk

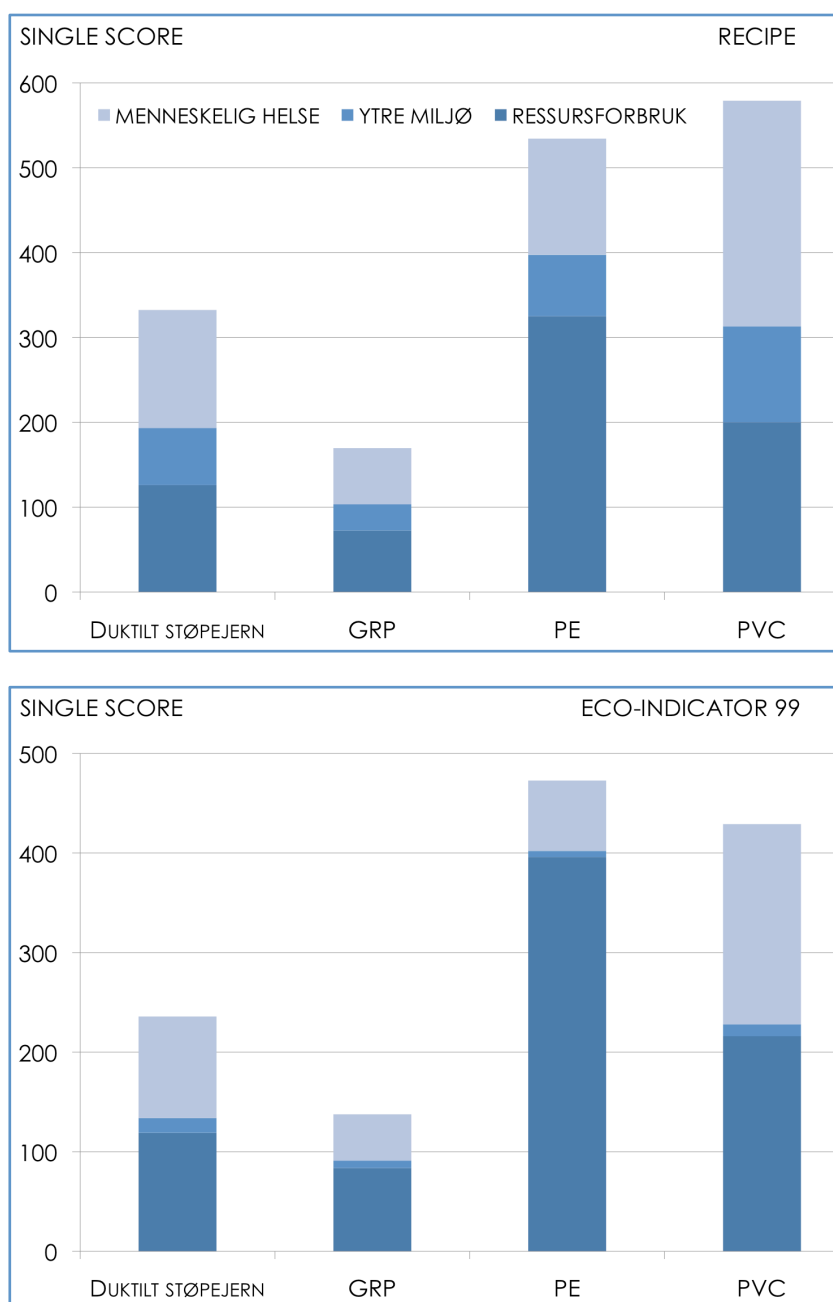
Figur 6.15 og 6.16 viser resultatene fra ReCiPes endpoint-kategori *ressursforbruk*. Figur 6.15 viser at det er plastrørens livsløpsfase råstoff som dominerer denne effektkategori. I motsetning til de øvrige to effektkategoriene kommer det største bidraget her fra PE-rør, mens PVC med det nest største bidraget står for en vesentlig mindre andel. Totalpåvirkningen fra hvert av rørmaterialene vises i figur 6.16, og som det fremgår av figuren utgjør påvirkningen fra GRP-rør den minste andelen. Det største bidraget, som kommer fra rørmaterialet PE, er et ressursforbruk tilsvarende 49 000 dollar, mens bidraget fra PVC er på 30 500 dollar. Påvirkningene fra duktilt støpejern er langt mindre enn de fra PVC, og likevel nesten dobbelt så store som påvirkningene fra GRP.



FIGUR 6.15 OG 6.16 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING PÅ EFFEKTKATEGORIEN RESSURSFORBRUK

SINGLE SCORE

Figur 6.17 og 6.18 viser single score-verdiene for hvert av rørmaterialene, fordelt på de tre effektkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk. Det fremgår av figurene at totalsummen for hvert av rørmaterialene fordeler seg ganske likt. I begge tilfeller er det bidraget fra ressursforbruk som er størst. Bidraget fra effektkategori ytre miljø er minst, men relativt sett større i ReCiPe enn i Eco-Indicator. Den største forskjellen mellom resultatene er at PVC kommer dårligst ut med den høyeste totalverdien i ReCiPe, mens PE har den høyeste totalverdien i Eco-Indicator. GRP har den laveste single score-verdien i begge tilfeller.



FIGUR 6.17 OG 6.18 – RØRMATERIALENE'S SINGLE SCORE-VERDIER I RECIPE OG ECO-INDICATOR 99

6.3 SENSITIVITETSANALYSER

Grunnet usikkerhet i datasett og lite samsvar mellom informasjon fra ulike leverandører, er det valgt å se på betydningen av endrede inngangsverdier til enkelte elementer i analysene. Her vil resultatene i all hovedsak presenteres for miljøindikatoren klimaendringer, da dette er en politisk akseptert og hyppig benyttet parameter som ofte nevnes i forbindelse med bærekraftighet (FN 2012a; Utenriksdepartementet 2011).

FORDELING MELLOM SKRAPJERN OG RÅJERN I DUKTILE STØPEJERNSRØR

Som nevnt er forholdet mellom skrapjern og råjern i duktile støpejernsrør noe varierende, og andelen skrapjern er oppgitt til å være mellom 50% og 90%, avhengig både av produsent og tilgjengelighet på det internasjonale skrapjernsmarkedet. På bakgrunn av dette er det utført en analyse for å sammenligne påvirkningen fra et rør med 90% skrapjern (som det opereres med i de øvrige analysene) og et rør med lik andel skrapjern og råjern. Resultatene presenteres for samtlige parametre, altså de tre miljøindikatorene i ReCiPes midpoint-analyser, og miljøkategoriene i endpoint-analysene. Tabell 6.5 viser påvirkningene fra råstoffet jern, samt den totale påvirkningen, for duktile støpejernsrør med en skrapjersandel på både 90% og 50%.

TABELL 6.5 – DEN SAMLEDE PÅVIRKNINGEN FRA RÅJERN OG SKRAPJERN, VED TO ULIKE FORDELINGER

		90% SKRAPJERN 10% RÅJERN		50% SKRAPJERN 50% RÅJERN		
		FRA JERN	TOTALBIDRAG	FRA JERN	TOTALBIDRAG	ØKNING
KLIMAENDRINGER	[KG CO ₂ -EKV]	733	3 370	2 663	5 300	1.57
MINERALFORBRUK	[KG FE-EKV]	549	1 030	2 228	2 710	2.63
FORBRUK FOSSILT BRENSSEL	[KG OLJE-EKV]	251	1 190	920	1 860	1.56
MENNESKELIG HELSE	[DALY]	2.0E-03	7.0E-03	7.2E-03	1.2E-02	1.75
YTRE MILJØ	[ARTER*ÅR]	6.7E-06	2.9E-05	2.3E-05	4.6E-05	1.59
RESSURSFORBRUK	[\$]	4 075	19 200	14 984	30 100	1.57

Resultatene viser at ved å øke andelen råjern fra 10 til 50% så øker påvirkningene til samtlige parametre med en faktor på mellom tre og fire, dog gjelder denne økningen kun for bidraget fra jern. Som det fremgår av de individuelle resultatene er ikke livsløpsfasen *råstoff* den dominerende fasen hva angår påvirkninger fra duktilt støpejern, og tabellen over viser at totalbidraget øker med en faktor på ca 1.6. Unntaket er miljøindikatoren *mineralforbruk*, hvor bidraget fra livsløpsfasen råstoff i utgangspunktet står for mer enn 90 prosent av totalen. Her øker totalbidraget med en faktor på 2.6.

LIVSLØPSFASEN ENERGI

Type energi som benyttes til produksjon av rør kan være avgjørende for analyseresultatet, og det er i utgangspunktet valgt å benytte en felles europeisk elektrisitetsmiks for alle rørmaterialer, som beskrevet i metodekapittelet.

For å se på hvilken forskjell elektrisitetens opprinnelse kan utgjøre, er det utført to separate analyser av alle rørmaterialer med energimiks fra Sverige og Polen. Sverige produserer hovedsakelig vannkraft og kjernekraft, mens polsk kraftproduksjon benytter kullkraft som hovedenergikilde. Dette gir to svært ulike påvirkningsbilder.

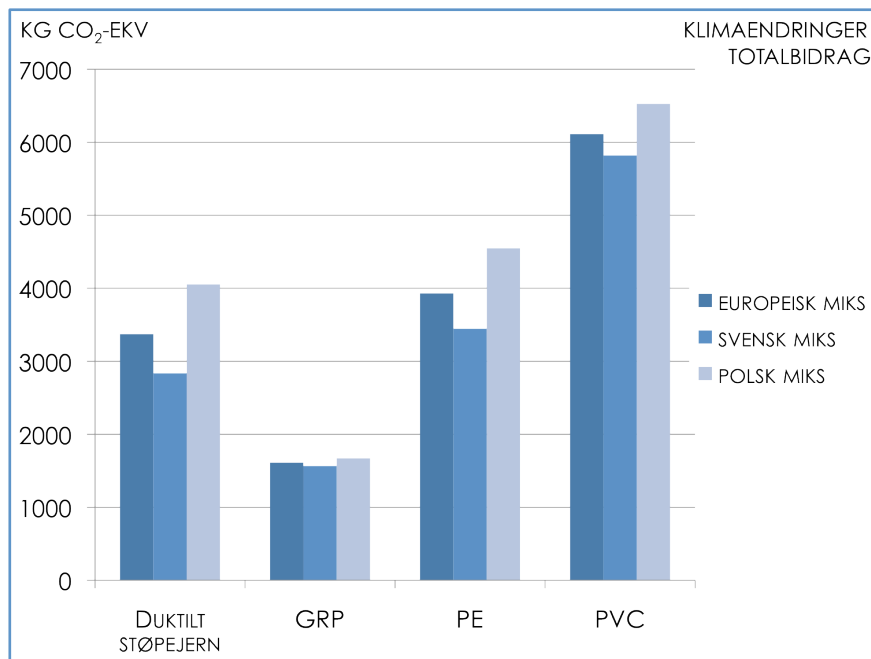
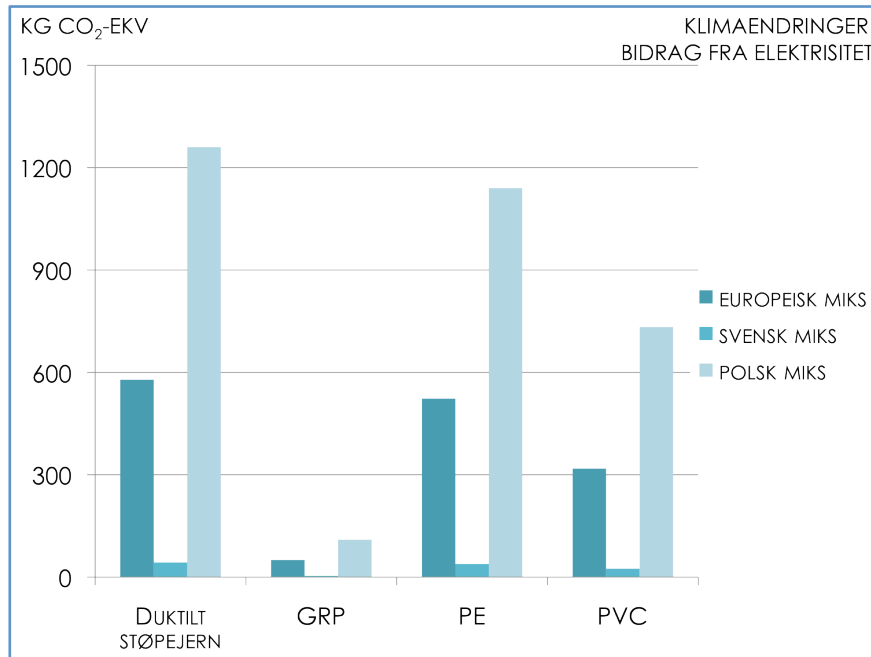
Tabell 6.6 viser fordelingen av ulike energikilder benyttet i kraftproduksjon i Sverige og Polen, samt ENTSO-E, det europeiske kraftnettverket som er benyttet som energimiks i de øvrige analysene. Statistikken for ENTSO-E er fra 2009, mens statistikken for Polen og Sverige er fra 2008 (Itten et al. 2012).

TABELL 6.6 – OVERSIKT OVER FORDELINGEN AV ENERGIKILDER I ULIKE REGIONERS KRAFTPRODUKSJON (ETTER ITTEN ET AL. 2012)

ENERGIKILDE	ENTSO-E	SVERIGE	POLEN
Fossilt brensel	49.5%	2.5%	94.5%
Vannkraft	16.5%	47.5%	2%
Kjernekraft	26.5%	41.5%	0%
Fornybare kilder	6%	7.5%	2.5%
Avfall	1%	1%	0.5%
Annet	0.5%	0%	0.5%

Som tabellen viser representerer Sverige og Polen to motsetninger hva gjelder energikilder i kraftproduksjon, mens den europeiske miksen i all hovedsak er en mellomting mellom disse.

Resultatet er presentert i figur 6.19 som viser bidraget de ulike rørmaterialene har til klimaendringer *fra livsløpsfasen energi* for de to nasjonale energimiksene, samt den europeiske miksen som er benyttet i de øvrige analysene. Merk at for duktilt støpejern og GRP er gass ekskludert i energifasen, selv om dette inngår i energiforbruket ved produksjon av disse rørene. Bidraget fra gass er altså utelatt, men ville vært konstant i alle tre tilfeller. Figur 6.20 viser *totalpåvirkningene* hvert av rørmaterialene har til klimaendringer, med de tre forskjellige energimiksene.

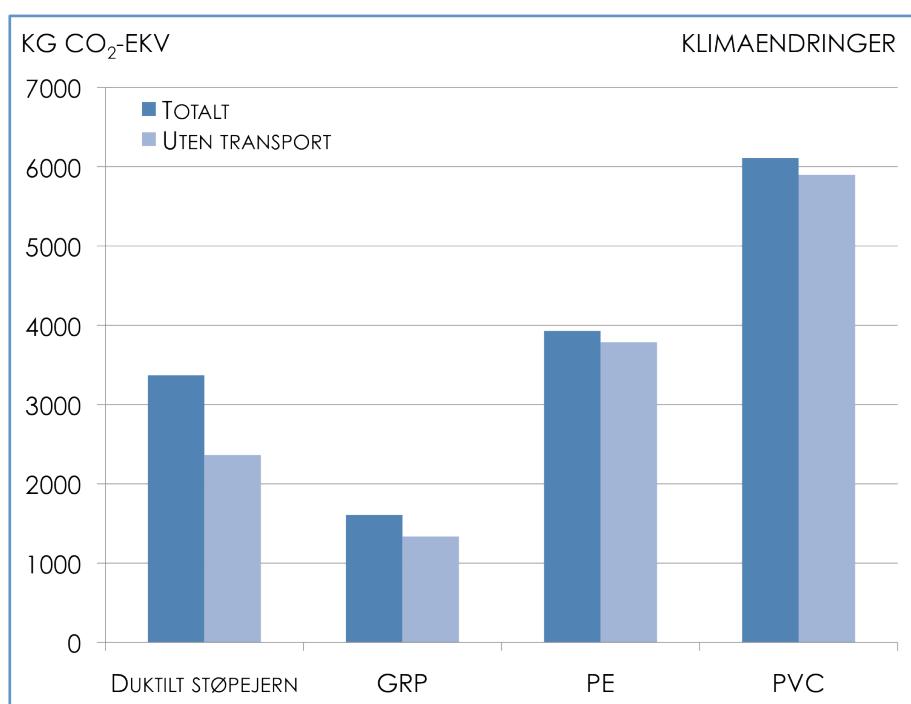


FIGUR 6.19 OG 6.20 – BETYDNINGEN AV ULIKE ENERGIMIKSER PÅ MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRINGER

Figurene viser bidraget til miljøindikatoren klimaendringer for de fire rørmaterialene med tre ulike elektrisitetstypers mikser. Figur 6.19 illustrerer godt hvor store forskjeller det kan være mellom ulike regioners elektrisitetstypers mikser, med hensyn på utslipp av CO₂-ekvivalenter. Videre viser figur 6.20 at valg av elektrisitetstypers mikser kan være avgjørende for resultatet av totalpåvirkningene i denne studien, dersom det benyttes ulike elektrisitetstypers mikser for de forskjellige rørene.

LIVSLØPSFASEN TRANSPORT

Som nevnt i kapittel 4.2 er det benyttet produktspesifikk transportinformasjon i analysene, for å få reelle inngangsdata. Problemet er da at livsløpsfasen transport for hvert av rørmaterialene er direkte forbundet med en bestemt produsent og fabrikk, og ikke kan betraktes generelt. Til informasjon er det GRP-rør som har de lengste transportetappene i analysene, både for råstoff og ferdigproduserte rør. PE-rørene har den korteste transportavstanden totalt. Figur 6.21 viser hvert av rørmaterialenes påvirkning til miljøindikatoren klimaendringer, både med og uten bidrag fra livsløpsfasen transport.



FIGUR 6.21 – RØRMATERIALENE PÅVIRKNING TIL KLIMAENDRINGER MED OG UTEN TRANSPORTFASEN

Resultatene viser at en ekskludering av livsløpsfasen transport utgjør størst forskjell for duktilt støpejern, og minst for PE, som har den korteste transportavstanden i studien. Totalfordelingen mellom rørmaterialene endres ikke.

I livsløpsanalyser er det vanlig å beregne transport som produktet av strekningen og vekten av det som transporteres (tonn*km). Det er dermed rørmaterialenes vekt som vil utgjøre forskjellen hvis alle rørene fraktes en bestemt strekning med samme transportmiddel. For å si noe om hvordan rørtransport varierer for de ulike rørmaterialene kommer det her et eksempel som viser forholdet mellom disse. Hvis rør tilsvarende funksjonell enhet (100 meter) skal transporteres 10 mil vil antall tonn*km bli som følger:

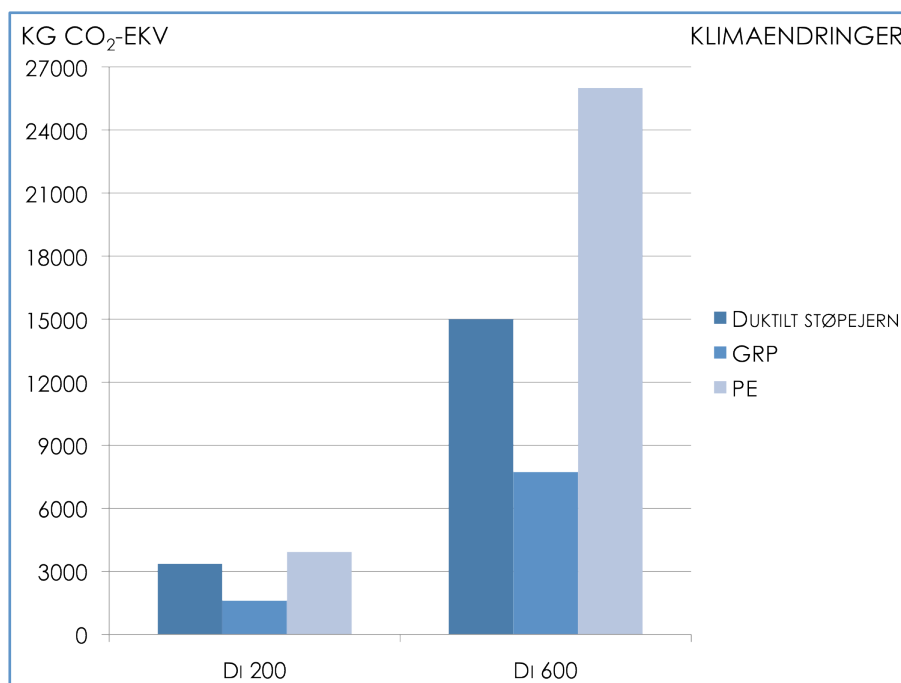
TABELL 6.7 – OVERSIKT OVER HVORDAN RØRMATERIALENE VEKT PÅVIRKER TRANSPORTFASEN

RØRMATERIALE	VEKT [KG/100 METER]	TONN*KM
Duktilt støpejern	3700	370
GRP	650	65
PE	1690	169
PVC	1160	116

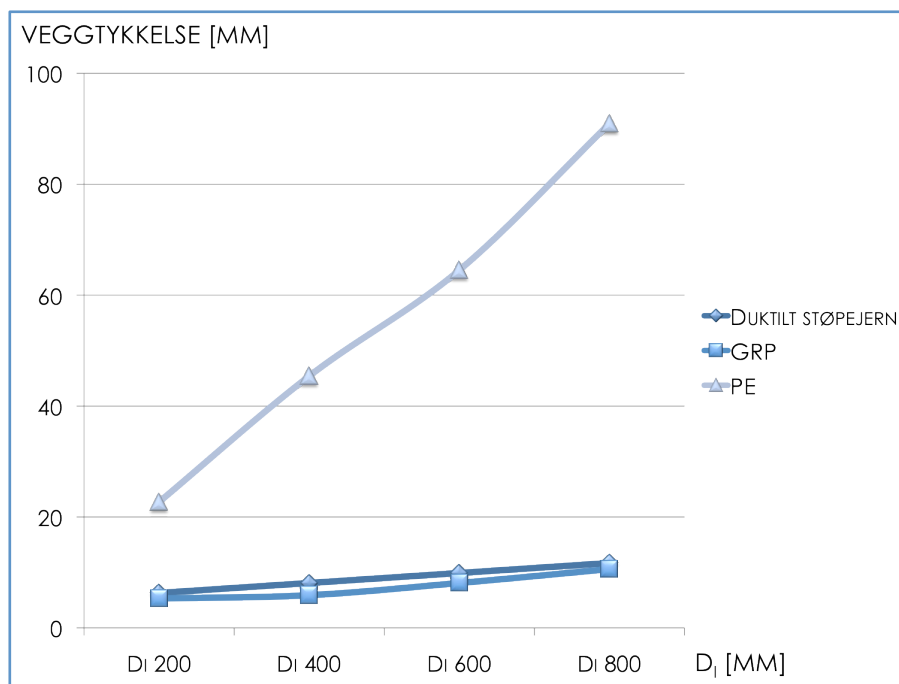
For en bestemt strekning med et bestemt transportmiddel vil bidraget fra livsløpsfasen transport være størst for duktilt støpejern, og minst for GRP. For PE og PVC vil påvirkningene være i størrelsesorden en drøy halvdel og tredjedel, henholdsvis, av bidraget fra duktilt støpejern.

ØKTE RØRDIAMETRE

Påvirkningsbildet kan endres når rørdiameteren endres, og i denne studien er derfor rør med indre diameter 200mm og 600mm analysert. Figur 6.22 viser påvirkningene til miljøindikatoren klimaendringer for rørmaterialene duktilt støpejern, GRP og PE i begge dimensjoner. Figur 6.23 viser hvordan disse rørenes veggtykkelse endres ettersom rørdiameteren økes. PVC-rør er utelatt da disse ikke leveres i større dimensjoner enn DN 400.



FIGUR 6.22 – RØRENE PÅVIRKNING TIL KLIMAENDRINGER



FIGUR 6.23- RØRENES VEGGTYKKELSE SOM FUNKSJON AV INDRE DIAMETER

Som det fremgår av begge figurer er det PE som viser størst endring ved økte rørdiametre. Forholdet mellom duktilt støpejern og GRP er nokså konstant, og veggtykkelsen er påfallende lik for de undersøkte rørdimensjoner, dog ser det ut til at påvirkningene til klimaendringer øker noe mer for GRP enn for duktilt støpejern.

7 DISKUSJON

7.1 INDIVIDUELLE RESULTATER

De individuelle resultatene er ikke hovedfokuset i denne komparative studien, men de gir en oversikt over hvilke aspekter ved rørenes livsløp som bidrar til ulike miljøindikatorer, hvilket er verdt å kommentere.

I grove trekk viser de individuelle resultatene at livsløpsfasen råstoff er dominerende for plastmaterialene PVC og PE, samt GRP som har et polyesterinnhold på 34 vektprosent. Duktilt støpejern, som er studiens tyngste materiale, har det største bidraget både fra energi- og transportfasen.

Alle rørmaterialer viser nokså konsistente resultater hva gjelder den interne fordelingen mellom livsløpsfasenes påvirkning. Et unntak er miljøindikatoren *mineralforbruk*: her øker råstoffandelen fra duktilt støpejern betraktelig, samtidig som bidraget fra råstoff både for PE og PVC er betydelig mindre enn i de øvrige resultater. GRP viser liten endring for denne miljøindikatoren, dette skyldes at råmaterialet glassfiber bidrar til større påvirkning her enn i de andre resultatene, hvilket gjør opp for polyesterets mindre bidragsandel.

Flere tidligere studier har konkludert med at hovedvekten av miljøbelastninger assosiert med et drikkevannsrør stammer fra prosesser tilknyttet råstoffene som inngår i rørmaterialene (Dennison et al. 1999; Friedrich et al. 2007). En spansk studie fra 2005 har funnet at den største andelen påvirkninger kommer fra rørenes bruksfase, mens foredling av råmaterialer står for den nest største andelen (Recio et al. 2005). Disse resultatene er nokså samsvarende med funnene i denne studien. Unntaket er duktilt støpejern som har en større bidragsandel fra energifasen i flere tilfeller. Dette kan kanskje forklares med at det hovedsakelig benyttes skrapjern i analysen, hvilket gir en lavere påvirkning jevnt over som følge av at råstofforedlingen er gjort tidligere, og ikke bidrar i like stor grad når jernet siden resirkuleres. En annen mulig forklaring er at en del av materialprosesseringen foregår i selve produksjonsprosessen, ved oppvarming opp til 1500 °C, som bidrar til den store påvirkningen fra energiforbruk. Den relativt store andelen fra transportfasen må først og fremst forklares ved at duktilt støpejern er det tyngste materialet i studien, og dermed bidrar med større påvirkning fra transporteringsfasen både av råstoff og ferdigproduserte rør enn de øvrige rørmaterialer.

En fersk studie (Du et al. 2012) har betraktet livsløpsfasene rørproduksjon, transport, installasjon og bruk for ulike rørmaterialer. Her inngår både foredling av råstoff og rørproduksjon i produksjonsfasen, og studien har konkludert med at dette er den

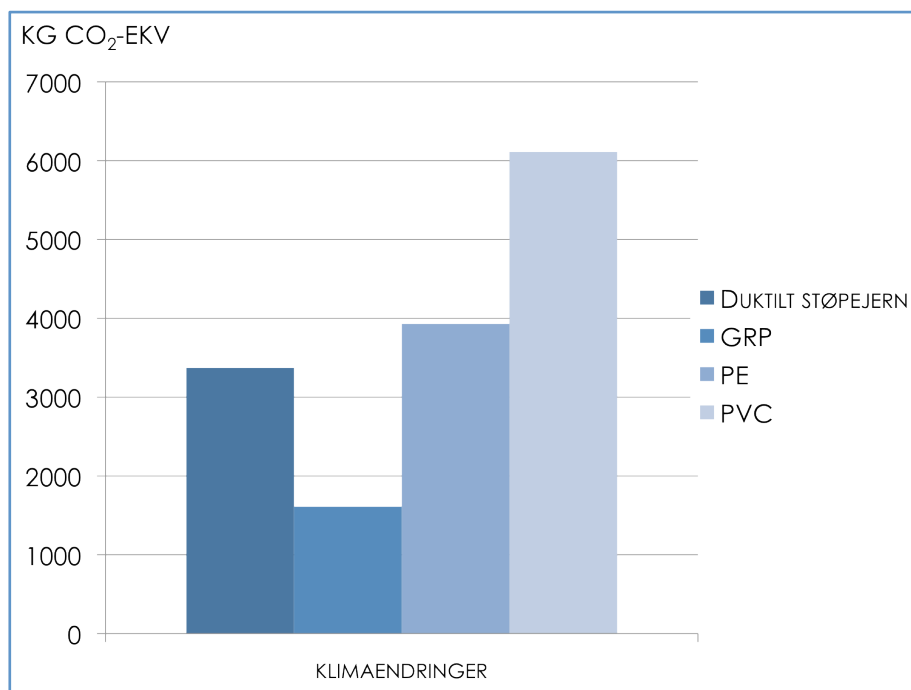
dominerende fasen hva angår miljøpåvirkninger. Resultatene stemmer godt overens med funnene i denne studien, men kan likevel ikke sammenlignes direkte, da livsløpsfasene installasjon og bruk er ekskludert her.

7.2 SAMMENSTILTE RESULTATER

De sammenstilte resultatene skal gi svar på oppgavens problemstilling, og ved å studere resultatene fra kapittel 6.2 er det enkelte ting som er åpenbare: rørmaterialet GRP peker seg klart ut i positiv retning, og er det materialet som er assosiert med færrest påvirkninger jevnt over. Videre er det tydelig at forskjellen mellom påvirkninger fra de ulike rørmaterialene i flere tilfeller er vesentlig.

KLIMAENDRINGER

Det har siden slutten av 1990-tallet vært mye snakk om betydningen av CO₂-utslipp i forbindelse med drivhuseffekten. Kyoto-avtalen, som trådte i kraft i 2005, stiller krav til reduksjon av CO₂-utslipp fra industrialiserte land, og har bidratt til å sette GWP på den miljøpolitiske dagsordenen (Klif 2012). Klima(endringer) nevnes ofte i sammenheng med bærekraft (FN 2012a; Utenriksdepartementet 2011), og er i så måte en relevant miljøindikator. Dette gjør det interessant å se på forskjellene mellom de fire ulike rørmaterialene når det gjelder potensielle klimaendringer. En grafisk fremstilling av resultatene er vist i figur 7.1.



FIGUR 7.1 – RØRMATERIALENE'S PÅVIRKNING TIL MILJØINDIKATOREN KLIMAENDRINGER

Resultatene viser at det er PVC, med et assosiert utslipp på over 6000 kg CO₂-ekvivalenter, som bidrar mest til denne miljøindikatoren. Faktisk er bidraget nesten fire ganger så stort som bidraget fra GRP, som med 1610 kg CO₂-ekvivalenter står for den minste påvirkningen.

Resultatet er ikke sammenfallende med funnene fra tidligere studier med hensyn på rørmaterialenes utslipp av CO₂-ekvivalenter, som vist i tabell 7.1:

TABELL 7.1 – RØRMATERIALENE'S BIDRAG TIL KLIMAENDRINGER, FUNN FRA ULIKE STUDIER

STUDIE	ÅR	KLIMAENDRINGER	STØPEJERN	PE	PVC	GRP
Denne studien	2012	kg CO ₂ -ekv/100m rør	3370	3930	6110	1610
Du et al.	2012	tonn CO ₂ -ekv/km rør	472	218	318	-
Venkatesh et al.	2009	kg CO ₂ -ekv/kg rør	3.41	2.33	2.36	-
Recio et al.	2005	kg CO ₂ -ekv/3m rør	681	454	452	-

Merk at resultatene fra Venkatesh et al. (2012) i tabellen er oppgitt som utslipp per kg rør, i motsetning til øvrige studier som opererer med utslipp per lengdeenhet rør. Ingen av studiene har sett på rørmaterialet GRP, så her mangler et sammenligningsgrunnlag. For øvrig er ikke resultatene i overensstemmelse med funnene i denne studien. De andre studiene tar for seg flere livsløpsfaser og andre rørdimensjoner enn denne, så noe av forklaringen på forskjellene kan ligge i analysenes varierende omfang.

I studien av Du et al. (2012) presenteres resultatene for rør med diameter på 300 mm, og livsløpsfasene produksjon, transport og installasjon. Hovedforskjellen mellom analysene i studien utført av Du et al. og analysene i denne studien er at førstnevnte har benyttet 100 % råjern i produksjonen av duktile støpejernsrør.

Venkatesh et al. (2009) har oppgitt resultatene per kg rør, og har dermed ikke spesifisert noen rørdiameter. Det er oppgitt at duktilt støpejern er analysert med en råstoffordeling på 61 % råjern og 39 % skrapjern.

Recio et al. (2005) har tatt for seg rør med indre diameter på ca 100mm, men det duktile støpejernsrøret har indre diameter på 125.6 mm, hvilket er ca 25% større enn PVC og PE med henholdsvis 99.4 og 102.2mm. Dette må kunne sies å være en betydelig forskjell, da 25% større diameter tilsvarer et tverrsnittsareal som er 50% større, og et rør med vesentlig høyere transportkapasitet. Videre kan det nevnes at plastrørens veggtykkelse og vekt øker mer med økt diameter enn det duktile

støpejernsrør gjør. I studien er det oppgitt at det er benyttet 100% råjern i støpejernsrøret. Disse omstendighetene er alle i disfavør av duktilt støpejern.

Det er duktilt støpejern som gir de største utslippsresultatene i de tre uavhengige studiene, og noe av forklaringen ligger nok i den høye andelen råjern som er benyttet i alle tre tilfeller. Erfaringer fra sensitivitetsanalysene i denne studien tilsier at forholdet mellom råjern og skrapjern kan være avgjørende for resultatet, og er en mulig forklaring på hvorfor duktilt støpejern har det største utslippet i de tre studiene. Resultatet fra denne studiens sensitivitetsanalyse av duktilt støpejern med 50% råjern er et utslipp på 5300kg CO₂-ekvivalenter. Dette er mye nærmere utslippsandelen fra PVC på 6110 kgCO₂-ekvivalenter, men fortsatt mindre.

Videre er spranget mellom størrelsen på utslipp fra PVC og PE varierende i de forskjellige studiene. Både denne studien og Du et al. (2012) har funnet at bidraget fra PVC er ca 1.5 ganger større enn det fra PE, mens Recio et al. (2005) har kommet frem til nærmest identiske utslippstall for begge materialer.

Det fremgår av resultatene i denne studien at hovedvekten av påvirkningene til klimaendringer skyldes livsløpsfasen råstoff for både PE og PVC. Nærmere undersøkelser av analyseresultatene viser at utslippet forbundet med PVC-granulat er nesten dobbelt så stort som utslippet fra PE-granulat, til tross for at andelen av PVC-granulat er mindre enn PE-granulat for de analyserte rørene (henholdsvis ca 10.5kg og 16.6kg granulat per meter rør).

MINERALFORBRUK

Europeisk industri benytter over 20 prosent av verdensproduksjonen av metaller, og produserer kun tre prosent, noe EU vurderer som en betydelig økonomisk risiko (Smelror 2011). Forbruk av mineraler og metaller er dermed en aktuell parameter for vurdering av bærekraft.

Som det fremgår av denne studiens resultater er det rørmaterialet duktilt støpejern som har det suverent største mineralforbruket, hovedsakelig forbundet med livsløpsfasen råstoff. Resultatet er ikke veldig overraskende med tanke på at støpejern er det eneste metallbaserte materialet i studien. Funn fra sensitivitetsanalysene viser at duktilt støpejern med en råjersandel på 50% øker mineralforbruket med en faktor på 2.6, fra 1030 til 2710 Fe-ekvivalenter, sammenlignet med en råjersandel på 10%. Bidraget fra jern alene øker med en faktor på 4. Hvorvidt det benyttes nyforedledede eller resirkulerte råvarer kan med andre ord ha stor betydning for analyseresultatet generelt og mineralforbruket spesielt.

FORBRUK FOSSILT BRENSSEL

Fossile brensler anerkjennes som ikke-fornybare ressurser, og som en konsekvens av dette kan effektivt energiforbruk og mulighet til å benytte fornybare energikilder være et konkurransefortrinn (Norges forskningsråd 2005).

Både PE og PVC foredles fra petroleum eller naturgass, to råstoff som defineres som fossile brennstoff. Dette gir en forventning om at disse rørmaterialene skal dominere påvirkningene til forbruk fossilt brensel. Undersøkelsene i denne studien bekrefter forventningen, da resultatene viser at de plastbaserte rørmaterialene bidrar mest til denne miljøindikatoren. Det er råstoffene som står for den vesentlige andelen, og PE har det største bidraget her. PVC, som dannes av både etylen- og klogass, bidrar betydelig mindre enn PE som produseres utelukkende av etylengass. Duktilt støpejerns bidrag er hovedsakelig fra livsløpsfasen energi, og dette skyldes forbruket av gass i rørproduksjonen.

RECIPE ENDPOINT

I ReCIPE er miljøindikatorene fordelt på de tre effektkategoriene menneskelig helse, ytre miljø og ressursforbruk. Her samles altså påvirkningene fra alle vurderte parametre (se figur 4.2 for fullstendig oversikt) i disse tre kategoriene. Dette må kunne sies å gi resultater med en del tyngde, selv om det ikke er funnet resultater fra andre studier med direkte sammenligningsgrunnlag. Rørmaterialet GRP kommer best ut i alle tre effektkategorier, med de suverent laveste påvirkningene. For menneskelig helse og ytre miljø er påvirkningene i størrelsesordenen en fjerdedel av bidraget fra PVC, og under halvparten av påvirkningene fra duktilt støpejern og PE. For ressursforbruk, hvor PE har det største bidraget, står GRP for ca en femtedel av dette.

SINGLE SCORE

Single score er mest relevant å benytte i komparative studier, da hensikten er å se verdiene i forhold til hverandre i systemene som vurderes. Det påpekes at metoden Eco-Indicator 99 skal brukes med forsiktighet, da den ikke innehar tilstrekkelig gjennomsiktighet i henhold til ISO 14044 (Goedkoop & Spriensa 2000). Det er likevel interessant å sammenligne single score-verdiene fra Eco-Indicator og ReCIPE. Det viser seg at selv om dette er to forskjellige presentasjonsmetoder, er resultatene nokså sammenfallende: PVC og PE står for de største totalpåvirkningene, mens GRP kommer best ut. I alle tilfeller er det effektkategorien ressursforbruk som bidrar mest til total-scoren, og effektkategorien ytre miljø som bidrar minst.

KORT OPPSUMMERT

I tabell 7.2 er alle de vurderte miljøparametrene, samt single score, listet opp. Rørmaterialene er gitt poeng fra 0 – 3, der 0 er laveste påvirkning og 3 er høyeste.

TABELL 7.2 – EN OPPSUMMERING AV RØRMATERIALENE'S FORDELING I ALLE VURDERTE PARAMETRE

Miljøparameter	DUKTILT STØPEJERN	GRP	PE	PVC
Klimaendringer	1	0	2	3
Mineralforbruk	3	2	0	1
Forbruk fossilt brensel	1	0	3	2
Menneskelig helse	2	0	1	3
Ytre miljø	1	0	2	3
Ressursforbruk	1	0	3	2
ReCiPe single score	1	0	2	3
Eco-Indicator single score	1	0	3	2
TOTALT	11	2	16	19

Tabellen er kun en enkel måte å sammenstille resultatene på, og ikke ment som noe fasitsvar. Totalsummen for hvert av rørmaterialene gir en pekepinn på hvordan materialene plasserer seg i forhold til hverandre, men er kun å betrakte som en oversikt over alle resultatene. Det kan likevel sies at tabellen bekrefter det inntrykket som gis i resultatene, nemlig at GRP er det rørmaterialet som kommer best ut, mens PVC og PE i de fleste tilfeller står for de mest betydelige påvirkningene.

7. 3 SENSITIVITETSANALYSER

FORDELING MELLOM SKRAPJERN OG RÅJERN I DUKTILE STØPEJERNSRØR

Det er allerede tidligere i diskusjonen påpekt at andelen råjern som benyttes i duktilt støpejern er utslagsgivende for miljøbelastningene assosiert med dette rørmaterialet. Ved å øke andelen råjern i duktile støpejernsrør blir alle analyserte påvirkninger betydelig større. Forklaringen er nokså åpenbar, da utvinning av råjern krever mer energi og ressurser enn prosessene knyttet til håndtering av skrapjern. Derfor er det verdt å merke seg at selv med økningen av påvirkninger knyttet til en råjernsandel på 50% vil PVC komme dårligere ut både for miljøindikatoren klimaendringer og forbruk fossilt brensel. Uavhengig av disse resultatene, så tilstrebes benyttelse av høyest mulig skrapjernsandel i rørproduksjon, kun begrenset av det som er tilgjengelig på markedet.

LIVSLØPSFASEN ENERGI

Betydningen av energibruk er åpenbar om det stadig økende energiforbruket i industrialiserte samfunn legges til grunn. Med tanke på ressursknapphet er det fordelaktig med best mulig utnyttelse av ressurser og energikilder, både samfunnsøkonomisk og miljømessig. Energieffektivisering i industrien er et rimelig, effektivt og lite politisk kontroversielt tiltak for å oppnå bærekraftig energibruk (SINTEF 2011).

Ulike energikilder bidrar til ulike påvirkninger, og hvorvidt det benyttes nasjonal (produksjonsland) eller regional (europeisk) elektrisitetsmiks kan ha konsekvenser for resultatene av en LCA (Stokes & Horvath 2005).

Denne studiens undersøkelser viser at type elektrisitetsmiks som benyttes kan være utslagsgivende for resultatet, og valg av produksjonsland med tilhørende energimiks kan derfor være et konkurransefortrinn.

Funnene fra tidligere studier (presentert i litteraturstudien) er at duktilt støpejern har det høyeste energiforbruket per meter rør. Dette sammenfaller med de benyttede inngangsdata vedrørende elektrisitets- og gassforbruk i denne studien. Dog kan disse resultatene vanskelig sammenlignes direkte, da omfanget av analysene er svært varierende.

Generelt kan det sies at råmaterialet jern, enten i form av råjern eller skrapjern, er mindre prosessert enn plastmaterialene som inngår i øvrige rørproduksjoner. Dette medfører at det ligger et større energiforbruk i bakgrunnsprosessene til plastråstoffene, mens energiforbruket i selve produksjonsprosessen til støpejernsrør er betydelig større enn for de øvrige rørmaterialene. Videre er produksjonstemperaturen høyest for duktilt støpejern. GRP, som har det laveste bidraget fra energiforbruk, har den produksjonsprosessen som går med lavest temperatur av de analyserte rørmaterialer, samt at det er studiens letteste materiale. GRP er studiens eneste komposittmateriale og produksjonen foregår ved en vikleprosess rundt en kjerne, i motsetning til øvrige produksjonsprosesser hvor rørene støpes eller ekstruderes. Dette er trolig medførende faktorer til forskjellene i energiforbruk.

LIVSLØPSFASEN TRANSPORT

Tidligere studier har konkludert med at transportfasen har liten betydning for de totale miljøpåvirkningene assosiert med VA-rør (Du et al. 2012; Recio et al. 2005). Dette stemmer godt med resultatene presentert i foregående kapittel, samtidig som det fremgår av resultatene at duktilt støpejern har et vesentlig større bidrag fra denne

livsløpsfasen enn de tre øvrige rørmaterialer. PE har det minste bidraget fra transportfasen.

Transportetappene er beregnet spesifikt for den produsenten/leverandøren som er benyttet som kilde for hvert av rørmaterialene. Det er vanskelig å anslå en gjennomsnittlig transportavstand for råstoff, da denne ofte varierer med tilgjengelighet på markedet, og det er derfor benyttet spesifikke data. Det medfører at analyseresultatene ikke kan betraktes som helt generelle. Det blir likevel ikke riktig å ekskludere transportfasen fullstendig, da materialvekt er en avgjørende faktor ved beregning av bidrag fra denne fasen. Undersøkelse av hvordan rørmaterialenes vekt påvirker transportfasen for en bestemt strekning viser at duktilt støpejern vil ha en påvirkning som er omtrent dobbelt så stor som den fra PE, tre ganger så stor som den fra PVC, og mer enn fem ganger større enn påvirkningen fra GRP, som er studiens letteste materiale.

De sammenstilte resultatene i denne studien viser at transportfasen til duktilt støpejern i alle tilfeller står for mer enn fire ganger så mye som transportfasen til PE og PVC. Det er med andre ord lite trolig at påvirkningene fra transport, ved bruk av andre inngangsdata, vil kunne endre fordelingen mellom rørmaterialenes totalpåvirkning.

ØKTE RØRDIMENSJONER

I utgangspunktet skulle denne studien ta for seg rør med indre diameter 600mm i tillegg til 200mm, for å vurdere hvordan påvirkningene fordeler seg med økte rørdiametre. Som det fremgår av livsløpsbeskrivelsene i kapittel 5 er det kun for GRP-rør at den eksakte sammensetningen av råstoff er oppgitt, da denne fordelingen endres med økte rørdimensjoner. For de øvrige rørmaterialer er det kun oppgitt en prosentvis vektfordeling. Når materialsammensetningen er lik for små og store diametre kan økningen i påvirkning enkelt beregnes ut fra rørenes vektøkning fra en dimensjon til en annen. Tabell 7.3 viser hvordan rørmaterialenes vekt øker fra D_i 200 til D_i 600.

TABELL 7.3 – RØRMATERIALENE Vektøkning ved dimensjonsøkning

RØRMATERIALE	D_i 200 [KG/METER RØR]	D_i 600 [KG/METER RØR]	ØKNING [D_i 600/ D_i 200]
Duktilt støpejern	37	168	4.5
GRP	6.5	30.6	4.5
PE	16.9	112	6.6

Som det fremgår av tabellen øker duktile støpejernsrør og GRP-rør vekten med 4.5, mens PE-rør øker vekten med en faktor på 6.6. Dette medfører at forholdet mellom påvirkningene fra duktilt støpejern og GRP forblir noenlunde det samme, mens PE-rørets påvirkning i forhold til de to andre materialene blir betydelig større ved oppjustering av rørdiameter.

Du et al. (2012) har sett på miljøindikatoren klimaendringer og betydningen av ulike materialer og økte rørdimensjoner. Studiens konklusjon er at duktilt støpejern er det mest belastende rørmaterialet opp til 610 mm, og ved rørdiameterer større enn dette er det PVC som står for det største utslippet av CO₂-ekvivalenter. Funnet forklares med at plastrørens veggtykkelse øker drastisk ved større dimensjoner, i motsetning til duktilt støpejern som har en mer moderat økning av veggtykkelse. Dette bygger opp under resonnetet om at plastrør (her: PE-rør) vil ha en større miljøpåvirkning relativt til duktilt støpejern og GRP ved DN 600 enn DN 200. Dette bekreftes også av funnene i denne studiens sensitivetsanalyse.

Det fremgår av forholdet mellom råstoffenes vektandel for GRP-rør ved DN 200 og DN 600 at den største rørdiameteren består av en større prosentandel glassfiber, og mindre andel polyester og sand. Dette vil grovt anslått medføre at totalpåvirkningen fra GRP relativt til duktilt støpejern blir noe mindre for de miljøeffekter som domineres av plastråstoffet polyester, og øker for blant annet mineralforbruk grunnet den økte andelen glassfiber, ved DN 600 i forhold til DN 200.

7.4 USIKKERHET

INNGANGSDATA

Usikkerhetsmomentet i denne studien knytter seg til kvaliteten på analysenes inngangsdata. En komparativ studie er avhengig av noenlunde sammenlignbare datagrunnlag for hver av de analyserte enhetene. Dette er ingen selvfølge når kildene som benyttes representerer ulike bedrifter med sine respektive datasett og grad av tilgjengelighet av disse. For eksempel er informasjon om råmaterialer presentert enten som prosentinnhold av ulike grunnstoff, eller som anslått vektfordeling mellom forskjellige foredlede materialer. Dette gir to svært forskjellige innfallsvinkler ved oppbygging av analyse, der førstnevnte er mer nøyaktig med hensyn på *rørenes spesifikke sammensetning*, mens den andre er mer presis hva angår hvilke *råmaterialer* som skal legges inn under livsløpsfasen råstoff i analysen. Energiforbruket er oppgitt enten som antall kWh per kg rør, eller fabrikkens totalforbruk per år. Dermed er tilnærmingen til tallmateriale for hver funksjonelle enhet forskjellig for hvert av rørmaterialene. Som det fremgår av livsløpsbeskrivelsene er det også gjort visse antagelser i forbindelse med analysenes inngangsdata.

Resultatenes gyldighet må vurderes på bakgrunn av at inngangsdata i de ulike analysene har forskjellig opphav og foreligger i ulike former før de er tilpasset oppsettet i SimaPro. Dette må kunne sies å hemme grunnlaget for sammenligning, og bidrar til den største usikkerheten i datagrunnlaget. De fleste resultatene er likevel såpass tydelige at eventuelle feil i datasettet må være vesentlige med hensyn på grad av påvirkning, skal det medføre endringer i hvilke rørmaterialer som kommer best og dårligst ut.

KILDER

Tilgang på gyldig og tilstrekkelig detaljert tallmateriale til analysenes inngangsdata er desidert største utfordring i arbeidet med denne masteroppgaven. Det finnes konfidensielle aspekter ved fremstilling av enkelte av rørtypene, og dette må håndteres med en tilnærming i analysene. I enkelte tilfeller har det heller ikke lyktes forfatteren å få svar på essensielle spørsmål, selv om flere uavhengige produsenter og leverandører er kontaktet.

En studie som denne er prisgitt produsenters og leverandørers vilje til å gi fra seg informasjon vedrørende hvilke råstoff og prosesser som inngår i fremstillingen av rør. Aspekter som betraktes som produksjonshemmeligheter eller konkurransefortrinn kan være fullstendig utilgjengelig, uavhengig av hvem som etterspør informasjonen.

7.5 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Med mer tid tilgjengelig ville det være ønskelig å få tak i mer konsekvente inngangsdata til analysene, spesifikt for hvert rørmateriale og hver rørdiameter, i den grad slik informasjon er tilgjengelig for en "utenforstående" som ønsker å belyse temaet. Som nevnt kan tilgang på inngangsdata være begrenset grunnet problematikken rundt produsenters vilje til å gi fra seg noe de oppfatter som en produksjonshemmelighet. Basert på erfaringer med informasjonsinnhenting i denne studien antas det likevel at god tid, samt kontakt med personer med førstehåndsinformasjon, kan være vel så avgjørende for tilgang på relevante inngangsdata. Når slik informasjon eventuelt foreligger vil det også være mer aktuelt å analysere flere rørdimensjoner.

Videre kan det være interessant (og ikke minst relevant) å supplere med analyser for avløpsrør.

Ellers er det flere ting som kan studeres mer inngående med bakgrunn i funnene fra denne oppgaven. Med utgangspunkt i valgte funksjonelle enhet er det for eksempel mulig å inkludere skjøt- og muffeanordninger i ledningsstrekket. Det kan også være aktuelt å utføre livsløpsanalyser hvor innvendig og utvendig rørbelegg er inkludert. En britisk studie fra 1999 har funnet at sinklaget i duktile støpejernsrør er en markant bidragsyter til energiforbruk grunnet fremstillingsprosessen av dette (Dennison et al. 1999). Utover nevnte studie har det ikke vært praksis å inkludere rørbelegg i livsløpsanalyser av rørmaterialer.

Det er også mulig å utvide livsløpene til å inkludere bruksfase for å se om det er en vesentlig forskjell mellom rørmaterialene med hensyn på energi- og ressursbruk knyttet til daglig drift av ledningsnett.

8 KONKLUSJON

Livsløpsvurderinger av rørmaterialer til distribusjon av drikkevann, herunder duktilt støpejern, glassfiberarmert polyester, polyetylen og polyvinylklorid, viser at det er vesentlige forskjeller mellom materialene med hensyn på undersøkte miljøpåvirkninger.

Resultatene viser at det er GRP som er det udiskutabelt minst miljøbelastende rørmaterialet med hensyn på de indikatorer som er undersøkt. Resultatene er ikke like konsistente hva angår hvilke materialer som kommer dårlig ut, men det er i all hovedsak PE og PVC som står for de mest betydelige påvirkningene, i størrelsesorden 2-4 ganger større enn påvirkningene fra GRP.

For alle plastbaserte rørmaterialer er det livsløpsfasen råstoff som dominerer påvirkningsbildet, mens det for duktilt støpejern er en jevnere fordeling mellom bidraget fra råstoff-, energi- og transportfasen.

Analysene er utført for rør med indre diameter på 200mm. Oppjustering av rørdimensjon endrer påvirkningsbildet som følge av at PE (og PVC) ved økt rørdiameter øker veggtykkelse og vekt i større grad enn de øvrige to rørmaterialene. Resultatene endres i plastmaterialenes disfavør. En sammenligning av den prosentvise vektøkningen fra en dimensjon til en annen for hvert av rørmaterialene gir en god indikasjon på hvordan påvirkningsbildet endres.

Resultatene er følsomme for valg av energimiks i analysene, og mindre følsomme for endringer i livsløpsfasen transport.

På bakgrunn av disse funnene virker det hensiktsmessig å inkludere bærekraftighetsaspekter ved valg av rørmaterialer. Først og fremst viser resultatene at det er signifikante forskjeller mellom de analyserte rørmaterialene. Videre er hovedtyngden av påvirkninger, uavhengig av rørmateriale, assosiert med livsløpsfasene råstoff og energiforbruk. Det innebærer at materialvalg kan gjøres på bakgrunn av miljømessige faktorer knyttet til rørmaterialenes råstoff og produksjonsprosesser, uavhengig av hvor langt rørene eventuelt må transporteres. Sensitivitetsanalysene viser at påvirkningsforholdet mellom rørmaterialene endres når rørdimensjonene øker. Dette impliserer at forskjellene mellom rørmaterialene med hensyn på flere av miljøindikatorerne er enda mer betydelige ved større diametre.

9 LITTERATUR

- Andersson, K. (1998). Livscykelanalyser av avloppsrör.
- ASCE. (1998). *Sustainability Criteria for Water Resource Systems*: Working Group UNESCO.
- Ashley, R. & Hopkinson, P. (2002). Sewer Systems and performance indicators-into the 21st century. *Urban Water*, 4: 13.
- Baumann, H. & Tillmann, A.-M. (2009). *The Hitch Hiker's Guide to LCA*
An orientation in life cycle assessment methodology and application. 1:3 utg. Sverige: Studentlitteratur. 544 s.
- Borealis AG. (2008). *Addressing Climate Change - Borealis' approach to climate change and its polyolefin carbon footprint*.
- Characterisation and Normalisation factors*. (2012). Tilgjengelig fra: <https://sites.google.com/site/lciarecipe/characterisation-and-normalisation-factors> (lest 01.11).
- Concrete Pipe Association of Australasia. (1996). *Life Cycle Cost Analysis in Drainage Projects*.
- Concrete Pipeline Systems Association. (2001). *Environmental Assessment of UK Sewer Systems - Groundbreaking Research*.
- Dennison, F. J., Azapagic, A., Clift, R. & Colbourne, J. S. (1999). Life Cycle Assessment: comparing strategic options for the mains infrastructure - Part 1. *Water Science Technology*, 39 (10-11): 5.
- Du, F., Woods, G., Kang, D., Lansey, K. & Arnold, R. (2012). Life Cycle Analysis for Water and Wastewater Pipe Materials. *Journal of Environmental Engineering*: 34.
- duktus.com. (2012). *About us: Duktus* (lest 31.08).
- Egeberg, P. (2012). Oslo (23.04).
- Electricity Industry*. (2012). Europe's Energy Portal (lest 01.10.).
- Filion, Y. R., MacLean, H. L. & Karney, B. W. (2004). Life-Cycle Energy Analysis of a Water Distribution System. *Journal of Infrastructure Systems*, 10 (3): 11.
- Flowtite Norway. *Flowtite Produkt Guide*. Group, T. F. (red.). Sandefjord. 28 s.
- FN. (2012a). *Hva er bærekraftig utvikling?* Oslo: FN-sambandet. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Baerekraftig-utvikling/Hva-er-baerekraftig-utvikling>.
- FN. (2012b). *Status: Tusenårsmål 7: FN-sambandet* (lest 19.11).
- Friedrich, E. & Buckley, C. (2002). *Life-Cycle Assessment as an environmental assessment tool in the water industry*. Biennial Conference, Durban, South Africa: Water Institute of Southern Africa.

- Friedrich, E., Pillay, S. & Buckley, C. A. (2007). The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator.
- Goedkoop, M. & Spriensa, R. (2000). Eco-indicator 99-Manual for designers A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Ministry of Housing, Spatial planning and the environment. 49 s.
- Goedkoop, M., Schryver, A. D., Oele, M., Durksz, S. & Douwe, d. R. (2010). Introduction to LCA with SimaPro 7. 88 s.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. & van Zelm, R. (2012). ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level: Ministry of Housing, Spatial planning and the environment. 137 s.
- gulesider.no. (2012). *Kart: Eniro Norge AS (lest 09.09)*.
- Hausberg, J. (2009). *GRP, anvendelsesområde og egenskaper*. Norsk Vann, fagtreff, Gardermoen.
- Hausberg, J. (2012). (12.04).
- Hellstrom D. & Hjerpe, v. M. D. (2004). Indicators to assess ecological sustainability of the Urban Water Sector. *Urban Water Report Series*. Goteborg: Chalmers University of Technology.
- Helse- og omsorgsdepartementet. (2001). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (Drikkevannsforskriften)*.
- Herstein, L. & Filion, Y. R. (2010). *Life-Cycle analysis of water main materials in the optimal design of the 'anytown' water network*. Water Distribution System Analysis 2010, Tucson, AZ, USA, s. 11: ASCE.
- Howard, N. (2009). LCA of Australian Pipe. 27 s.
- Itten, R., Frischknecht, R. & Stucki, M. (2012). Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid. Uster: Paul Scherrer Institut. 229 s.
- Karlsson, M., Palm, J. & Ingelstam, L. (2007). Att analysera system - reflektion och perspektiv. Linköping: Linköpings universitet.
- Klif. (2012). *Kyotoavtalen*. Tema Klima globalt: Klima- og forurensningsdirektoratet. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/Tema/Klima/Klima-globalt/Tiltak-for-a-redusere-utslipp-av-klimagasser/Kyotoavtalen/> (lest 01.03).
- Larsen, T. A. & Gujer, W. (1997). The concept of sustainable Urban Management. *Water Science and Technology*, 9 (35): 3-10.
- Lundie, S., Peters, G. M. & Beavis, P. C. (2004). Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems planning. *Environmental Science&Technology*, 38 (13).
- Lundin, M., Bengtsson, M. & Molander, S. (2000). Life Cycle Assessment of Wastewater Systems: Influence of System Boundaries and Scale on Calculated Environmental Loads. *Environmental Science&Technology*, 34 (1): 7.

- Lundin, M. (2002). Indicators for measuring the sustainability of urban water systems - a life cycle approach. Chalmers University of Technology.
- Lundin, M. & Morrison, G. M. (2002). A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems.
- Misa Miljøsystemanalyse. (2012). *SimaPro LCA-verktøy* (lest 01.10).
- Moser, A. P. & Folkman, S. (2008). *Buried Pipe Design*. 3 utg. 601 s.
- Mosevoll, G. & Oddevald, J.-E. (2010). Veiledning for bruk av duktile støpejernsrør. I: 173 (red.): Norsk Vann. 55 s.
- Myrstad, L., Nordheim, C. F. & Einan, B. (2011). Vannrapport 116
- Rapport fra Vannverksregisteret - Drikkevannsstatus (data fra 2007 og 2008): Nasjonalt folkehelseinstitutt.
- Natural Gas Industry*. (2012). Europe's Energy Portal.
- Nordiske Plastrørgruppen Norge. (2011). Rørhåndboka.
- Norges forskningsråd. (2005). Energi Norge 2020+. Oslo.
- NSW. (2012). *Environmental Sustainability*. Trade&Investment.
- Penagos, G. (2007). Life Cycle Assessment of Urban Water Systems: A Preliminary of review of Environmental Sustainability.
- Pipelife. (2008). *PE trykkrør og deler*
- Unike egenskaper*. AS, P. N. (red.).
- Piratla, K., Ariaratnam, S. & Cohen, A. (2011). Estimation of Emissions from the Life Cycle of a Potable Water Pipeline Project. *Journal of Management in Engineering*, 28: 9.
- Qi, C. & Chang, N.-B. (2012). Integrated carbon footprint and cost evaluation of a drinking water infrastructure system for screening expansion alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 27: 13.
- Recio, J. M. B., Guerrero, P. J., Ageitos, M. G. & Narváez, R. P. (2005). Estimate of energy consumption and CO2 emission associated with the production, use and final disposal of PVC, HDPE, PP, ductile iron and concrete pipes. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 67 s.
- Ressourcen Management Agentur GmbH. (2011). LCA of Glass Reinforced Plastic (GRP) Pipes. Villach.
- Savic, D. A. & Walters, G. A. (1997). Evolving sustainable water networks. *Hydrological Sciences Journal*, 42:4: 549-564.
- SINTEF. (2011). *Energieffektivisering i industrien*. Tilgjengelig fra: <http://www.sintef.no/SINTEF-Energi-AS/Energibruk/Energieffektivisering-i-industrien/> (lest 30.11).

- Smelror, M. (2011). *Hva ligger gjemt i norske fjell*: geoforskning.no.
- Spirinckx, C., Vanderreydt, I., Vercalsteren, A. & Boonen, K. (2011). Life Cycle Assessment of a PE pipe system for water distribution (according to EN 12201) - Final Third Party Report: Vision on Technology.
- Standard Norge. (2006a). *Miljøstyring*
Livsløpsvurdering. Prinsipper og rammeverk.
- Standard Norge. (2006b). *Miljøstyring*
Livsløpsvurdering. Krav og retningslinjer.
- Standard Norge. (2008). Miljø og bærekraftig utvikling - Bruk av standarder og standardisering. 16 s.
- Stokes, J. & Horvath, A. (2005). Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems. *Int J LCA*.
- Svendsen, J. (2012). Oslo (24.04).
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories. (2012). *Database* (lest 01.10).
- Sægrov, S. (2010). *Ledningsteknologi. I: Fagbok VA-teknikk*. Trondheim.
- Thornton, J. (2001). Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride (PVC) Building Materials
A briefing paper for the Healthy Building Network.
- U.S. EIA. (2010). Annual Energy Outlook 2010 Iron and Steel Industries Energy Consumption, Reference Case: U.S Energy Information Administration.
- UNESCO. (1999). Working Group M.I.V. Sustainability Criteria for Water Resource Systems.
- Utenriksdepartementet. (2011: Prop. 1 s (2011-2012)). *Klima og bærekraftig utvikling*
. Utenriksdepartementet. Oslo. 30 s.
- VA/Miljø-blad. (2001). *VA/Miljø-blad*. Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av PVC-U materiale, 13:2001.
- VA/Miljø-blad. (2003). *VA/Miljø-blad*. Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av GRP materiale, 13:2003.
- VA/Miljø-blad. (2007a). *VA/Miljø-blad*. Kravspesifikasjon for duktile støpejernsrør, 16:2007.
- VA/Miljø-blad. (2007b). *VA/Miljø-blad*. Kravspesifikasjon for rør av PE materiale, 11:2007.
- VA/Miljø-blad. (2010). *VA/Miljø-blad*. Valg av rørmateriell, 30:2010.
- Venkatesh, G., Hammervold, J. & Brattebø, H. (2009). Combined MFA-LCA for ANALYSIS of Wastewater Pipeline Networks - Case Study of Oslo, Norway. *Journal of Industrial Ecology*, 13 (4): 19.

Windsperger, A., Steinlechner, S. & Schneider, F. (1999). Investigation of European life cycle assessment studies of pipes made of different materials for water supply and sewer systems – a critical comparison. St.Polten.

Ødegaard, H. (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. 1 utg.: Norsk Vann. 704 s.

VEDLEGG

A KONTAKTPERSONER

En liste over personlige kilder benyttet i arbeidet med studien.

Jarle Hausberg	APS – Flowtite
Elisabeth Ribarits	Borealis
Per Egeberg	Brødrene Dahl
Steinar Tragethon	Hallingplast
Johanne Hammervold	Misa
Jan Svendsen	PAM
Roger Sønsteby	PAM
Pål Svanem	Pipelife
Geir Vaardal	Pipelife
John Morken	UMB
Vidar Handal	Wavin
Tine Stilling Andersen	Wavin Danmark
Micael Johansson	Wavin Sverige
Ole Jørgen Hanssen	Østfoldforskning

B SPØRSMÅL TIL PRODUSENTER OG LEVERANDØRER

Informasjon sendt til rørprodusenter og –leverandører i forkant av møte med disse.

MASTEROPPGAVE 2012

Katrine Steen Fjeldhus

HENSIKT

Å kartlegge miljøpåvirkninger gjennom livsløpet til ulike ledningstyper til distribusjon av drikkevann, i følgende materialer og dimensjoner:

Ledningstype	DN	Spesifikasjoner
Duktilt støpejern	200 mm / 600 mm	tilsvarende K9 (C64 / C40)
GRP	200 mm / 600 mm	PN 16
PE100	250 mm / 710 mm	SDR 11
PVC	225 mm	SDR 21

ANALYSENE OPPBYGGING

Analysene skal ta for seg de aktuelle rørmaterialenes miljøpåvirkninger: fra uttak av råstoff, via rørproduksjon og frem til rørene ligger i grøfta, med funksjonstid på 100 år. Nedenfor er analysenes hovedtrinn skissert, med fokus på hvilken type informasjon som ønskes fra dere i den forbindelse. Jo mer detaljert informasjon, jo bedre.



RÅSTOFF

- Hvilke?
- Hvor hentes det fra?
- Hvordan transporteres det til fabrikk? Hvor lang er avstanden?
- Hvilke transportmidler, og hva slags drivstoff benyttes?

INN I PRODUKSJONEN

- Hvilke materialer benyttes? Hvor mye?
- Hva slags energi benyttes? Hvor mye?
- Hvordan vedlikeholdes fabrikk? Hva slags utstyr benyttes?

UT AV PRODUKSJONEN

- Hvor mange rør? Hvilke dimensjoner?
- Hvordan oppbevares ferdigproduserte rør?
- Benyttes noen form for emballasje? Isåfall hva, og hvor kommer denne fra?
- Hvor mye avfall blir det fra produksjonen? Hva skjer med dette?
- Hva skjer med rør som ødelegges i/a prosessen? Kan de føres inn i produksjonen igjen på noe tidspunkt? Hvor stor andel rør må kasseres?

GROSSIST/LEVERANDØR

- Hvordan fraktes rørene hit? Hvor lang er avstanden?
- Hvilke transportmidler, og hva slags drivstoff benyttes?
- Hvor mye blir evt ødelagt underveis? Hva skjer med dette?

GRØFT/ANLEGG

- Hvilke transportmidler, og hva slags drivstoff benyttes?
- Er det forskjell på levering til feks Lillestrøm og Trondheim?
- Er det behov for løfteverktøy? Hva er isåfall drivstofforbruk på dette?
- Hvordan håndteres avkapp, ubrukte rør, kasserte rør?
- Hvor stor andel av rørene gjelder dette?

C TRANSPORTDATA

En oversikt over transportavstander og transportmidler benyttet i analysene.

DUKTILT STØPEJERN

TRANSPORT AV RÅSTOFF		TRANSPORT AV RØR	
Trailer (diesel)	ca 150km	Bil (diesel)	1 300km
Tog (elektrisitet)	ca 150km		

GRP

TRANSPORT AV RÅSTOFF		TRANSPORT AV RØR	
Truck (diesel)	1 300km	Bil (diesel)	1 270km
Skip (olje)	5 000km		

PE

TRANSPORT AV RÅSTOFF		TRANSPORT AV RØR	
Bulkbil (diesel)	110km	Bulkbil (diesel)	350km

PVC

TRANSPORT AV RÅSTOFF		TRANSPORT AV RØR	
Bulkbil (diesel)	380km	Bulkbil (diesel)	600km
Skip (olje)	920km		
