



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge

Livsløpsanalyse som grunnlag for
sammenligning av alternative
fjordkrysninger



Rapport

Tittel: Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge Livsløpsanalyse som grunnlag for sammenligning av alternative fjordkryssinger	Rapport nummer: 00-03 BRU
	Dato: 2000-02-04
	Antall sider: 5
	Antall bilag: 1
Saksbehandler: Tormod Dyken	Signatur: 
Ansvarlig: Brustandardisering, Otto Kleppe	Signatur: 
Sammendrag: <p>Bruavdelingen fikk i 1998 i oppdrag av etatsledelsen "å utrede forskjellene mellom bro og tunnel mht. investering, vedlikehold, energiregnskap, miljøregnskap (utslipp til luft, støy etc.), funksjon, estetikk og med forslag til informasjonsopplegg".</p> <p>Hensikten var å skaffe til veie bedre informasjon om miljøkonsekvenser ved valg av undersjøisk tunnel kontra bro og å synliggjøre disse konsekvensene.</p> <p>Konsekvensanalyser, gjennomført etter vegvesenets håndbok 140, tar ikke i tilstrekkelig grad hensyn til den type miljøbelastninger som denne studien forutsettes å gjøre. Det er derfor lagt en livsløpsvurdering i henhold til ISO 14040-serien til grunn for arbeidet. Miljøaspektene som analyseres er forbruk av elektrisk og fossil energi og utslipp av CO₂, NO_x, SO_x, CO, C_xH_y samt partikler til luft.</p> <p>For å gjøre resultatene så generelt anvendbare og sammenlignbare som mulig er analysen basert på et todimensjonalt, konstruert system med bro, tunnel og fergeforbindelse på samme sted.</p> <p>Basert på størrelsesorden av utslippene og en vurdering av deres relative bidrag til miljøbelastning blir utslipp av CO₂ og NO_x betraktet som de viktigste miljøaspektene, sammen med forbruk av elektrisk og fossil energi.</p> <p>Resultatene viser at det er systemenes driftsfase som er den klart viktigste bidragsyter til de totale miljøbelastninger. For forbruk av elektrisitet fremstår tunnelsystemet som det dårligste, mens bro- og fergesystemet er tilnærmet likeverdige. For forbruk av fossil energi fremstår fergesystemet som det dårligste, tunnelsystemet som det nest dårligste og brosystemet som det beste, det samme gjelder for CO₂ og NO_x.</p> <p>Det er viktig å merke seg at resultatene er avhengige av de antagelser og forutsetninger som ligger til grunn for studien. Resultatene gjelder derfor ikke generelt eller for systemer med andre antagelser eller forutsetninger. Fjordkryssinger vil f.eks. normalt velges på forskjellige steder avhengig av om det er en bro, tunnel eller fergeforbindelse. Tilhørende kjøreavstand vil derfor kunne variere sterkt og således påvirke graden av miljøbelastning.</p> <p>Resultatene vil likevel kunne brukes til å vurdere de miljømessige konsekvensene av ulike kryssings- og trasévalg.</p> <p>Det anbefales å arbeide videre med å benytte metodikken på faktiske problemstillinger, og å etablere denne formen for analyse som en del av konsekvensutredningene for veisystemer (Håndbok 140).</p>	
Stikkord : Miljø, livsløpsvurdering, bro, ferge, tunnel, vei.	
Keywords: Environment, load cycle assessment, bridge, ferry, tunnel, road.	

Innledning

Bruavdelingen fikk i 1998 i oppdrag av etatsledelsen "å utrede forskjellene mellom bro og tunnel mht. investering, vedlikehold, energiregnskap, miljøregnskap (utslipp til luft, støy etc.), funksjon, estetikk og med forslag til informasjonsopplegg".

Hensikten var å skaffe til veie bedre informasjon om miljøkonsekvenser – inkludert estetikkonsekvenser – ved valg av undersjøisk tunnel kontra bro og å synliggjøre disse konsekvensene.

Hensikten var ikke å beregne totalkostnadene ved de to alternativene, men kun å belyse kostnader relatert til prosjektering, bygging, drift og vedlikehold over levetiden i tillegg til energiforbruk og miljømessig belastning på omgivelsene. Forhold som varierer sterkt fra sted til sted, som f.eks. lokalmiljøet, og som omfattes av en vanlig konsekvensanalyse, skulle utelates.

For gjennomføring av prosjektet ble det opprettet en arbeids- og styringsgruppe med representanter fra forskjellige berørte avdelinger i Vegdirektoratet. Gruppen hadde følgende sammensetning:

Sjefing. Otto Kleppe, Brustandardiseringsktr., formann
Senioring. Tore Slyngstad, Byggherrektr.
Sjefing. Alf Kveen, Geologi- og tunnelktr.
Ktr.sjef Jan A. Martinsen, Samfunnsplanktr.
Seksjonsleiar Anders Sigbjørn Moen, Utbygging, Møre og Romsdal vegktr.
Senioring. Erik Nordstrøm, Drifts- og vedlikeholdsktr.
Sjefing. Olav Grindland, Bruvedlikeholdsktr.
Senioring. Tormod Dyken, Brustandardiseringsktr., sekretær

Arbeidet startet høsten 1998 med forberedende møter. Gjennom prosjektets planleggingsperiode ble det etterhvert klart at oppgaven, slik den opprinnelig var definert, ville bli meget omfattende. Det ble også avdekket et behov for å definere oppgaven slik at forskjellen til en vanlig konsekvensanalyse, basert på håndbok 140, ble klarere.

Oppgaven ble derefter reformulert. I den prosessen ble det klart at også fergeforbindelse, som et aktuelt alternativ, burde være med i sammenligningen. Oppgaven ble dermed noe utvidet, men ble samtidig innsnevret med hensyn til hvilke effekter som skulle sammenlignes. Det ble etterhvert klart at hverken aspekter vedrørende estetikk, økonomi eller ulykkesrisiko kunne inkluderes hvis miljøaspektet skulle kunne belyses tilstrekkelig grundig innenfor de gitte rammer.

Resultatet ble at livsløpsbetraktninger (LCA), basert på bl.a. retningslinjene i ISO 14040 serien, skulle utgjøre en hoveddel av arbeidet. Slike "vugge-til-grav" og "vugge-til-vugge" betraktninger brukes allerede mye i forbindelse med industriprodukter (f.eks. miljømerking), men er forholdsvis nytt i forbindelse med store konstruksjoner som broer og tunneler.

Arbeidet med selve LCA-analysen ble sendt ut på anbud til seks utvalgte institusjoner. Etter en totalvurdering ble Avdeling for miljørådgivning ved Det Norske Veritas valgt. Veritas deltok i arbeidsgruppens møter og gav samtidig gruppens medlemmer en nødvendig innføring i prinsippene for LCA-analyser.

Gjennomføring

Arbeidsgruppen holdt syv møter. Etter hvert ble grensene for de systemene som skulle sammenlignes fastlagt. Det var også nødvendig å hente frem data for forskjellige delprosesser på et relativt detaljert nivå. De forskjellige medlemmene fremskaffet bakgrunnsdata fra sine arbeidsområder. Mye data, spesielt vedrørende fergen, har Veritas kunnet hente fra sin egen database og andre, åpne kilder.

Veritas' data vedrørende utslipp fra veitrafikk er kontrollert av Miljøkontoret i Vegdirektoratet ved å kjøre en sammenlignende beregning ved hjelp av utslippsberegningsmodellen NOXCO. Resultatene ga noe avvikende resultat, men ikke mer enn det man kan forvente når man bruker forskjellige beregningsmodeller.

Flere mulige systemer for sammenligning ble vurdert. En nærliggende måte å komme frem til et system på var å ta utgangspunkt i en eksisterende fergeforbindelse der andre krysningsalternativer allerede ble vurdert. Fordelen med en slik løsning ville, bl.a., være at mye data allerede ville foreligge og at undersøkelsen ville bli både aktuell og realistisk.

En ulempe med et slikt valg blir naturligvis at resultatene blir sterkt preget av de lokale geografiske forhold på det aktuelle stedet og at det derved blir vanskeligere å analysere og sammenligne alternativene på et mer generelt grunnlag.

Gruppen valgte derfor å basere seg på et konstruert, "plant" system for å redusere effekten av tilfeldige trasévalg mest mulig og derved gjøre sammenligningen av de forskjellige alternativene klartest mulig. Likevel er det ikke til å unngå at resultatene blir avhengige av de geometrivalg som er gjort.

Geometrien ble valgt så generell som mulig under forutsetning av at fjorden ikke var bredere enn at den kunne krysses av en "normal" betongbro og ikke dypere enn at den kunne krysses av en "normal" tunnel. Fjorden ble derfor valgt 1000m bred og 50m dyp og med et tverrsnittsprofil som tillot å fundamenterer et par pilarer i sjøen på "normal" måte. For enkelhets skyld ble tverrsnittsprofilen valgt å være symmetrisk om fjordmidten.

Mot slutten av arbeidet ble det klart at resultater gitt i f.eks. "tonn NO_x" kan være vanskelig for en vanlig leser av rapporten å ha noe forhold til. Det ble derfor bestemt at det skulle innføres et fjerde alternativ, "kjøring rundt fjorden", for sammenligningens skyld. Som enhet ble antall ganger den rette, horisontale strekning over fjorden fra A til B, som om det ikke fantes noen fjord, valgt. Lengden rundt fjorden ble da målt i antall ganger strekningen A-B. Man ser derved hvor mange ganger større utslipp eller forbruk de forskjellige alternativer har sammenlignet med en rett, horisontal vei mellom A og B.

Gjennomføringen, med hensyn til metodikk, analysert system og innsamlede data, er i detalj beskrevet i vedlagte Det Norske Veritas rapport nr. 99-3577.

Resultater

Resultatene er utførlig beskrevet i vedlagte Det Norske Veritas rapport nr. 99-3577.

Resultatene er presentert i form av forbruk av elektrisk og fossil energi og utslipp av såkalte miljøgasser og partikler. De beregnede verdier er naturligvis relatert til de valgte referansesystemer, men kan godt – med noe forsiktighet – brukes som grunnlag for å vurdere forandringer av systemene.

Innenfor visse grenser, der det skjer sprangvise forandringer i systemene, kan resultatene, grovt sett, betraktes som proporsjonale med systemenes hovedparametere. For eksempel vil

en øket fjordbredde gi tilnærmet proporsjonal økning av verdiene for brosystemet og underproporsjonal økning for tunnelsystemet fordi økningen av fjordbredden vil gi en tilsvarende horisontal tunneldel. For fergesystemet vil en øket fjordbredde resultere i øket fergestrekning med tilhørende gunstig eller ugunstig effekt avhengig av hvilke parametre man vurderer.

Generelt vil større dybde i fjorden gi en betydelig økning av tunnallengden. For eksempel vil, ved 8% stigning i tunnelen, lengden øke med 250 m for hver 10 m dybden øker. Miljøprestasjonen vil dermed bli tilsvarende dårligere.

Det er gjort to sensitivitetsanalyser i den foreliggende studien. I den ene er effekten av redusert årsdøgntrafikk undersøkt og i den andre er resultatet av et brattere lengdeprofil i tunnelen studert.

Konklusjoner

Det er ikke mulig å trekke en helt generell konklusjon med hensyn til hvilket krysningalternativ som er mest miljøvennlig. Undersøkelsen viser at det er driftsfasen, dvs. trafikken, som gir de overlegent største bidragene både med hensyn til energiforbruk og til utslipp. Prestasjonene til de forskjellige krysningalternativene vil derfor avhenge sterkt av traseen.

For å kunne konkludere for spesifikke utbygningalternativer er det nødvendig å gjennomføre konkrete studier i hvert enkelt tilfelle og med de aktuelle alternative løsningene. Disse alternativene bør analyseres og vurderes med en forenklet metodikk basert på metodikk, data og konklusjoner fra denne studien.

Slike studier av faktiske krysnings prosjekter vil bidra til å styrke datagrunnlaget og muliggjøre en utdypning av konklusjonene. Dette kunne best oppnås ved å få en forenklet LCA-analyse innarbeidet i håndbok for konsekvensanalyser (Hb. 140). På den måten kunne man oppnå en forbedring av både metodikk og datagrunnlag.

For de krysningalternativene som er undersøkt i denne studien fremstår broalternativet som det miljømessig gunstigste alternativet selv om en betongbroalternativet, som ble brukt i denne sammenligningen, belastes med et betydelig CO₂-utslipp i byggefasen fra sementproduksjonen.

Undersøkelsen viste også at en tunnel med slak lengdeprofil og derved større lengde og større investeringskostnader, i et levetidsperspektiv, er miljømessig gunstigere enn en tunnel med brattere profil.

Siden veitrafikken gir det overlegent største bidraget til utslipp og forbruk av fossil energi, vil det alternativ som har den korteste og flateste trasé fremstå som det miljømessig gunstigste. Når målet f.eks. er å redusere Norges totale utslipp av CO₂ vil bevisste trasévalg over tid kunne gi et ikke ubetydelig bidrag til redusert utslipp.

Det er vanskelig å vurdere økonomiske kostnader og miljøkostnader opp mot hverandre så lenge de måles i totalt forskjellige enheter. CO₂-avgifter og kjøp og salg av CO₂-kvoter i henhold til Kyoto-avtalen f.eks. vil kanskje gjøre det lettere å sammenligne kvaliteten til forskjellige alternativer.

Ytterligere konklusjoner er trukket i vedlagte Det Norske Veritas rapport nr. 99-3577.

Vedlegg

Det Norske Veritas Rapport nr. 99-3577:

"Livsløpsanalyse som grunnlag for miljømessig sammenligning av alternativer for kryssing av fjord – Vurdering av bro-, tunnel- og fergesystem"

Høvik, 17. desember 1999

TEKNISK RAPPORT

STATENS VEGVESEN

LIVSLØPSANALYSE SOM GRUNNLAG FOR
MILJØMESSIG SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVER
FOR KRYSSING AV FJORD
VURDERING AV BRO-, TUNNEL- OG FERGESYSTEM

RAPPORT NR. 99-3577

REVISJON NR. 1

DET NORSKE VERITAS

TEKNISK RAPPORT

Dato for første utgivelse: 17. Desember 1999	Prosjekt Nr.: 59000058
Godkjent av: Christian Rafn Avdelingsleder	Organisatorisk enhet: RN 590 Miljørådgivning
Kunde: Statens vegvesen. Vegdirektoratet. Brustandardiseringskontoret.	Kunde ref.: Tormod Dyken

DET NORSKE VERITAS AS
Region Norge
Miljørådgivning

Veritasveien 1
N-1322 Høvik Norway
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 99 11
http://www.dnv.com
Org. No: NO 945 748 931 MVA

Sammendrag:

Formålet med studien presentert i denne rapporten er å sammenligne miljøprestasjonen til alternative systemer for å krysse en fjord i et livsløpsperspektiv. Studien sammenligner alternativene betongbro, undersjøisk tunnel, ferge og kjøring rundt fjorden. Miljøaspektene som analyseres er forbruk av elektrisitet, forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂, NO_x, SO_x, CO, C_xH_y og partikler til luft.

Basert på størrelsesordenen til utslippene og en vurdering av deres relative bidrag til miljøeffekter blir utslipp av CO₂, NO_x betraktet som de viktigste miljøaspektene, sammen med forbruk av elektrisitet og fossil energi.

Resultatene viser at driftsfasen til systemene er den klart viktigste bidragsyteren til de totale miljøbelastningene. For forbruk av elektrisitet fremstår tunnelsystemet som det dårligste, mens bro- og fergesystemet er tilnærmet likeverdige. For forbruk av fossil energi fremstår fergesystemet som det dårligste, tunnelsystemet som det nest dårligste og brosystemet som det beste, det samme gjelder for CO₂ og NO_x.

Det er viktig å merke seg at resultatene er avhengig av de antagelser og forutsetninger som ligger til grunn for studien. Resultatene gjelder derfor ikke generelt eller for systemer med andre antagelser og forutsetninger.

Det anbefales å arbeide videre med å benytte metodikken videre på faktiske problemstillinger, og å etablere denne formen for analyser som en del av konsekvensutredningene for veisystemer (Håndbok 140).

Rapport Nr.: 99-3577	Emne Gruppe: F5	
Rapport tittel: Livsløpsanalyse som grunnlag for miljømessig sammenligning av alternativer for kryssing av fjord. Vurdering av bro-, tunnel- og fergesystem.		
Arbeid utført av: T. Johnsen, A.S. Estensen, I. Nestaas		
Arbeid verifisert av: Jan A. Myhrstad		
Dato for denne revisjon: ----	Rev. Nr.: 1	Antall sider: 58

Indekseringstermer

Miljø, livsløpsvurdering, bro, ferge, tunnel, vei.

- Ingen distribusjon uten tillatelse fra kunde eller ansvarlig organisatorisk enhet
- Begrenset distribusjon innen Det Norske Veritas
- Ubegrenset distribusjon

TEKNISK RAPPORT

<i>Innholdsfortegnelse</i>		<i>Side</i>
1	SAMMENDRAG	1
2	HENSIKT OG OMFANG	2
2.1	Hensikt	2
2.2	Arbeidsform	2
2.3	Om livsløpsvurderinger	2
2.4	Funksjoner og funksjonell enhet	3
2.5	Beskrivelse av systemene	3
2.5.1	Felles for systemene	3
2.5.2	Veilenker	3
2.5.3	Brosystemet	4
2.5.4	Tunnelsystemet	4
2.5.5	Fergesystemet	5
2.5.6	System for kjøring rundt fjorden	6
2.6	Systemgrenser	6
2.7	Modell for systemene	7
3	DATAINNSAMLING.....	14
3.1	Generelt om datainnsamlingen	14
3.2	Kartlegging av utslipp, energi- og ressursforbruk	14
3.2.1	Lastebiltransport	14
3.2.2	Båttransport	15
3.2.3	Rydding	15
3.2.4	Boring	16
3.2.5	Sprengning	16
3.2.6	Masseforflytting	16
3.2.7	Legging av forsterkningslag	17
3.2.8	Legging av bærelag	18
3.2.9	Legging av slitelag	18
3.2.10	Asfaltverk	19
3.2.11	Trafikk	19
3.2.12	Snørydding	20
3.2.13	Sandstrøing	20
3.2.14	Salting	20
3.2.15	Fresing	20
3.2.16	Bygging av oppstillingsplass	21
3.2.17	Bygging av kaikonstruksjon	21
3.2.18	Strømforbruk kai	21
3.2.19	Bygging av brokonstruksjon	21
3.2.20	Legging av membran	22
3.2.21	Vedlikehold av brokonstruksjon	22
3.2.22	Bergsikring	22

TEKNISK RAPPORT

3.2.23	Injeksjonsmasse	23
3.2.24	Vann- og frostisolasjon	23
3.2.25	Belysning, pumper og vifter i tunnel	23
3.2.26	Bygging av skrog	23
3.2.27	Bygging av delsystemer	24
3.2.28	Påføring av bunnstoff	24
3.2.29	Maling	25
3.2.30	Seiling	25
3.2.31	Bunnstofflekkasje	26
3.2.32	Vedlikehold av skrog	26
4	KARTLEGGINGSRESULTATER FOR REFERANSESYSTEMENE	28
4.1	Forbruk av elektrisitet	28
4.2	Forbruk av fossil energi	30
4.3	Utslipp av CO ₂	31
4.4	Utslipp av NO _x	32
4.5	Utslipp av SO _x	33
4.6	Utslipp av CO	34
4.7	Utslipp av C _x H _y	35
4.8	Utslipp av partikler	36
5	VURDERING AV EFFEKTER OG PRIORITERING	37
6	SENSITIVITETSANALYSER	38
6.1	Endringer i årsdøgntrafikk	38
6.2	Endring i tunnelprofil	40
7	DISKUSJON OG KONKLUSJON	42
7.1	Diskusjon av forutsetninger	42
7.2	Konklusjoner	43
8	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	44
9	REFERANSER	45

APPENDIKS

1 SAMMENDRAG

Formålet med studien presentert i denne rapporten er å sammenligne miljøprestasjonen til alternative systemer for å krysse en fjord i et livsløpsperspektiv. Studien sammenligner alternativene betongbro, undersjøisk tunnel, ferge og kjøring rundt fjorden. Miljøaspektene som analyseres er forbruk av elektrisitet, forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂, NO_x, SO_x, CO, C_xH_y og partikler til luft.

Det er bygget opp modeller for bygging, drift og vedlikehold av veilenker, bro, tunnel, ferge og kai. Disse modellene kombineres for å bygge opp livsløpet til de studerte systemene.

Basert på størrelsesordenen til utslippene og en vurdering av deres relative bidrag til miljøeffektene forbruk av ressurser, global oppvarming, forsurening og lokal luftforurensning blir utslipp av CO₂ og NO_x betraktet som de viktigste miljøaspektene, sammen med forbruk av elektrisitet og fossil energi. Tabellen under angir de totale resultatene (sum av bidrag fra bygging, drift og vedlikehold) beregnet per funksjonell enhet for disse miljøaspektene. Den funksjonelle enheten er et system for fjordkrysning i 25 år.

Det presiseres at systemet for å kjøre rundt fjorden kun er angitt for en lengde lik den totale lengden som gjelder for de tre andre systemene (3,2 km). For kunne gjøre en reell sammenligning som inkluderer alternativet å kjøre rundt fjorden må resultatet multipliseres opp det antall strekninger a' 3,2 km som turen rundt utgjør.

	Brosystem	Tunnelsystem	Fergesystem	Vei for å kjøre rundt*
Forbruk av elektrisitet	2,02 GWh	35 GWh	2,51 GWh	0,06 GWh
Forbruk av fossil energi	6144 tonn	9134 tonn	15051 tonn	5643 tonn
Utslipp av CO ₂	23016 tonn	30716 tonn	50989 tonn	18703 tonn
Utslipp av NO _x	156 tonn	217 tonn	657 tonn	129 tonn

* Tallene som er presentert gjelder for en veistrekning på 3,2 km.

For forbruk av elektrisitet fremstår tunnelsystemet som det dårligste, mens bro- og fergesystemet er tilnærmet likeverdige. For forbruk av fossil energi fremstår fergesystemet som det dårligste, tunnelsystemet som det nest dårligste og brosystemet som det beste, det samme gjelder for CO₂ og NO_x.

Resultatene som er beregnet i denne studien viser at driftsfasen til systemene er den klart viktigste bidragsyteren til de totale miljøbelastningene.

Det er viktig å merke seg at resultatene er avhengig av de antagelser og forutsetninger som ligger til grunn for studien. Resultatene gjelder derfor ikke generelt eller for systemer med andre antagelser og forutsetninger.

Det anbefales å arbeide videre med å benytte metodikken videre på faktiske problemstillinger, og å etablere denne formen for analyser som en del av konsekvensutredningene for veisystemer (Håndbok 140).

2 HENSIKT OG OMFANG

2.1 Hensikt

Studien skal dokumentere miljøbelastninger gjennom livsløpet til fjordkrysningsalternativene bro, tunnel og ferge. Resultatene fra analysen skal anvendes som en støtte i beslutningsprosessen i fremtidige prosjekter.

Årsaken til at denne typen sammenligning utføres er at den miljømessige informasjonen som foreligger når valg av krysningsalternativ skal gjennomføres, baserer seg på resultater fra konsekvensutredningen for prosjektet. Konsekvensutredninger for veiprojekter gjennomføres etter en bestemt mal, og den anses for å ha en lokal fokus. Livsløpsvurderingen vil tilføre det miljømessige beslutningsgrunnlaget ny informasjon ved å ta hensyn til regionale og globale miljøbelastninger som oppstår gjennom hele livsløpet til systemene.

Leveransen fra studien vil benyttes av beslutningstakere i Statens vegvesen.

2.2 Arbeidsform

Arbeidet er gjennomført ved at det er avholdt jevnlige arbeidsmøter mellom representanter fra DNVs prosjektgruppe og en referansegruppe sammensatt av representater fra Statens vegvesen. Referansegruppen har fungert som dataleverandør og har gitt innspill til fastlegging av systemgrenser. DNV har samlet inn bakgrunnsdata, bygget modeller i livsløpsvurderingsverktøyet SimaPro, gjennomført beregninger og skrevet rapport.

2.3 Om livsløpsvurderinger

Det er valgt å benytte livsløpsvurderinger som metodikk for studien. Metodikken er standardisert i henhold til ISO /1/. Livsløpsvurderinger kan defineres som en metode som studerer potensielle miljøeffekter knyttet til et produkts eller systems material- og energistrømmer fra ressursene tas ut fra sitt naturlige miljø, gjennom produksjon, bruk og vedlikehold og fram til strømmene er tilbakeført til miljøet.

Livsløpssystemet er bygget opp av prosessenheter. For hver prosessenhet kvantifiseres strømmen av råvarer, energi, produkter, avfall og utslipp. Kvantifiseringen for hver prosessenhet gjøres i forhold til en funksjonell enhet. Etersom hver enkelt prosessenhet er kvantifisert i forhold til en felles funksjonell enhet, er det mulig å aggregere forbruk av felles råvarer, produkter, energistrømmer, samt avfallsstrømmer og utslipp over systemets livsløp.

Livsløpsvurderinger bidrar til å avklare betingelsene for renere teknologi og produksjon i et helhetsperspektiv. Metoden identifiserer om tiltak gir lokal optimalisering og flytter miljøpåvirkninger fra et sted til et annet, eller om tiltaket er til fordel for hele systemet.

2.4 Funksjoner og funksjonell enhet

En felles funksjon for alle tre alternativer er å gjøre det mulig for biltrafikk å krysse en fjord. Den funksjonelle enheten er basert på denne funksjonen.

De tre systemene kan også ha andre funksjoner som i varierende grad oppfylles av de tre systemene. Dette kan være å gjøre det mulig for fotgjengere eller syklistene å krysse fjorden. Disse funksjonene tas ikke hensyn i studien.

Den funksjonelle enheten er referanseenheten som alle kvantifiserte miljøbelastninger relateres til. I denne studien defineres den funksjonelle enheten som "fjordkrysning for en årsgjennomsnittlig trafikk på 3000 enheter i 25 år".

Dette betyr at den faktiske miljøbelastningen fra byggefasen vil divideres med det antall ganger 25 går opp i levetiden til systemet. For eksempel, dersom levetiden til et system er 100 år vil den faktiske miljøbelastningen fra byggefasen divideres med 4.

2.5 Beskrivelse av systemene

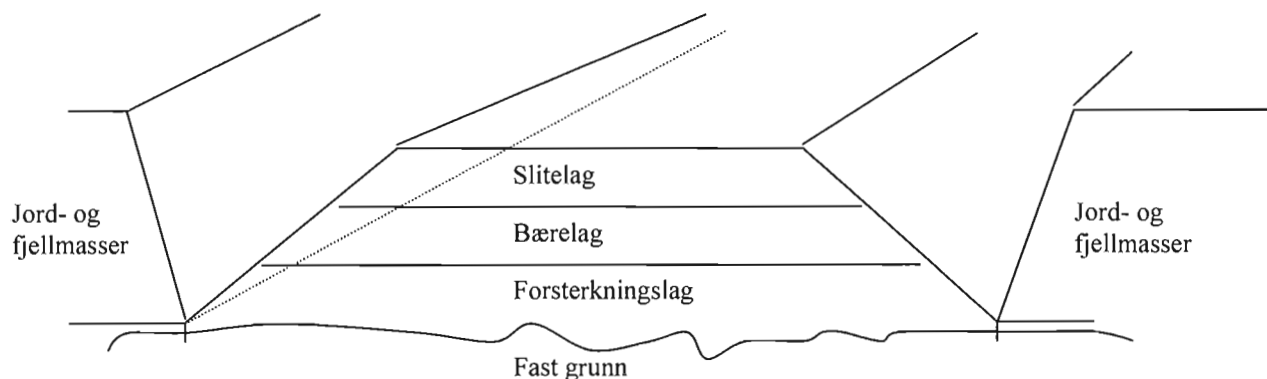
2.5.1 Felles for systemene

Listen under angir felles forutsetninger for de tre fjordkrysningssystemene bro, tunnel og ferge:

- ÅDT=3000. Dette tallet er høyt for typiske norske fjordkrysninger. Det er derfor også gjennomført en sensitivitetsstudie med ÅDT=1500 (se kapittel 6.1), andel tungtrafikk=10%.
- Data skal representere år 2000 teknologi.
- Systemene har et felles start- og slutt punkt (punkt A og B). Disse er ved tunnelåpningene.
- Strekninger mellom A og B som ikke dekkes av bro eller ferge, dekkes av veilenker.
- Alle krysningssystemene har den samme fjordprofilen som skal krysses.
- Fjorden, brosystemet, tunnelsystemet og fergesystemet anses som symmetriske om midten.

2.5.2 Veilenker

- Veilenker er av veiklasse H1, 2 felt, 8.5 m bred, ingen gang- og sykkelvei, ingen belysning.
- Kjørehastighet=70 km/t for alle kjøretøy.
- Levetid=50 år, veilenkene har en oppbygning som vist i figur 1.

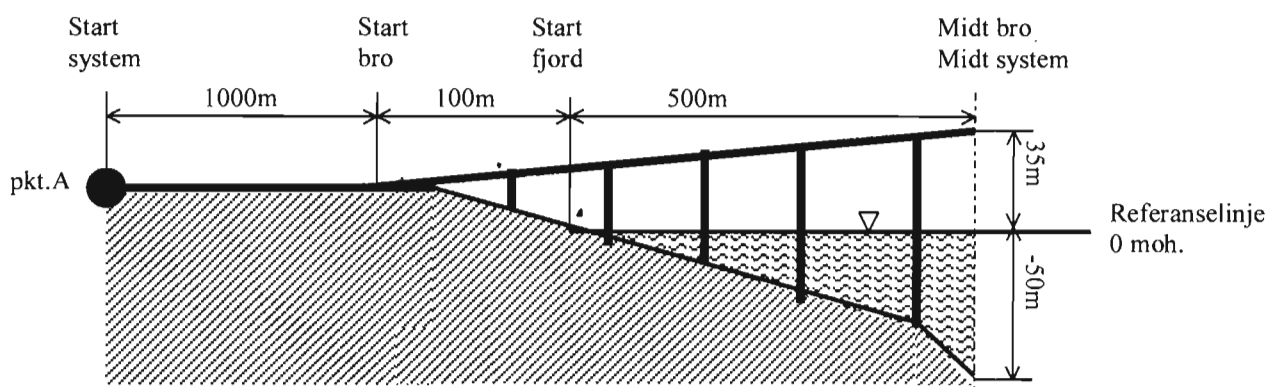


Figur 1 Skjematisk bilde av veilenkenes oppbygning

TEKNISK RAPPORT

2.5.3 Brosystemet

- Kjørehastighet=70 km/t for alle kjøretøy.
- Broas høyeste punkt er på midten og har en høyde på 35 moh.
- Broa starter/ender 20 moh.
- Broa starter/ender 100 m inn på land.¹
- Broa har en total lengde på 1200 m.¹
- Broa har stigning/fall på 2,6%.
- Broa har samme veibredde som veilenkene (8.5 m), i tillegg er det gang- og sykkelvei på en side med en bredde på 2 m.
- Betongbro med 11 spenn.
- Veilenkene for brosystemet antas å være helt plane.
- Levetid=100 år
- Sett fra siden har broa, med veilenke, en profil som vist i figur 2. (Den vertikale stiplede linjen i figuren er symmetrilinje.)

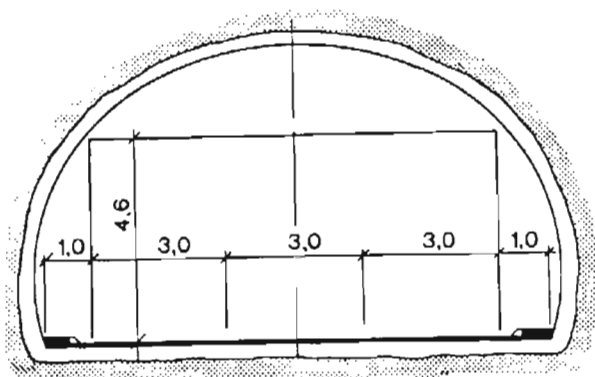


Figur 2 Skjematiske bilde av bro, med veilenke sett fra siden

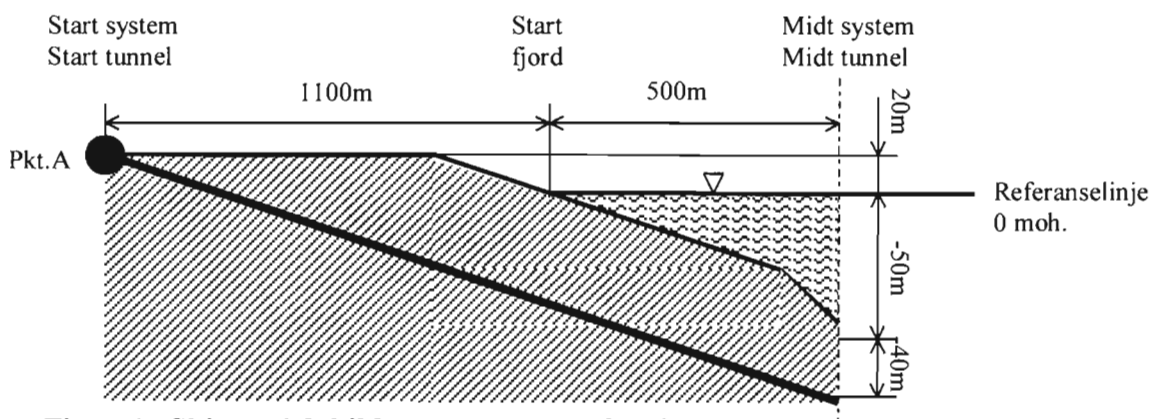
2.5.4 Tunnelsystemet

- Kjørehastighet=70 km/t for lette kjøretøy.
- Kjørehastighet=50 km/t for tunge kjøretøy.
- Tunnelens dypeste punkt er på midten og har en dybde på -90 moh. Dette tallet er basert på at fastsatt fjorddybde er -50 moh. og at tunnelen typisk passerer 40 m under fjorden.
- Tunnelen starter/slutter 20 moh.
- Det antas jevn stigning/fall fra åpning til bunn.
- Tunnelen har stigning/fall på 7%.
- Pga. stor stigning og ÅDT=3000 antas tunnelprofil T11, dvs. tre felt gjennom hele tunnelen.
- Tunnelen har en lengde på 3200 m. Denne er beregnet på bakgrunn av tunnelens dybde, fjordens bredde og fastlagt stigning/fall.
- Tunnelen har et netto tverrsnittsareal på 63,78 m² /6/.
- Levetid=100 år
- Tunnelens profil har et tverrsnitt som vist i figur 3.
- Sett fra siden har tunnelen en profil som vist i figur 4. (Den vertikale stiplede linjen i figuren er symmetrilinje.)

TEKNISK RAPPORT



Figur 3 Tverrsnitt av tunnelprofil T11 /6/

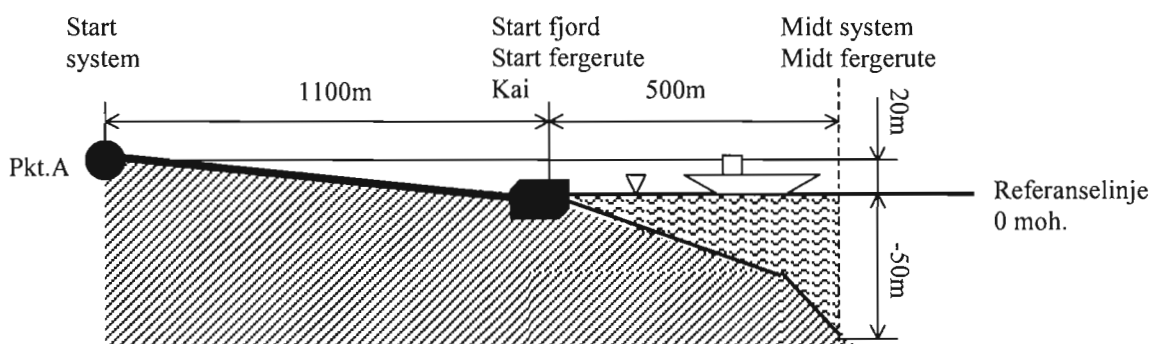


Figur 4 Skjematisk bilde av tunnel sett fra siden

2.5.5 Fergesystemet

- Fergesystemet inkluderer kaianleggene, kaianleggene har følgende beskrivelse:
 - Overflate på kai=300 m²
 - Levetid=50 år.
- Kun én ferje betjener overfarten.
- Samme ruteprofil, hver dag, året rundt.
- Ferger har avgang hvert 20. minutt mellom kl. 0600 og 0100, totalt 57 avganger/døgn.
- Kapasitet på 148 personbilkvivalenter (PBE) og 550 passasjerer.
- Levetid=40 år.
- Stigning på veilenke fra kai til punkt A på 1,6%.
- Profilen til fergesystemet er som angitt i figur 5. (Den vertikale stiplede linjen i figuren er symmetrilinje.)

TEKNISK RAPPORT



Figur 5 Skjematisk bilde av ferge, med veilenke og kai, sett fra siden

2.5.6 System for kjøring rundt fjorden

Det er interessant å vurdere hvordan det vil slå ut miljømessig å kjøre rundt en fjord, kontra å krysse den. Som en forenkling antar vi her en helt flat veiprofil.

Vi tar utgangspunkt i en veistrekning lik den rette linjen mellom punkt A og B (3,2 km). Basert på resultatene fra beregningene for et slikt system kan resultatene multipliseres med antall strekninger A-B som turen rundt utgjør. F.eks. dersom det er 3 ganger så langt å kjøre rundt som fra punkt A til B så multipliseres bidraget fra veilenken med 3. Dersom det er 4 ganger så langt rundt så multipliseres bidraget med 4, osv.

2.6 Systemgrenser

En livsløpsanalyse skal ideelt sett følge alle material- og energistrømmer fra ressursene tas ut fra sitt naturlige miljø, gjennom produksjon, bruk og fram til strømmene er tilbakeført til miljøet.

Med så komplekse systemer som behandles i denne studien, er det nødvendig å innføre begrensninger, både med hensyn til hvilke material-, energi- og produktstrømmer som inkluderes, og hvilke deler av livsløpet som faller innenfor systemgrensene.

Felles grenser for de fire systemene er at:

- Bygging, vedlikehold og avhending av produksjonsanlegg, maskiner og utstyr (kapitalinvesteringer) er ikke inkludert. Dette er normal praksis innenfor livsløpsanalyser.
- Materialer som tas i bruk i byggefasen til kai, ferge, veilenker, tunnel og bro som bidrar med mindre enn 5% av den totale massen som enhetene består av, utelates fra systemene. I utgangspunktet antas det at byggefasen blir lite utslagsgivende for den totale miljøbelastningen i et livsløpsperspektiv. For å ikke å bruke for mye ressurser på datainnsamling innføres dette "cut-off" kriteriet. Stoffer som bidrar med mindre enn 5%, men som anses som spesielt forurensende inkluderes uansett.
- Sluttbehandlingsfasen til systemene utelates. Begrunnelsen for dette er at ingen av systemene kan sies å ha en markert slutt. Sluttet på levetiden settes til det øyeblikk systemene går ut av den opprinnelige tiltenkte bruk. Dette innebærer imidlertid svært sjelden at systemene destrueres. En tunnel blir stående, det samme gjelder for broa, veien og kaia. En ferge hugges som regel opp, og i de tilfeller dette gjøres i utviklingsland anses det å være store

TEKNISK RAPPORT

miljøproblemer knyttet til opphuggingen. Disse problemene er imidlertid svært lokale og er mer relatert til ulykker og diskontinuerlige hendelser enn kontinuerlige utslipp. Dette gjør at livsløpsanalysen er lite egnet til å kvantifisere og vurdere denne fasen, og sluttbehandlingsfasen utelates også for ferga. Resirkulering av materiale er et aspekt som vil falle ut. Dette diskuteres videre i kapittel 7.1.

- Prosesser i bygge-, drift- og vedlikeholdsfasen vil ha fokus på material- og energiforbruk og utslipp knyttet til produksjon og bruk av drivstoff og elektrisitet. Kjemikaliebruk er også et viktig tema når man studerer livsløpet til bygg og anlegg. Dette er imidlertid ikke inkludert i studien da meget få data var tilgjengelig da studien ble initiert, samt at det metodiske grunnlaget for å inkludere denne typen miljøbelastninger i en LCA er lite utviklet.
- Ved bruk av elektrisitet er det benyttet data for produksjon av norsk elektrisitet.
- Tabellen under viser prosesser og materialer som er ekskludert fra systemmodellene.

Tabell 1 Prosesser og materialer som er utelatt fra de modellerte systemene

System	Utelatte prosesser og materialer	
	Bygging	Vedlikehold
Veilenker	Kummer, drenerør, skilter, veimerking, natursteinmur	Vedlikehold av de enheter som er nevnt under bygging. Rensking av veikanten.
Kaianlegg	Prosessene knyttet til utførelsen av byggingen, forskaling, utstyr og bygninger på kaia	Alt vedlikehold.
Bro	Fuger, lagre, forskaling, prosessene knyttet til bygging av konstruksjonen	Impregnering, veimerking, utførelsen av vedlikehold på konstruksjonen
Tunnel	Pumper, elektriske installasjoner, lysarmatur, vifter, drenerør, prosessene knyttet til påføring av masser på veggene, vegmerking	Rengjøring av vegger, vegmerking, utskifting av pumper, elektriske installasjoner, lysarmatur, vifter og drenerør
Ferge	Produksjon og prosessering av annet enn stålkonstruksjoner	Vedlikehold utover påføring av nytt bunnstoff

2.7 Modell for systemene

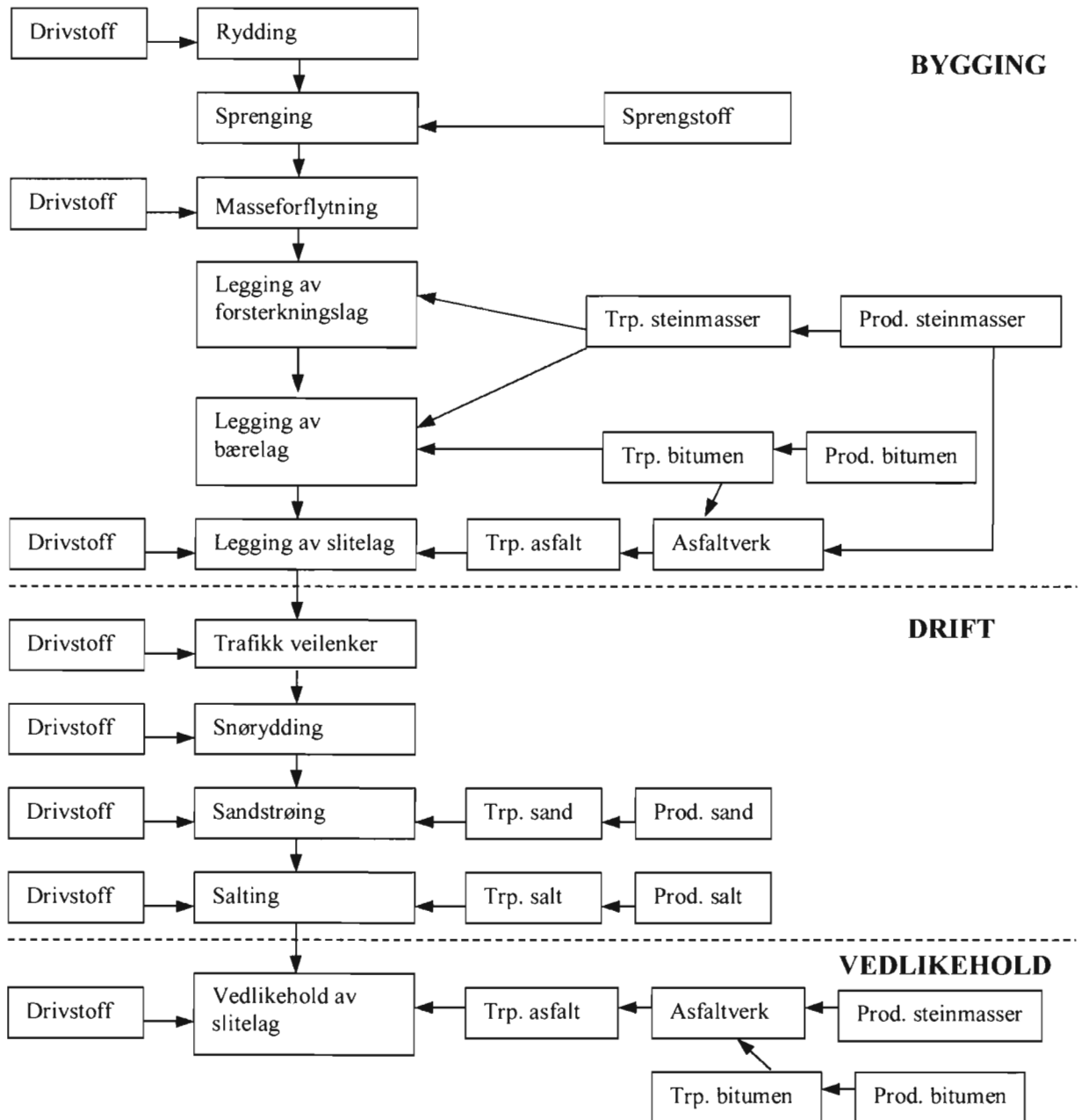
Oppbyggingen av modellen for bygging, drift og vedlikehold av veilenker, kaianlegg, bro, tunnel og ferge fremgår av de prosessenheter som skal fylle modellen. Modellstrukturen for de fem systemenhetene fremgår av figurene 6 – 10.

Data legges inn pr. km veilenke, bro, tunnel og fergetur, og pr. m² kaianlegg. Dette gir mulighet for å variere størrelser på systemenhetene. Det er imidlertid viktig å merke seg at andre parametre ikke nødvendigvis er proporsjonale med transportlengden. F.eks. vil en lengre fergetur kunne kreve flere ferger enn en. Dermed vil det være et sprang i miljøbelastningene som modellen ikke vil fange opp.

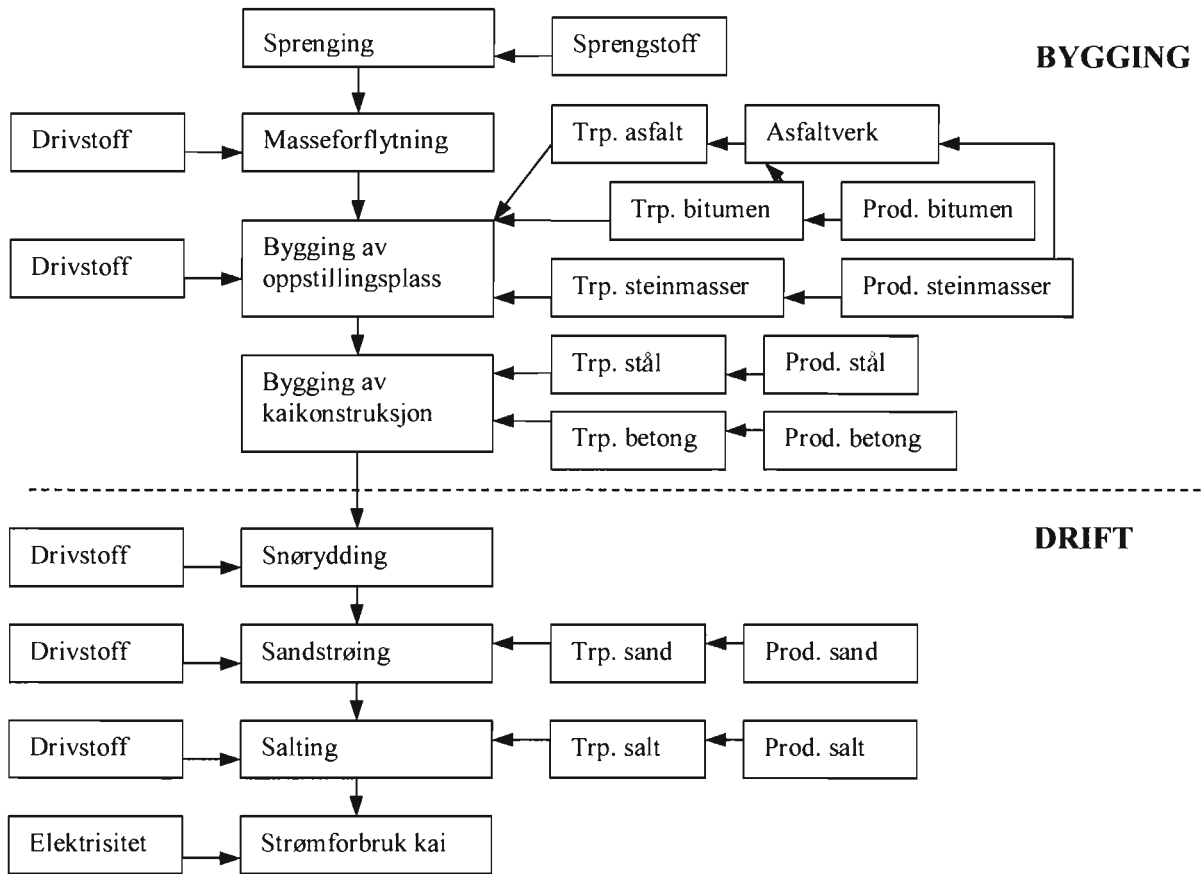
De fire alternative systemene bro, tunnel, ferge og kjøring rundt settes sammen av livsløpet til følgende enheter:

- Bro: Veilenke-bro-veilenke
- Tunnel: Tunnel
- Ferge: Veilenke-kai-ferge-kai-veilenke
- Kjøring rundt: Veilenke

TEKNISK RAPPORT

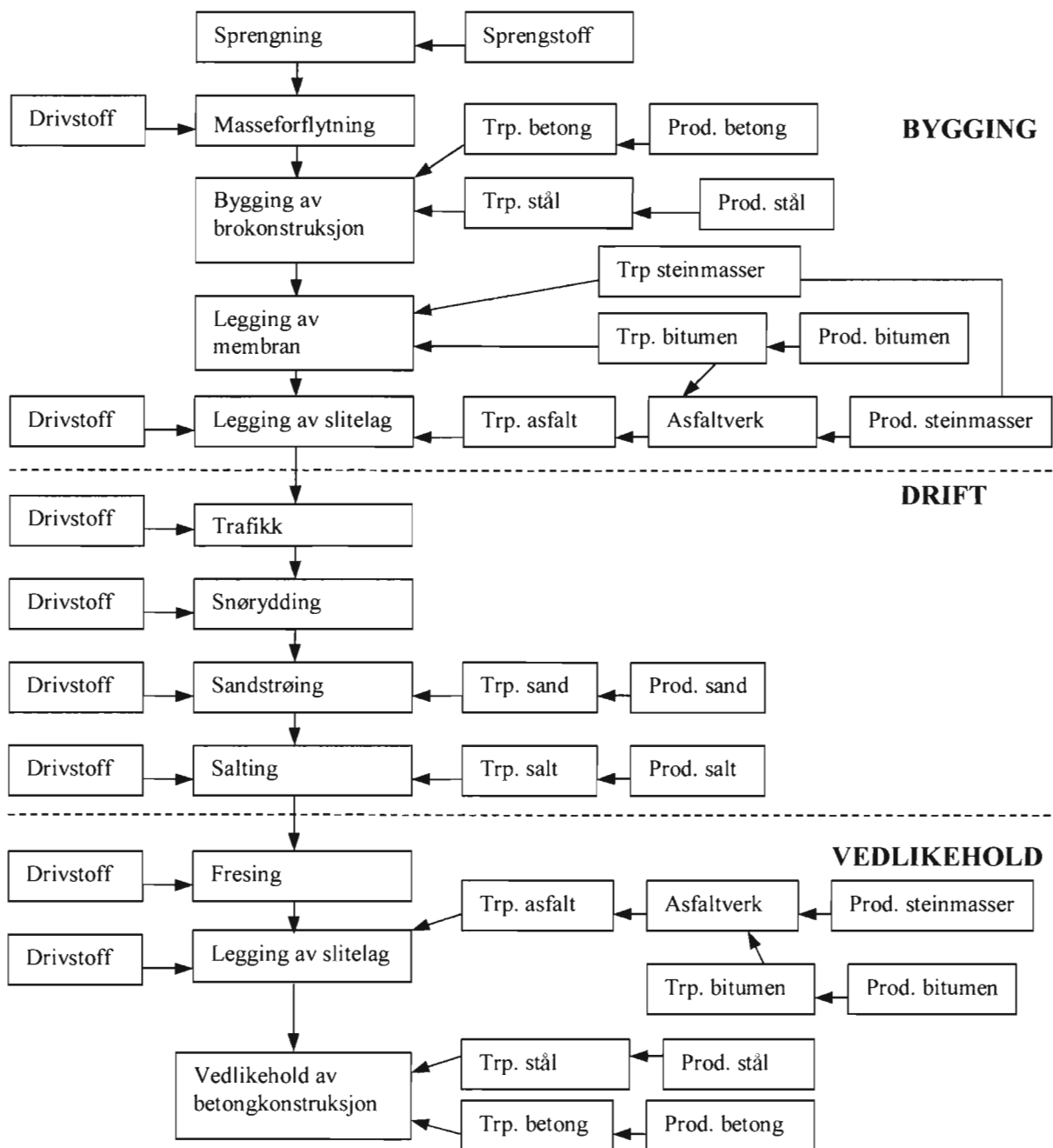


Figur 6 Modellstruktur for livsløpet til veilenker



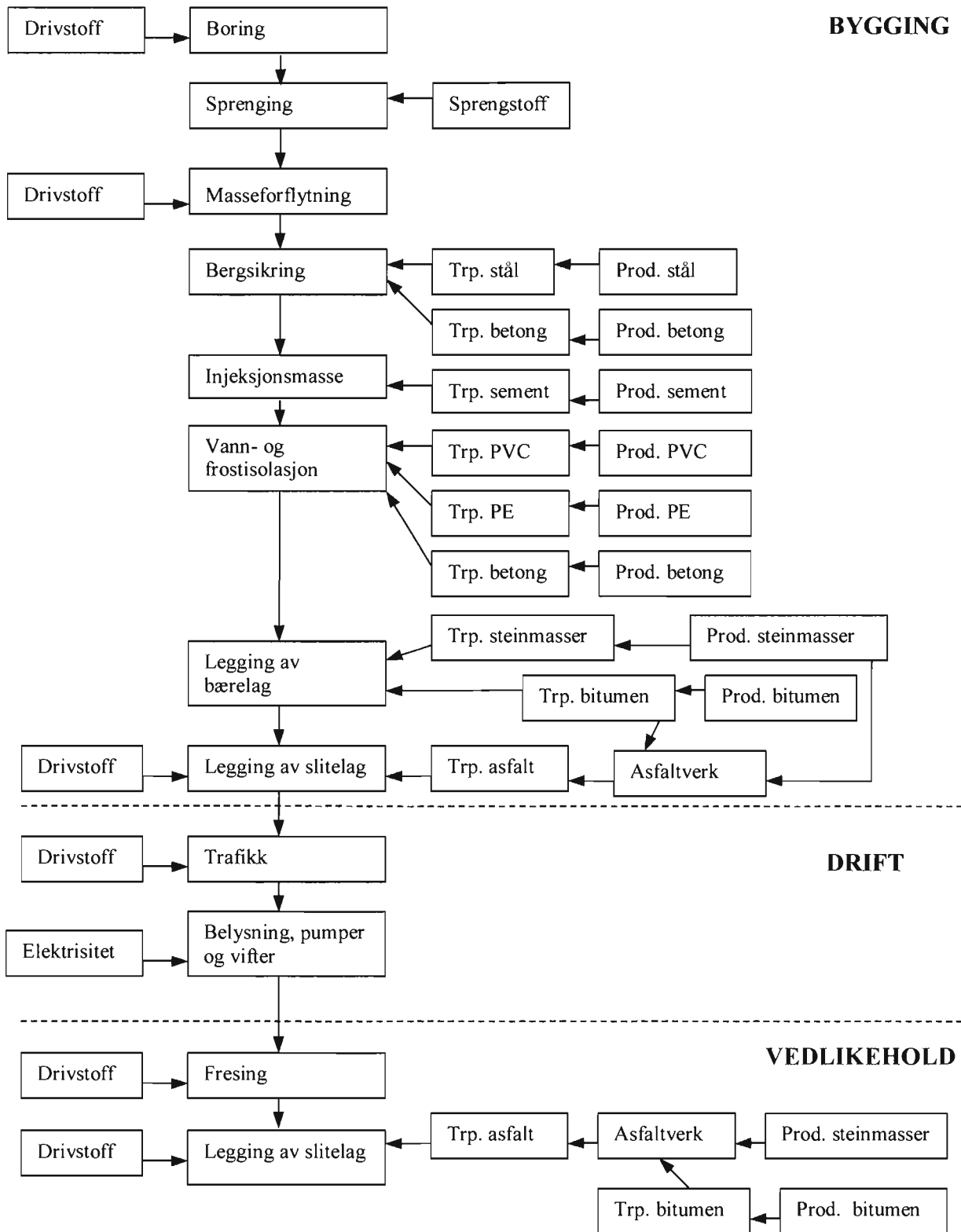
Figur 7 Modellstruktur for livsløpet til kaianlegg

TEKNISK RAPPORT



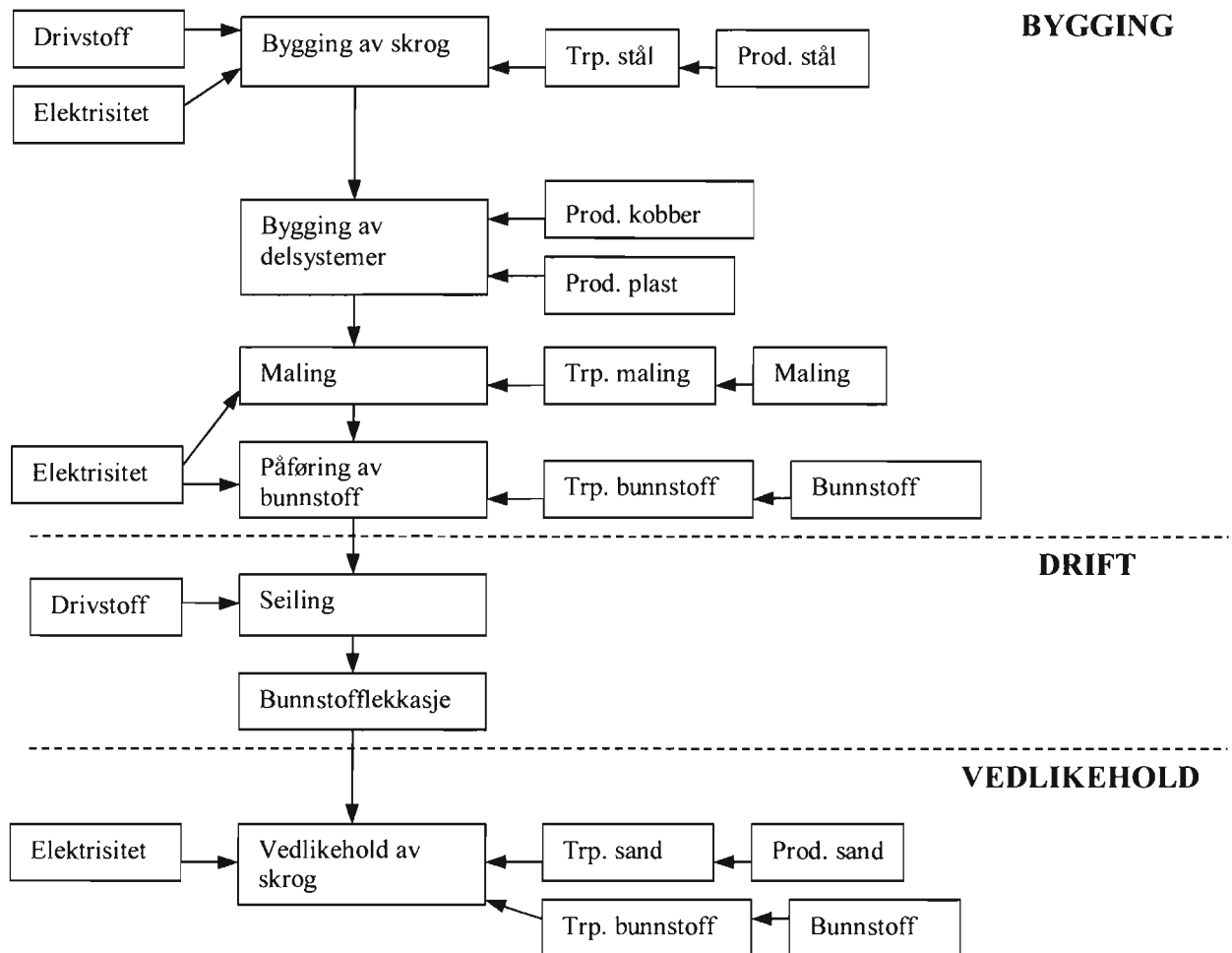
Figur 8 Modellstruktur for livsløpet til bro

TEKNISK RAPPORT



Figur 9 Modellstruktur for livsløpet til tunnel

TEKNISK RAPPORT



Figur 10 Modellstruktur for livsløpet til ferge

3 DATAINNSAMLING

3.1 Generelt om datainnsamlingen

Kartleggingen er utført i forhold til de enhetsprosesser som er gitt i figurene 6-10. Enhetsprosesser med samme navn har samme data, selv om de tilhører ulike systemer.

Alle transportprosesser (prosessenheter som starter med Trp.) er representert ved transport med trailer eller båt. Disse er angitt i kartleggingen som hhv. trailertransport og båttransport. Beskrivelsen av hvilket transportmiddel som er benyttet og transportavstander ved de ulike transportprosessene er gitt foregående prosessenhet.

Dataene er i hovedsak samlet inn fra representanter for Statens vegvesen, DNVs LCA database og relevant litteratur.

For innsamling av miljøbelastningsdata er det valgt å fokusere på miljøaspektene forbruk av elektrisitet, forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂, NO_x, SO_x, CO, C_xH_y og partikler. Andre miljøaspekter er også oppgitt der data har vært lett tilgjengelig.

C_xH_y inkluderer utslipp angitt som flyktige hydrokarbonforbindelser (VOC), ikke-metan flyktige hydrokarbonforbindelser (nmVOC) og metan (CH₄). Partikler inkluderer partikkelutslipp av type PM₁₀ og utslipp angitt som partikler og støv.

3.2 Kartlegging av utslipp, energi- og ressursforbruk

3.2.1 Lastebiltransport

Dataene for lastebiltransport blir anvendt på de lastebiltransportprosesser som ikke inngår i enhetsprosessen "trafikk" i driftsfasen til veilenker, tunnel og bro.

Type lastebil vil variere med hva, hvor mye og hvor ofte og hvor langt et produkt skal transporteres. Utslipp- og ressursforbruksdata er tilgjengelig for en rekke kapasiteter.

Vi har i denne studien valgt å benytte kun én representativ lastebil for alle prosessenheter med lastebiltransport. Dataene for miljøbelastninger er angitt i [g/km] og er basert på beregninger fra SFT for norsk gjennomsnittlig tungtransport (kjøretøyklasse N3), året 1997/19/.

Miljøbelastningene er knyttet til både forbrenning av drivstoff og slitasje på veidekket.

Som input til livsløpsanalysemodellene trengs miljøbelastningsdataene oppgitt pr.g /tonn·km. Dette betyr at dataene fra SFT må divideres med gjennomsnittlig masse transportert med kjøretøyklasse N3 i 1997. Denne massen antas å være 20 tonn.

I de tilfeller der det er oppgitt transport av volumer [m³], trengs en tetthet [tonn/m³] for de transporterte mengdene, slik at det er mulig å regne om til masser [tonn].

Følgende data er relatert til transport av 1 tonn·km.

TEKNISK RAPPORT

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	42,5	Drivstoff	0,0135
CH ₄	0,002		
N ₂ O	0,0005		
SO ₂	0,016		
NO _x	0,442		
VOC	0,05		
CO	0,192		
Pb	0,0015		
PM ₁₀	0,108		
PM _{2,5}	0,031		
PAH	0,0065		
Benzen	0,001		

3.2.2 Båttransport

På samme måte som for transport med lastebil, vil også type lasteskip variere mye og mange ulike sett med data er tilgjengelig. Det er her valgt ett representativt gjennomsnitts bulkskip. Data for utslipp pr. MJ drivstoff er hentet inn fra Lloyd's Register of Shipping /11/. Drivstoffforbruket er satt til 0,13 MJ/tonn·km /8/, og brennverdi for drivstoffet er satt til 40 MJ/kg.

Følgende data er relatert til transport av 1 tonn·km.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	10,7	Drivstoff	0,003
CO	0,03		
SO _x	0,071		
NO _x	0,283		
C _x H _y	0,0084		
Partikler	0,0043		

3.2.3 Rydding

Rydding antas kun å forekomme ved bygging av vei. Før utjevning av landskapet kan startes må eventuell skog ryddes unna. Det antas at denne aktiviteten utføres med en skogprosessor, som avvirker, kvister og sager opp. Tømmeret transporteres så ut av skogen og med traktor til opplag. Det antas at avvirkningen ikke hadde forekommet om ikke veien hadde blitt bygd. Hele miljøbelastningen allokeres dermed til det studerte systemet.

Det er oppgitt fra Statens vegvesen at 3900 m² ryddes pr. km vei. Det antas 200 m³ skog pr. hektar /8/. Dette gir 78 m³ skog.

TEKNISK RAPPORT

Dataene under gir utslipp og ressursforbruk pr. m³ avvirket skog /8/. Det er kun tatt hensyn til drivstofforbruk og relaterte forbrenningsutslipp.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	2900	Diesel	0,9
CO	3,13		
SO _x	1,39		
NO _x	26,2		
C _x H _y	1,88		
Partikler	1,05		

3.2.4 Boring

Boring forekommer kun ved tunnelbygging. Det er oppgitt fra Statens vegvesen at en borerigg har et strømforbruk på 400 000 kWh/km. Det er ikke tatt hensyn til andre miljøbelastninger ved boring.

3.2.5 Sprengning

Fra Statens vegvesen er det oppgitt et sprengstofforbruk på 2 kg/m³ bortsprengt tunnelmasse, og 1 kg/m³ bortsprengt masse i åpent terreng. Sistnevnte gjelder for sprengningsarbeider ved bygging av vei, bro og kai.

Sprengstoffet består av ammoniumnitrat (NH₄NO₃) og dieselolje. Det antas ingen utslipp under selve sprengningen. Etter sprengning etterlates det nitrogenrester på steinmassene. Disse vil renne av ved deponering av steinmassene eller, i tilfellet tunnel, delvis følge med tunnelvannet.

I en undersøkelse /12/ for avrenning av nitrogen fra tunneler ble det funnet at gjennomsnittlig mengde nitrogen var 24 g/tonn bortsprengt tunnelmasse. Dette tallet antas også å gjelde for andre bortsprengte masser ved bygging av vei, kai og bro. Antagelsen er ikke helt i tråd med at det forbrukes dobbelt så mye sprengstoff ved tunnelsprenging som ved annen sprenging, men tallet er det eneste som har vært tilgjengelig for studien.

Mengde bortsprengt steinmasse er:

- Bygging av tunnel: 83 000 m³/km Oppgitt fra Statens vegvesen
- Bygging av vei: 7000 m³/km Oppgitt fra Statens vegvesen
- Bygging av kai: 2,9 m³/m² Oppgitt fra Statens vegvesen
- Bygging av bro: 200 m³/km Oppgitt fra Statens vegvesen

3.2.6 Masseforflytting

Følgende data er benyttet for masser som forflyttes:

- Bygging av tunnel: 116 000 m³/km Det oppgis en masseutvidelseskoeffisient på 1,4 i forhold til teoretisk fast masse

TEKNISK RAPPORT

- Bygging av vei: 28 000 m³/km Oppgitt fra Statens vegvesen
- Bygging av kai: 5m³/m² Oppgitt fra Statens vegvesen
- Bygging av bro: 2100 m³/km Oppgitt fra Statens vegvesen

Massene som forflyttes vil variere fra fast fjell til løse masser som leire og sand. Massene vil derfor ha varierende tetthet. Det antas en høy andel fast fjell og gjennomsnittlig tetthet på alle massene lik 2000 kg/m³.

De forflyttede massene genererer ikke noe avfall da det antas at de enten benyttes i forsterkning-/bærelag i vei, eller at de selges som en ressurs. Massene får allikevel ikke noen kreditt (fratrekk) for eventuelt å erstatte produksjon og transport av andre masser. Dette er fordi det er usikkert i hvilken grad erstatningen forekommer.

Masseforflytningen foregår ved bruk av hjullastere som fyller på dumpere. Dumpere transporterer massen til veiområde med behov for masse, eller til plass for mellomlagring.

Det er oppgitt fra Statens vegvesen at man kan anta følgende transportlengder for masseforflytningen (til mellomlager eller vei under bygging):

- Bygging av tunnel: 2000 m
- Bygging av vei: 500 m
- Bygging av kai: 500 m
- Bygging av bro: 500 m

Miljøbelastningene angitt i tabellen under /8/ er knyttet til bruk av hjullaster av type Volvo BM L180. Tallene er oppgitt pr. m³ forflyttet masse.

Data for dumpere er antatt å være de samme som for lastebil, som angitt i kapittel 3.2.1.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	236	Diesel	0,083
SO ₂	0,08		
NO _x	2,36		
Partikler	0,095		
CO	0,283		
N ₂ O	0,0053		
C _x H _y	0,143		
CH ₄	0,00005		

3.2.7 Legging av forsterkningslag

Gjelder kun for veilenker. Forsterkningslaget er antatt å bestå av 100% pukk. Basert på oppgitte tall fra Statens vegvesen anslås et forbruk av pukk på 7250 tonn/km. Det er ikke relatert noen miljøbelastninger til utleggingen av forsterkningslaget.

TEKNISK RAPPORT

Det antas at pukken transporteres fra et nærliggende sted. Transportdistanse antas derfor å være 1 km. Det antas transport med lastebil med miljøbelastningsdata som angitt i kapittel 3.2.1.

Miljøbelastninger relatert til produksjon av pukke er gitt i Appendiks 1, under produksjon av steinmasser.

3.2.8 Legging av bærelag

Gjelder veilenker, tunnel og bro. Basert på oppgitte tall fra Statens vegvesen anslås et forbruk av bærelag på 2000 tonn/km. Bærelaget består av 1% bitumen (20 tonn/km) og 99% pukke (1980 tonn/km). Det er ikke relatert noen miljøbelastninger til utleggingen av bærelaget.

Det antas samme transport og produksjon av pukken her som for forsterkningslaget. Data for produksjon og transport av bitumen er angitt i Appendiks 1.

3.2.9 Legging av slitelag

For veilenker oppgis det fra studie utført for første gangs veilegging i Sør-Trøndelag /9/ et forbruk av slitelag på 125 kg/m². Det samme antas for tunnel og bro. Veilenkene har en asfaltert bredde på 8,5 m, broa har en asfaltert bredde på 10,5 m (2 m gang- og sykkelsti), tunnelen har en veibredde på 11 m (tre felt). Dette gir ved *bygging av ny vei*:

- Slitelag veilenker: 1062,5 tonn/km
- Slitelag bro: 1312,5 tonn/km
- Slitelag tunnel: 1375 tonn/km

For reasfaltering av veilenker, bro og tunnel settes forbruk av slitelag til 80 kg/m² (gitt av Statens vegvesen). Dette gir følgende forbruk av slitelag pr. *reasfaltering*:

- Slitelag veilenker: 680 tonn/km
- Slitelag bro: 840 tonn/km
- Slitelag tunnel: 880 tonn/km

Reasfaltering foretas hvert 9. år.

Slitasjelaget er asfalt bestående av 6% bitumen og 94% tilslag. Data for transport og produksjon av asfalt, bitumen og steinmasser er angitt i hhv. kapittel 3.2.10 og Appendiks 1.

Miljøbelastninger for legging av slitelag er relatert til asfaltutlegger og komprimering. Basert på studie utført for veibygging i Sør-Trøndelag /9/ er det benyttet et dieselforbruk på 7 MJ/tonn slitelag. Utslipp er basert på forbrenning av diesel. Miljøbelastningen for pr. tonn slitelag utlagt er angitt under.

TEKNISK RAPPORT

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	495	Diesel	0,16
CO	0,6		
SO _x	0,27		
NO _x	4,98		
C _x H _y	0,36		
Partikler	0,2		

3.2.10 Asfaltverk

Det antas varm asfaltproduksjon. Transportavstanden fra verket til utlegger er satt til 50 km.

Data for ressursforbruk er samlet inn fra norske studier /9/. Utslipp er beregnet basert på forbrenning av fyringsoljen. Miljøbelastninger pr. tonn asfalt er oppgitt i tabellen under.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	22500	Diesel	6,3
CO	3,71	Elektrisitet	3 kWh
SO _x	14,3		
NO _x	45,6		
Partikler	2,85		

3.2.11 Trafikk

Det er beregnet drivstofforbruk og utslipp fra veitrafikk knyttet til brosystemet, tunnelsystemet, fergesystemet (inkluderer ikke utslipp fra ferga) og systemet for kjøring rundt. Det vil være ulike data for de tre systemene på grunn av ulike helninger.

Miljøbelastningsdata er beregnet basert på data fra SFTs 1997 tall for utslipp fra norsk veitrafikk /19/ (side 155) med inngående data som angitt under:

- ÅDT=3000
- 10% tungtrafikk og resten privatbiler
- Tungtrafikk er antatt å være dieseldrevet og privatbiler bensindrevet
- Flat profil for veilenker relatert til brosystemet og kjøring rundt, helning på 2,6% for selve broa, helning på 7% for tunnelen, og helning på 1,6% for veilenker relatert til fergesystemet.
- Helning på delsystemene tas hensyn til ved å multiplisere resultatet for flat vei med en faktor. Denne justeringsfaktoren er basert på modeller benyttet i EFFEKT 5 /7/.

TEKNISK RAPPORT

	Drivstoff [tonn/km*år]	CO ₂ [tonn/km*år]	CO [kg/km*år]	NO _x [kg/km*år]	Partikler [kg/km*år]	VOC [kg/km*år]	SO _x [kg/km*år]
Bro-system	70	219	6882	1458	84	879	28
Tunnel-system	109	344	10566	2348	84	1382	45
Veilenker i ferge-system	70	221	7065	1454	84	889	28
Flat vei	67	209	6552	1395	84	839	28

3.2.12 Snørydding

Gjelder for veilenker, bro og oppstillingsplass på kai. Det er antatt bruk av lastebil som angitt i kapittel 3.2.1. Videre antas det 30% høyere drivstofforbruk ved snørydding sammenlignet med normal kjøring med 10 tonn last. Det antas en kjøring per kjørefelt og at veien ryddes 100 ganger/år. Dette gir en total kjørelengde pr. år på 200 km/km vei.

3.2.13 Sandstrøing

Gjelder for veilenker, bro og oppstillingsplass på kai. Det er antatt bruk av lastebil som angitt i kapittel 3.2.1 med 5 tonn last. Det antas en kjøring per kjørefelt og at veien sandes 10 ganger/år. Dette gir en total kjørelengde pr. år på 20 km/km vei.

Sandforbruket per sandingsrunde er anslått til 0,12 kg/m² og det antas at det strøs i en bredde på 2,5 m i hver kjøreretning. Dette gir et sandforbruk på 6000 kg/km*år. Data for produksjon av sand er angitt i Appendiks 1, under steinmasser.

3.2.14 Salting

Gjelder for veilenker, bro og oppstillingsplass på kai. Det er antatt bruk av lastebil som angitt i kapittel 3.2.1 med 5 tonn last. Det antas en kjøring per kjørefelt og at veien saltes 10 ganger/år. Dette gir en total kjørelengde pr. år på 20km/km vei.

Saltforbruket per saltingsrunde er anslått til 0,01kg/m² og det antas at det saltes i en bredde på 4 m i hver kjøreretning. Dette gir et saltforbruk på 400 kg/km*år. Data for produksjon av salt er angitt i Appendiks 1.

3.2.15 Fresing

For veilenker legges nytt slitasjelag rett oppå gammelt uten fresing av gammelt dekke.

For bro og tunnel freses gammelt slitasjelag før nytt legges. Det antas at 75% av det lagte slitelaget ved ny vei freses bort per freserunde. Den bortfreste massen antas å bli benyttet som tilslag i annen produksjon, og er dermed ikke beheftet med miljøbelastninger. Data for selve freseprosessen er ikke prioritert samlet inn pga. antagelse om liten viktighet i den totale

TEKNISK RAPPORT

sammenhengen. Dieselforbruket er oppgitt per tonn lagt asfalt /9/. Utslipp er beregnet basert på forbrenning av dieselen.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	292	Diesel	0,09
CO	0,34		
SO _x	0,15		
NO _x	2,8		
C _x H _y	0,20		
Partikler	0,11		

3.2.16 Bygging av oppstillingsplass

Det antas at bygging av oppstillingsplass tilsvarer de samme ressursforbrukene, utslippene og avfallsstrømmene som bygging av 200 m veilenke.

3.2.17 Bygging av kaikonstruksjon

Miljøbelastningsdata for selve byggeprosessen er ikke prioritert samlet inn under antagelse om liten viktighet i den totale sammenhengen. Det er imidlertid, fra Statens vegvesen, oppgitt materialforbruk for bygging av en 350 m² kai. Dette er regnet om til pr m² kai. Betong, stålarming og stålpæler dominerer materialforbruket fullstendig. Følgende forbruksdata er oppgitt:

- Betong: 2286 kg/m²
- Armering: 170 kg/m²
- Stålpæler: 100 kg/m²

3.2.18 Strømforbruk kai

Det går med strøm til belysning av kaia, hydraulikk og oppvarming og belysning av varmestue. Totalt sett antas det et effektforbruk på 500 W til belysning, 1000W til hydraulikk og 3000 W til oppvarming. Belysningen antas å være i bruk 50% av året. Hydraulikken antas å være i bruk i 30 sekunder ved hver ankomst og avgang. Oppvarmingen antas å være i bruk 50% av året. Totalt gir dette er strømforbruk på 45 kWh/m²*år.

3.2.19 Bygging av brokonstruksjon

Miljøbelastningsdata for selve byggeprosessen er ikke prioritert samlet inn under antagelse om liten viktighet i den totale sammenhengen. Det er imidlertid oppgitt materialforbruk for en fiktiv betongbro på 1200 m fra Statens vegvesen. Dette materialforbruket er som følger regnet om til pr. km bro:

TEKNISK RAPPORT

Komponent	Mengde	Kommentar
Betong	40800 tonn	Regnet med tetthet=2,5 tonn/m ³ . Produksjonsdata for betong er gitt i Appendiks 1.
Armering	3363 tonn	Produksjonsdata for armering er gitt i Appendiks 1, under stål.
Spennarmering	863 tonn	“
Stålrørpæler	103 tonn	“
Rekkverk	133 tonn	“
Forskaling	15600 m ²	Ikke inkludert grunnet stor grad av gjenbruk, relativt sett liten masse og lite krevende produksjonsprosess.

3.2.20 Legging av membran

Membranen, som legges som bindemiddel mellom brokonstruksjon og slitelag, består av en polymermodifisert bitumen (PmB) kalt Topeka (Top) blandet med finsand og steinmel. PmB utgjør 15% av vekten til membranen. Membranen legges over samme areal som slitelaget og det oppgis et membranforbruk på 20-33 kg/m². Det velges her 20 kg/m². Benyttede data for produksjon av PmB er gitt under bitumen i appendiks 1. Benyttede data for produksjon av finsand og steinmel er gitt under steinmasser i appendiks 1.

3.2.21 Vedlikehold av brokonstruksjon

Det er ikke samlet inn data for selve vedlikeholdsprosessen da det antas at denne er av liten betydning i den totale sammenhengen. Det er oppgitt materialforbruk fra Statens vegvesen for en 300 m lang bro. Dette materialforbruket er regnet om til pr. km bro over broas levetid.

Komponent	Mengde	Kommentar
Rekkverk	133 tonn	Rekkverket byttes en gang løpet av broas levetid. Det er ikke tatt hensyn til evt. pussing og maling. Data er lik de angitt for rekkverk i kapittel 3.2.19.
Betong	132 tonn	Reparasjon av overflate. Data er lik de angitt for rekkverk i kapittel 3.2.19.
Impregnering	30 000 m ²	3333m ² 9 ganger i løpet av levetiden. Produksjon av impregnering er ikke inkludert i systemmodellen.
Maling til førekant	13333 m ²	3333 m ² 4 ganger i løpet av levetiden. Produksjon av maling er ikke inkludert i systemmodellen.

3.2.22 Bergsikring

Bergsikringen består av å bolte fast fjell, samt påføring av sprøytebetong.

Det er ikke samlet inn data for selve boltingsprosessen eller påføringen av sprøytebetongen da det antas at disse er av liten betydning i den totale sammenhengen. Det oppgis fra Statens vegvesen et forbruk på 60 tonn bolter pr. km tunnel. Det antas stålbolter. Produksjon av stålbolter er angitt i Appendiks 1, under produksjon av stål.

Det oppgis fra Statens vegvesen at basert på gjennomsnittstall for en 3500 m lang undersjøisk tunnel forbrukes det 3500 m³ sprøytebetong. Det antas en tetthet på 2000 kg/m³. Pr. km tunnel

TEKNISK RAPPORT

gir dette et forbruk på 2000 tonn. Data for produksjon av sprøytebetong settes lik produksjon av betong, som angitt i Appendiks 1.

3.2.23 Injeksjonsmasse

Det er ikke samlet inn data selve injeseringsprosessen da det antas at denne er av liten betydning i den totale sammenhengen. Det oppgis fra Statens vegvesen at basert på gjennomsnittstall for en 3500 m lang undersjøisk tunnel forbrukes det 50 m³ injeksjonsmasse. Antar en tetthet på 2000 kg/m³. Pr. km tunnel gir dette et forbruk på 30 tonn injeksjonsmasse. Det oppgis også at injeksjonsmassen består av sementmørtel. Data for produksjon av sementmørtel settes lik produksjon av sement, som angitt i appendiks 1.

3.2.24 Vann- og frostisolasjon

Det er ikke samlet inn data selve oppsettingen av isolasjon da det antas at denne prosessen er av liten betydning i den totale sammenhengen. Det oppgis fra Statens vegvesen at isolasjonen består av PE-skummatter dekket med sprøytebetong og en PVC tunnelduk. Det oppgis videre at PE-skummattene og sprøytebetong brukes på 40-50% av tunnelens lengde. Vi benytter her 40%. Tunnelduken benyttes på de resterende 60%.

PE-skummattene er 5 cm tykke og dekker vegg- og takarealene i tunnelen. Dette betyr at det medgår av PE-skummatter omtrent 350 m³/km, gitt tildekket overflateareal. Det antas en tetthet på 50 kg/m³. Dette gir et forbruk på 17,5 tonn/km.

Sprøytebetongen er 6 cm tykk og dekker de samme arealene som PE-skummattene. Dette betyr at det går med omtrent 400 m³/km. Det antas en tetthet på 1500 kg/m³. Dette gir et forbruk på 600 tonn.

Tunnelduken er 0,1 cm tykk og dekker vegg- og takarealene i tunnelen. Dette betyr at det medgår av tunnelduk omtrent 10 m³/km, gitt tildekket overflateareal. Med en tetthet på PVC lik 1000 kg/m³, forbrukes det 10 tonn tunnelduk.

3.2.25 Belysning, pumper og vifter i tunnel

Det oppgis fra Statens vegvesen et elektrisitetsforbruk lik 330 000 kWh/km*år.

3.2.26 Bygging av skrog

Vekten på en gjennomsnittsferge avhenger av dens kapasitet. I kapittel 3.2.30 argumenteres det for en ferge med kapasitet på 148 personbilkvivalenter. Nyere ferger, bygget etter 1989, med en slik kapasitet vil ifølge Fergekontorets fergedatabase (Skjema 180) ha en vekt rundt 1500 tonn. Basert på tall for store Ro-Ro ferger /15/, antas det at 65% av fergas vekt kan relateres til skroget. Skroget består av stål. Dette gir et stålforbruk på 975 tonn.

Selve byggeprosessen består i hovedsak i kapping av ståldeler, bruk av løfteutstyr, sveising, sliping, oppretting av buler og sandblåsing før maling. Det er ikke samlet inn data for bruk av

TEKNISK RAPPORT

løfteutstyr, sliping og oppretting av buler (vha. varme). Følgende data er brukt for kapping, sveising og sandblåsing /15/:

- Kapping: 0,03 m²/tonn stålskrog ⇒ 29 m²
- Sveising: 91 m/tonn stålskrog ⇒ 88275 m
- Sandblåsing: 3 m²/tonn stålskrog ⇒ 2925 m²

Miljøbelastninger	Kapping	Sveising	Sandblåsing
Forbruk av elektrisitet	8,5 MJ/m ²	15,1 MJ/m	
Forbruk av diesel			0,023 kg/m ²
Forbruk av sand			10 kg/m ²
Utslipp av partikler			23,2 g/m ²
Avfall			10 kg/m ²

3.2.27 Bygging av delsystemer

Fergas delsystemer består av maskineri, interiør og elektrisk utstyr. Det vil være en altfor komplisert prosess å studere bygging og materialsammensetning av alle disse komponentene. Det er derfor kun gjort et grovt anslag over hvilke materialer som inngår i fergas delsystemer, når vi ser bort fra skroget. De viktigste materialene er:

- Stål: 65% ⇒ 340 tonn
- Plast: 10% ⇒ 53 tonn
- Kobber: 5% ⇒ 27 tonn

3.2.28 Påføring av bunnstoff

Fuktig overflate på båten påføres bunnstoff. Bunnstoffarealet på en representativ båt er oppgitt til å være 1600 m².

Basert på data fra andre båter antas det følgende forbruk /15/:

- Antifouling: 0,58 l/m²
- Primer: 0,12 l/m²
- White spirit: 0,04 l/m²

Det er ikke tilgjengelig data for produksjon av bunnstoff, primer og white spirit. Det oppgis videre miljøbelastninger pr. m² malt overflate som angitt i tabellen under. /15/.

Det er antatt bruk av bunnstoff med tributyltin (TBT) som aktivt giftstoff. Det bemerkes at IMO har innført forbud mot TBT-holdige bunnstoff fra 2003, med en overgang på 5 år fram til 2008. Det er grunn til å tro at norske ferger vil ligge foran denne utviklingen. For en moderne ferge er det derfor en konservativ antagelse å relatere utslipp av TBT til påføring av bunnstoff. Det er ikke kjent hvilke miljøbelastninger påføring av nye typer bunnstoff vil gi.

TEKNISK RAPPORT

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
VOC	336	TBT	22	Elektrisitet	12 kWh
		Spesialavfall	10		

3.2.29 Maling

Alle tørre overflater på båten males. Malt areal settes likt det sandblåste arealet (2925 m²) minus fuktig areal (1600 m²), dvs. 1325 m².

Basert på data fra andre båter antas det et malingsforbruk på 0,57 l/m², inkludert løsningsmiddel. Det oppgis videre miljøbelastninger pr. m² malt overflate som angitt i tabellen under. /15/.

Det er ikke tilgjengelig data for produksjon av maling og white spirit.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
VOC	240	Spesialavfall	59	Elektrisitet	12 kWh
		Avfall	22		

3.2.30 Seiling

Miljøbelastninger fra seiling knyttes til forbrenning av drivstoff.

Seileavstanden er 1 km. På grunn av den korte avstanden antas det at kun en ferge betjener krysningen. En ferge kan ha avgang 3-4 ganger pr. time. Det antas videre at ferga går kontinuerlig 19 timer i døgnet, året rundt. I følge Statens vegvesen har norske bilferger i Møre og Romsdal en gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse på 36%. Dette tallet benyttes her.

Ved 3 avganger per time, den gitte ÅDT og den gitte kapasitetsutnyttelsen er det behov for en ferge med en kapasitet på 148 personbilkvivalenter

Ved 4 avganger per time, den gitte ÅDT og den gitte kapasitetsutnyttelsen er det behov for en ferge med en kapasitet på 111 personbilkvivalenter.

Det antas i utgangspunktet bruk av ferge som tar 148 personbilkvivalenter (PBE).

Under følger en oversikt over drivstofforbruket til moderne norske bilferger (bygd etter 1989), med en kapasitet på 140-155 personbilkvivalenter. Dataene er dels hentet fra Rederienes Landsforening /17/ og dels tilsendt fra Vegdirektoratet/Fergekontoret.

TEKNISK RAPPORT

Ferge	PBE	Byggeår	Drivstofforbruk [l/utseilt km]	
			1996	1995
Masfjord	140	1989	22	22
Rennesøy	155	1990	24,4	31,9
Fosen	140	1989	20,6	27,5
Trondheim	155	1992	28,1	19,9
Tresfjord	150	1990	20,0	20,8
Stavanger	140	1990	25,9	21,3

Tallene over gir et gjennomsnittlig drivstofforbruk på 23,7 l/utseilt km. Dette tallet benyttes i beregningene. Diesel benyttes som drivstoff. Tettheten på dieselen er satt til 850 kg/m³. Dette gir et drivstofforbruk på 20,1 kg/km.

Følgende utslipp er samlet inn og benyttet pr. kg forbrent diesel:

Utslipp	Verdi [g]	Kommentar
CO ₂	3170	Benyttet for diesel av de fleste organisasjoner (SSB, SFT etc.)
NO _x	50	Benyttet av SSB med bakgrunn i anbefalinger fra Marintek /20/.
SO _x	2,2	20•prosentandel svovel i drivstoffet. Marin gassolje i Norge har et gjennomsnittlig svovelinnhold på 0,11%. Dette er tall benyttet av SSB basert på anbefalinger fra Norsk Petroleumsinstitutt /20/. I henhold til ISO spesifikasjoner tillates det maksimalt et svovelinnhold på 1,5%. Dette betyr at man maksimalt kan risikere en utslippsfaktor på 30 så lenge marin gassolje benyttes som drivstoff.
Partikler	0,5	Benyttet av SSB med bakgrunn i anbefalinger fra Marintek /20/.
CO	3,0	Benyttet av SSB med bakgrunn i anbefalinger fra Marintek /20/.
C _x H _y	3,0	Benyttet av SSB med bakgrunn i anbefalinger fra Marintek /20/.

3.2.31 Bunnstofflekkasje

Under seiling vil det aktive stoffet som skal forhindre begroing gradvis lekke ut i vannet. Det vanligste stoffet har til nå vært TBT. TBT-holdige bunnstoff vil imidlertid fases ut med tiden, men effektene av nye stoffer er ikke kjent. Det derfor allikevel besluttet å beregne bunnstofflekkasje basert på TBT-holdig bunnstoff.

Erfaringstall tilsier en lekkasjerate pr. år på 83 g/m² fuktig overflate /15/.

3.2.32 Vedlikehold av skrog

Vedlikehold av bunnside foretas ved dokking. Dokking skjer hvert 4. år. Prosessene som inngår er rengjøring ved vannjet, sandblåsing og påføring av nytt bunnstoff. Data for sandblåsing og påføring av nytt bunnstoff er som angitt i hhv. kapittel 3.2.26 og 3.2.28.

Vannjet benyttes på hele den fuktete overflaten (1600 m²). Følgende miljøbelastningsdata er relatert til bruk av vannjet pr m². /15/.

TEKNISK RAPPORT

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
		TBT	0,026	Diesel	0,023 kg

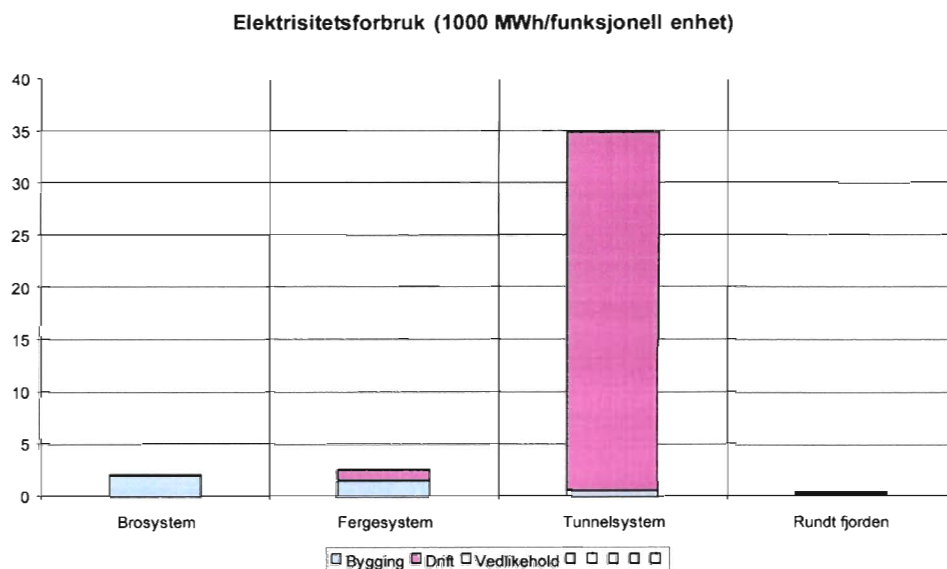
4 KARTLEGGINGSRESULTATER FOR REFERANSESYSTEMENE

I dette kapitlet vil beregningsresultater relatert til referansesystemene beskrevet i kapittel 2 og 3 presenteres. Det vil bli fokusert på forbruk av elektrisitet, fossil energi og utslipp av CO₂, NO_x, SO_x, CO, C_xH_y og partikler. Resultatene som presenteres vil være basert på kartleggingstabellene for hvert enkelt system, presentert i appendiks 2.

4.1 Forbruk av elektrisitet

I figuren under illustreres det totale elektrisitetsforbruket for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold.

Det presiseres at det utelukkende er antatt bruk av vannkraftbasert elektrisitet. Elektrisitetsforbruket vil dermed ikke være beheftet med utslipp til luft eller forbruk av fossil energi i produksjonsfasen.



Man ser av figuren at tunnelsystemet har det klart største elektrisitetsforbruket (35 GWh/funksjonell enhet) og at driftsfasen totalt dominerer bidraget til dette forbruket (98%). Forbruket i driftsfasen skyldes belysning og drift av vifter og pumper i tunnelen.

Brosystemet og fergesystemet har omtrent det samme forbruket med hhv. 2,0 og 2,5 GWh/funksjonell enhet. For disse to systemene er det byggefasen som bidrar til forbruket i sterkst grad (hhv. 100% og 72%). At driftsfasen ikke bidrar er et resultat av et veistrekningene ikke er belyst. Det lille bidraget fra driftsfasen til fergesystemet skyldes belysning på fergekaia.

Dersom veilenker og bro hadde vært belyst, ville det totale forbruket av elektrisitet for brosystemet blitt i størrelsesorden 30% av tunnelsystemet og for fergesystemet i størrelsesorden 20% av tunnelsystemet. Disse tallene er basert på antagelse om at belysningen utgjør 30% av

TEKNISK RAPPORT

elektrisitetsforbruket i tunnelen og at belysningen for bro og veilenker er tilsvarende som for tunnel.

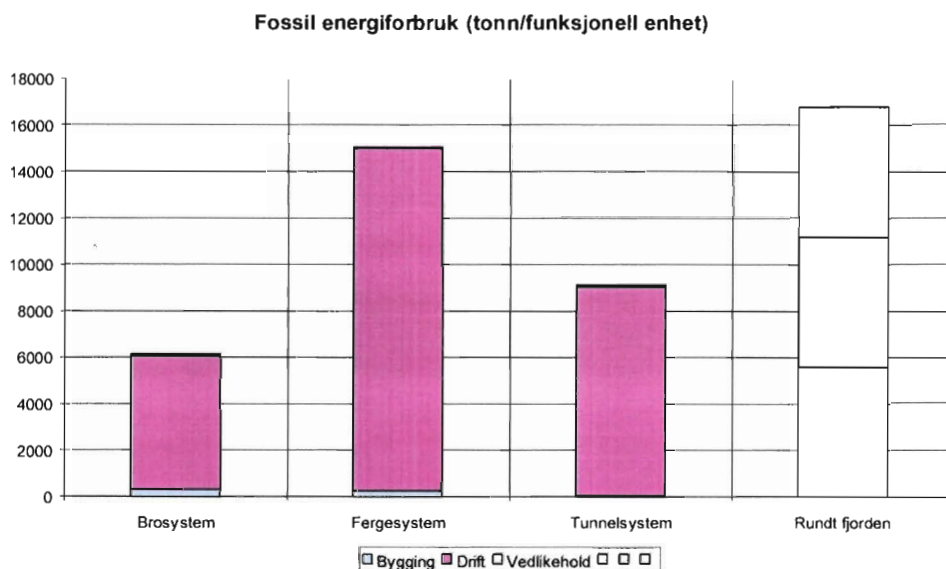
Bidraget fra å kjøre rundt fjorden er helt neglisjerbart. Ved belysning av veien rundt og de samme antagelsene som i avsnittet over, er det nødvendig at veien rundt er 4 ganger lenger enn den rette linjen mellom A og B dersom bidraget fra veien rundt skal bli større enn for fergesystemet.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.2 Forbruk av fossil energi

I figuren under illustreres det totale forbruket av fossil energi for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylene for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.

Det presiseres at det ikke er noe forbruk av fossil energi knyttet til elektrisitetsforbruket.



Man ser av figuren at fergesystemet har det klart største forbruket av fossil energi (15000 tonn/funksjonell enhet) og at driftsfasen totalt dominerer bidraget til dette forbruket (99%). Ferga forbruker mer drivstoff ved å transportere kjøretøyer enn det alle kjøretøyene ville brukt til sammen om de kjørte den samme distansen. Dette gjelder om man regner med flat vei, eller en vei med stigning tilsvarende den som gjelder i tunnelen. Dette forklarer hvorfor fergesystemet har det største forbruket.

Tunnelsystemet har det nest største forbruket av fossil energi med 9130 tonn/funksjonell enhet. Også for dette systemet dominerer bidraget fra driftsfasen fullstendig (99%).

Brosystemet har det laveste forbruket av fossil energi med 6140 tonn/funksjonell enhet. Bidraget fra driftsfasen dominerer også her, men i noe mindre grad enn for de to andre systemene (94%).

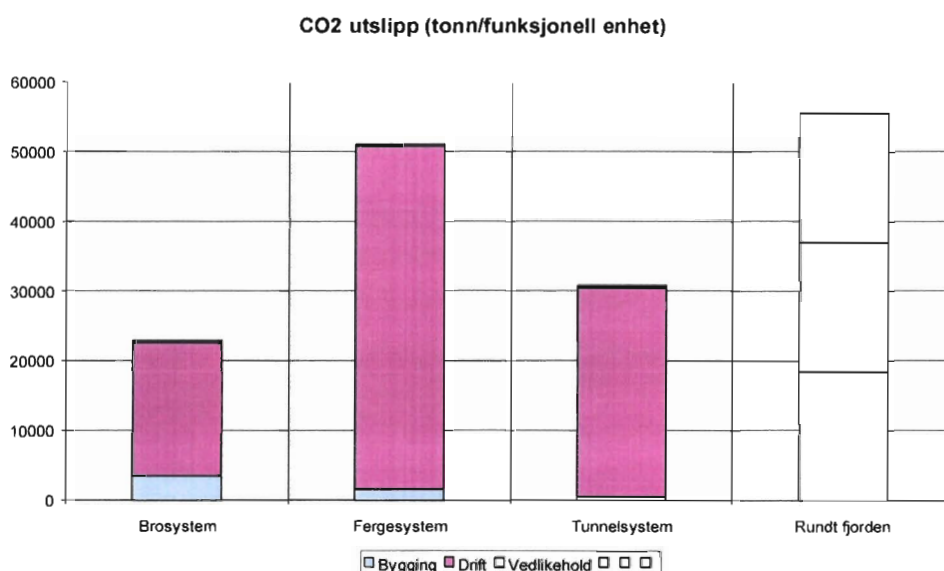
Hovedårsaken til at tunnelsystemet har høyere forbruk av fossil energi enn brosystemet er stigningen i tunnelen ($\pm 7\%$) kontra stigningen på broa ($\pm 2,6\%$), samt at stigningen på broa går over en kortere lengde.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 3 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for fergesystemet. For de to andre systemene er det kun nødvendig med 2 ganger strekningen A-B.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.3 Utslipp av CO₂

I figuren under illustreres det totale utslippet av CO₂ for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



Utslippsfaktoren for CO₂ sett i forhold til drivstofforbruk er tilnærmet konstant (3,13 for bensin og 3,17 for diesel og fyringsoljer). Det forventes derfor at resultatene for CO₂ skal være tilnærmet tilsvarende resultatene for forbruk av fossil energi. Av figuren over ser vi også at dette er tilfelle. Fergesystemet kommer dårligst ut (51000 tonn/funksjonell enhet), tunnelsystemet nest dårligst (30800 tonn/ funksjonell enhet), og brosystemet kommer best ut (22900 tonn/funksjonell enhet). Den eneste forskjellen er at driftsfasen for brosystemet ikke dominerer det totale bidraget i samme grad (84%), også byggefasen bidrar i signifikant grad (15%).

Årsaken til bidraget fra byggefasen til brosystemet er produksjon og transport av de store mengdene betong og armeringsstål som forbrukes i byggefasen. Produksjon av betong bidrar med 51% av miljøbelastningen, produksjon av stål bidrar med 46% og transport av betong og stål utgjør de resterende 3%.

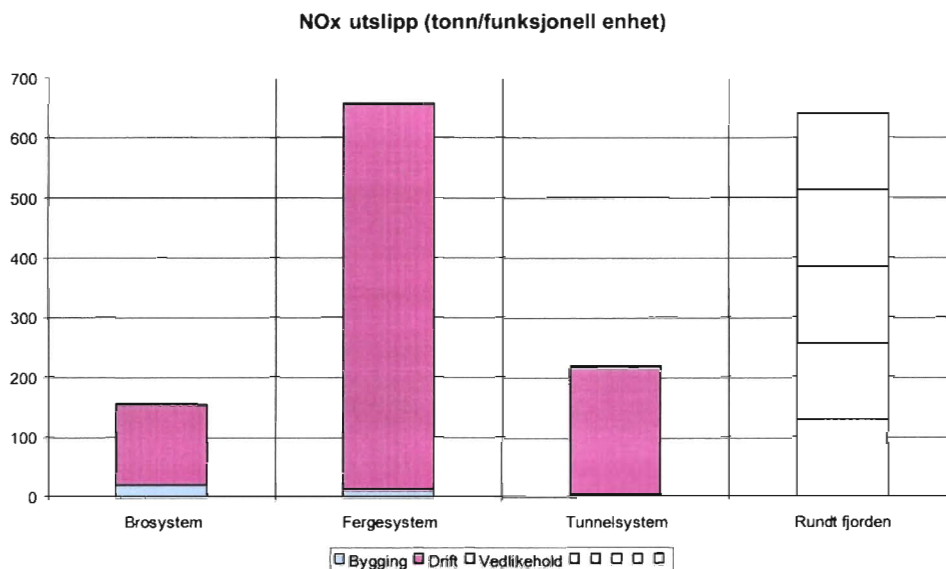
For produksjon av betong er det bidraget fra sementproduksjonen, som utgjør 16% av vekten til betongen, som er den viktigste bidragsyteren. Under produksjon av sement slippes CO₂ ut både som et resultat av energiproduksjon og som prosessutslipp. Det er disse prosessutslippene som utgjør det ekstra bidraget i byggefasen for CO₂ utslipp.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 3 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for fergesystemet. For de to andre systemene er kun nødvendig med 2 ganger strekningen A-B.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.4 Utslipp av NO_x

I figuren under illustreres det totale utslippet av NO_x for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



Fergesystemet kommer dårligst ut (657 tonn/funksjonell enhet), tunnelsystemet nest dårligst (217 tonn/funksjonell enhet), og brosystemet kommer best ut (155 tonn/funksjonell enhet). Sammenlignet med de foregående miljøbelastningene (forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂) kommer fergesystemets utslipp av NO_x relativt sett dårligere ut. Fergesystemet har over 4 ganger større utslipp av NO_x enn brosystemet og 3 ganger større enn tunnelsystemet.

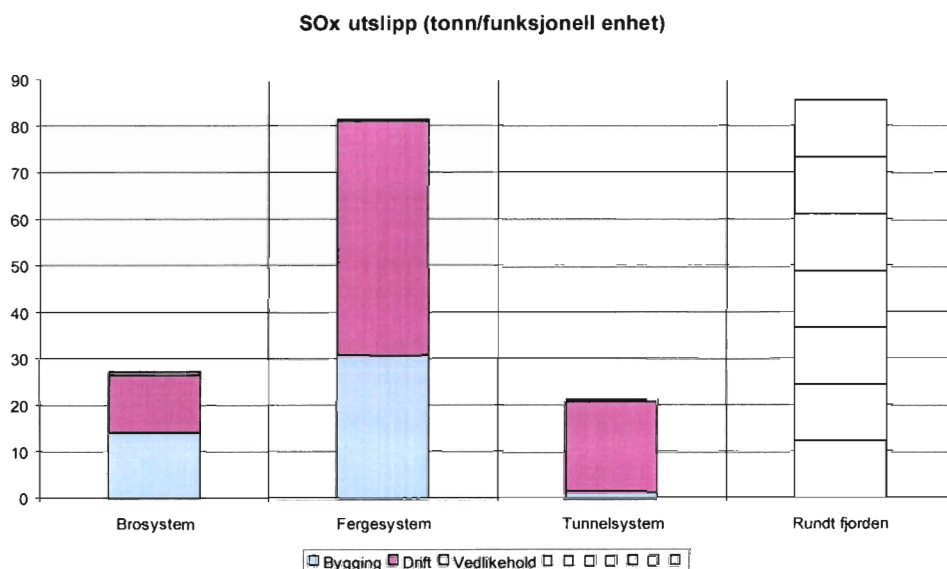
Årsaken til den relativt store forskjellen i utslipp er drivstofforbruket og utslippsfaktoren for NO_x, der sistnevnte utgjør økningen i den relative forskjellen sett i forhold til utslipp av CO₂. Marint maskineri har som oftest mye høyere utslippsfaktorer for NO_x (g/kg drivstoff) enn motorer i veibaserte kjøretøy.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 5 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for fergesystemet. For de to andre systemene er det kun nødvendig med 2 ganger strekningen A-B.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.5 Utslipp av SO_x

I figuren under illustreres det totale utslippet av SO_x for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



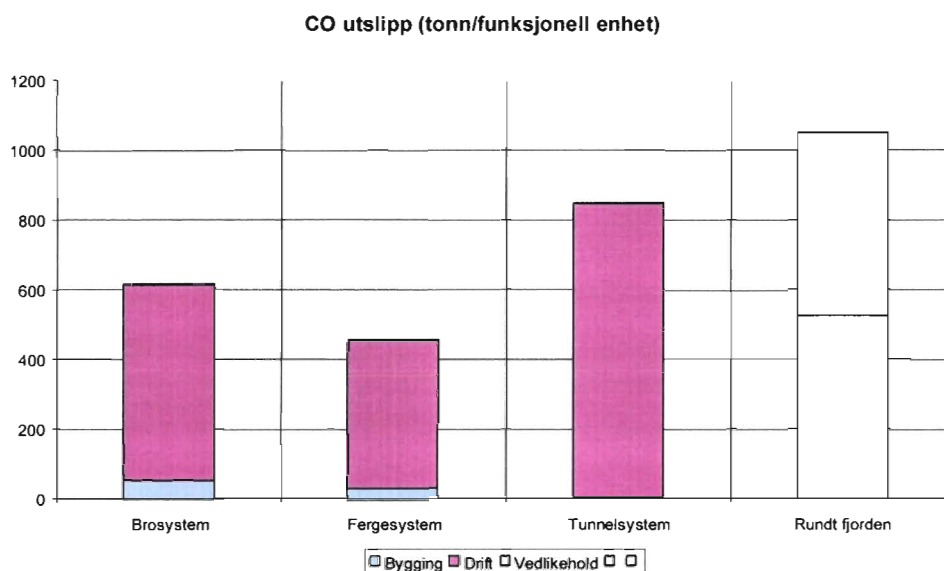
Også for utslipp av SO_x kommer fergesystemet dårligst ut (81 tonn/funksjonell enhet). Tunnelsystemet (21 tonn/funksjonell enhet) kommer imidlertid bedre ut enn brosystemet (27 tonn/funksjonell enhet). Årsaken til dette er bidraget fra byggefasen.

Både brosystemet og fergesystemet er det et stort bidrag fra byggefasen, hhv. 52% og 28%. Dette bidraget skyldes for begge systemene produksjon av store mengder stål som inngår i systemene, armering i brosystemet og fergeskroget i fergesystemet. Grunnen til at spesielt SO_x utslippene er relativt sett store for produksjon av stål er at det i grunnlagsdataene er antatt bruk av stål med lav andel skrapjern (25%), og at forbrenning av store mengder kull, som inngår i stålproduksjonen, gir spesielt høy utslippsfaktor for SO_x.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 7 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for fergesystemet. For de to andre systemene er det kun nødvendig med 2-3 ganger strekningen A-B. Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.6 Utslipp av CO

I figuren under illustreres det totale utslippet av CO for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



For utslipp av CO er det tunnelsystemet som kommer dårligst ut (848 tonn/funksjonell enhet). Brosystemet er nest dårligst (616 tonn/funksjonell enhet) og fergesystemet har de laveste utslippene (455 tonn/funksjonell enhet).

Forklaringen til at fergesystemet har de laveste utslippene ligger i utslippsfaktoren for CO ved drift av marint maskineri kontra drift av bilmotorer. Det er i større grad fullstendig forbrenning i en moderne fergemotor enn i en bilmotor. Fullstendig forbrenning gir en neglisjerbar økning i utslippsfaktoren for CO₂, men eliminerer CO utslippene.

For fergesystemet bidrar veitrafikken med 390 tonn/funksjonell enhet, mens fergedriften bidrar med 32 tonn/funksjonell enhet. Dersom man, tilsvarende som for forbruk av fossil energi dividerer dette bidraget med distanse, så får man at veitrafikken slipper ut mer CO per km enn fergetrafikken.

Bidraget fra byggefasen er små for alle systemene. For brosystemet bidrar byggingen med 9% av den totale miljøbelastningen. For ferge- og tunnelsystemet er bidraget hhv. 5% og 0%.

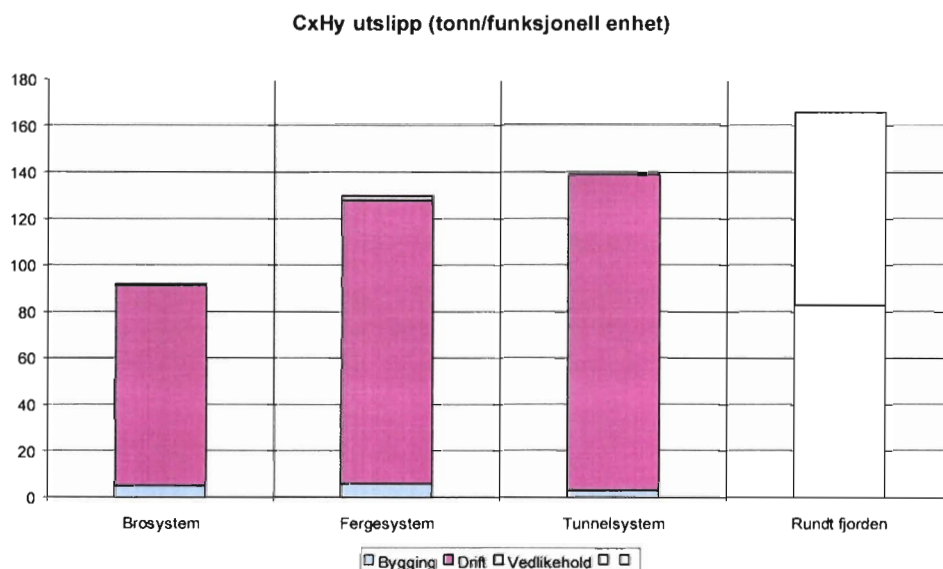
Det er nødvendig at veien rundt er minst 2 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for tunnel- eller brosystemet. For fergesystemet er det kun nødvendig med 1 ganger strekningen A-B.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

4.7 Utslipp av C_xH_y

Det presiseres at C_xH_y er summen av utslipp av flyktige hydrokarbonforbindelser (avdamping).

I figuren under illustreres det totale utslippet av C_xH_y for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



Tunnelsystemet kommer dårligst ut med 139 tonn/funksjonell enhet. Fergesystemet har de nest høyeste utslippene med 130 tonn/funksjonell enhet. Brosystemet har de laveste utslippene med 92 tonn/funksjonell enhet.

Årsaken til at fergesystemet kommer bedre ut for utslipp av C_xH_y enn for forbruk av fossil energi og utslipp av CO_2 , NO_x og SO_x er at fergemotoren relativt sett har en lavere utslippsfaktor (g/kg drivstoff) sammenlignet med bilmotoren.

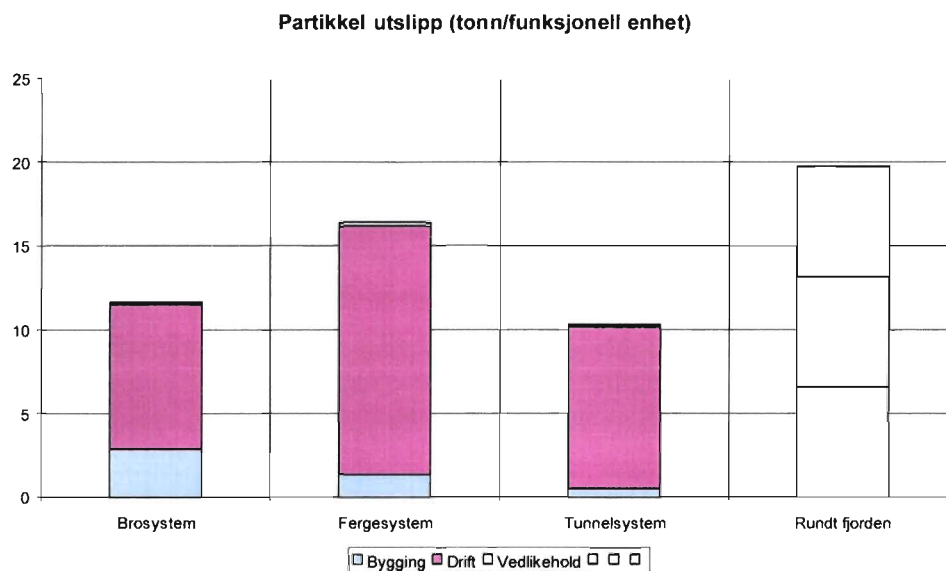
Bidraget fra byggefasen er små for alle systemene. For brosystemet bidrar byggingen med 5% av den totale miljøbelastningen. For ferge- og tunnelsystemet er bidraget hhv. 3% og 2%.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 2 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for samtlige systemer.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg lite synlig i de aggregerte livsløpsresultatene. Dette lille bidraget for fergesystemet er relatert til avdamping av løsemidler under påføring av bunnstoff.

4.8 Utslipp av partikler

I figuren under illustreres det totale utslippet av partikler for de fire alternative systemene, samt hvordan totalen for bro-, ferge- og tunnelsystemet fordeler seg på de tre livsløpsfasene bygging, drift og vedlikehold. Søylen for systemet med veilenke rundt fjorden angir kun totalen. Inndelingen av søylen angir antall strekninger fra punkt A til punkt B.



Fergesystemet har de største utslippene av partikler (16 tonn/funksjonell enhet). Dette til tross for at det for dette systemet genereres veistøv over 2,2 km, mens det for bro- og tunnelsystemet genereres veistøv over 3,2 km. Forklaringen ligger i høyere utslippsfaktorer for marin diesel enn summen av utslippsfaktorene for drivstoff til biler og veislitasje. Brosystemet har de nest høyeste utslippene av partikler (12 tonn/funksjonell enhet), og tunnelsystemet de laveste utslippene (10 tonn/funksjonell enhet). Forskjellen mellom de to sistnevnte er såpass liten at de kan betraktes som likeverdige.

Årsaken til at brosystemet har større utslipp enn tunnelsystemet er at bidraget fra byggefasen er stort for brosystemet (2,9 tonn/funksjonell enhet). Dette bidraget skyldes produksjon og transport av betong og stålkomponenter i brokonstruksjonen.

Det er nødvendig at veien rundt er minst 3 ganger strekningen A-B før det lønner seg å gå for fergesystemet. For de to andre systemene er det kun nødvendig med 2 ganger strekningen A-B.

Bidraget fra vedlikeholdsfasen gjør seg ikke synlig i de aggregerte livsløpsresultatene.

5 VURDERING AV EFFEKTER OG PRIORITERING

For å kunne si noe om viktigheten til de miljøbelastningene som er kartlagt er det valgt en enkel kvalitativ tilnærming. Det er først valgt å kategorisere miljøaspektene i ulike typer miljøeffekter. Deretter blir viktigheten av de ulike miljøaspektene sammenholdt med størrelsen av forbruk og utslipp. Dette, sammen med en generell diskusjon, avgjør prioriteringen av de kartlagte miljøaspektene. Veien fram til prioritering er vist i tabellen under.

Tabell 2 Prioritering av miljøbelastninger

Effektkategori	Miljøaspekt	Diskusjon og prioritering
Ressursforbruk	Elektrisitet	Dersom man vurderer all energi som en ressurs vil forbruket av fossil energi være dominerende i forhold til elektrisitet. Imidlertid i de tilfeller der det er belysning av veier vil elektrisitetsforbruket være i størrelsesorden 2-5 ganger mindre enn forbruket av fossil energi. Denne forskjellen anses ikke stor nok til å prioritere den ene fremfor den andre. I tillegg vil en vannkraftbasert el. være en indikator for andre miljøbelastninger som fysiske inngrep i naturen.
	Fossil energi	
Drivhuseffekt	CO ₂	I forhold til CO ₂ bidrar CH ₄ rundt 25 ganger mer til drivhuseffekten. Det slippes imidlertid ut 200-400 ganger mer CO ₂ enn C _x H _y , derfor vil bidraget fra CH ₄ knapt synes selv om hele utslippet av C _x H _y er CH ₄ . Basert på effektkategorien drivhuseffekt anses derfor CO ₂ som det klart viktigste miljøaspektet for systemene i denne studien.
	Andel av CH ₄ i C _x H _y	
Forsuring	NO _x	NO _x og SO _x sitt bidrag til forsuring kan anses som like viktig. Det slippes imidlertid ut i størrelsesorden 10 ganger mer NO _x enn SO _x . NO _x bør derfor anses som det klart viktigste utslippet når det gjelder bidrag til forsuring.
	SO _x	
Lokal luftforurensning	NO _x	Det er valgt å la viktigheten til utslippene bli reflektert gjennom de luftkvalitetskriterier som er satt for stoffene av norske myndigheter. Disse tilsier at alle stoffene er tilnærmet like viktige under forutsetning at kriterier for ozon kan overføres til C _x H _y . Dermed er det størrelsesordenen til utslippene og deres evne til å forbli i den bakkenære atmosfæren som er avgjørende. Det har ikke vært mulig å skille utslippene basert på det sistnevnte punktet. Størrelsesordenen på utslippene blir dermed utslagsgivende for prioriteringen, noe som fører til at det bør fokuseres på utslipp av NO _x , CO og C _x H _y . En annen diskusjon er om lokal luftforurensning i det hele tatt bør prioriteres i livsløpsvurderinger. Denne miljøeffekten er oftest et resultat av en rekke industri-, fyrings- og trafikkutslipp i et område. Den faktiske luftforurensningen blir derfor avhengig av en rekke lokale forhold som ikke blir reflektert i en livsløpsvurdering. Videre vil fjordkrysninger ofte være aktuelt i områder med lav befolkningstetthet, dermed er temaet mindre aktuelt for denne studien. Derfor, om det er ønskelig å prioritere ytterligere, bør stoffer som kun bidrar til lokal luftforurensning nedprioriteres.
	SO _x	
	CO	
	Andel ikke-CH ₄ i C _x H _y	
	Partikler	

Basert på resultatene i tabellen over vil det i diskusjonen og konklusjonen bli fokusert på elektrisitetsforbruk, forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂ og NO_x.

6 SENSITIVITETSANALYSER

Sensitivitetsanalyser utføres for å estimere effekten av endringer i studiens antagelser, begrensinger og datagrunnlag. I denne studien er det mange områder der det kunne tenkes utført sensitivitetsanalyser. De viktigste er årsdøgntrafikk, utslippsdata for bil- og fergetrafikk, avgangsfrekvens, størrelse og kapasitetsutnyttelse på ferge, profil og tverrsnitt for krysningsalternativene og teknologivalg innenfor hvert krysningsalternativ (f.eks. stålbro isteden for betongbro). Nedenfor er det utført analyser og vurderinger for endringer i årsdøgntrafikk, tunnelprofil og kapasitetsutnyttelse for ferga.

6.1 Endringer i årsdøgntrafikk

I referansesystemet er ÅDT satt til 3000. Dette tallet kan være noe høyt for gjennomsnittlige fjordkryssinger i Norge i hht. data fra Statens vegvesens Vegdekkestatistikk for 1999. Det er derfor bestemt å analysere effekten av redusert årsdøgntrafikk. Dette gjøres ved å gjennomføre en modellkjøring der ÅDT settes til 1500. ÅDT=1500 er valgt fordi dette er den laveste trafikkmengden som er mulig uten å endre veistandarden for veilenker og bro. Foruten trafikkmengden gjøres følgende endringer i referansesystemet:

- Tunnelstandard endres fra T11 til T8
- Fergetrafikken kan endres ved at det blir færre avganger pr. døgn, at kapasiteten på fergereduseres, eller en kombinasjon av de to foregående. Det er her valgt å redusere fergekapasiteten til 75 personbilekvivalenter.

At tunnelstandard endres til en tunnel med mindre tverrsnitt medfører lavere miljøbelastninger i bygge- og vedlikeholdsfasen. Tunnelstandard T8 har et tverrsnitt 30% mindre enn T11. Bidraget fra byggefasen er derfor redusert med 30%.

Bidraget fra viftene reduseres. Viftene utgjør 40% av elektrisitetsforbruket under tunneldriften. Det er usikkert om viftedriften avtar lineært med trafikkmengden, men dette er benyttet som en tilnærming. Elektrisitetsforbruket i tunnelens driftsfase vil dermed reduseres med 20% sammenlignet med referansesystemet.

Ettersom trafikkmengden halveres i forhold til referansesystemet, vil også utslippene fra veitrafikken halveres. Følgende data er benyttet for utslipp fra veitrafikken:

	Drivstoff [tonn/km*år]	CO ₂ [tonn/km*år]	CO [kg/km*år]	NO _x [kg/km*år]	Partikler [kg/km*år]	VOC [kg/km*år]	SO _x [kg/km*år]
Bro-system	35	110	3441	729	42	440	14
Tunnel-system	55	172	5283	1174	42	691	22
Veilenker i ferge-system	35	111	3032	727	42	445	14

TEKNISK RAPPORT

Reduksjonen av fergekapasiteten til 75 PBE medfører bygging og vedlikehold av en mindre ferge, som igjen tilsier lavere miljøbelastninger fra disse livsløpsfasene. Resultatene for referansesystemet viser imidlertid at bygge- og vedlikeholdsfasens bidrag til de totale miljøbelastningene er neglisjerbare (dette gjelder ikke SO_x). Kaiområdet og antall avganger per døgn er antatt å forbli det samme som i referansesystemet. I den gjennomførte modellkjøringen med ÅDT=1500 er det derfor kun utført endringer i drivstofforbruk og utslipp fra driften av fergemaskineriet.

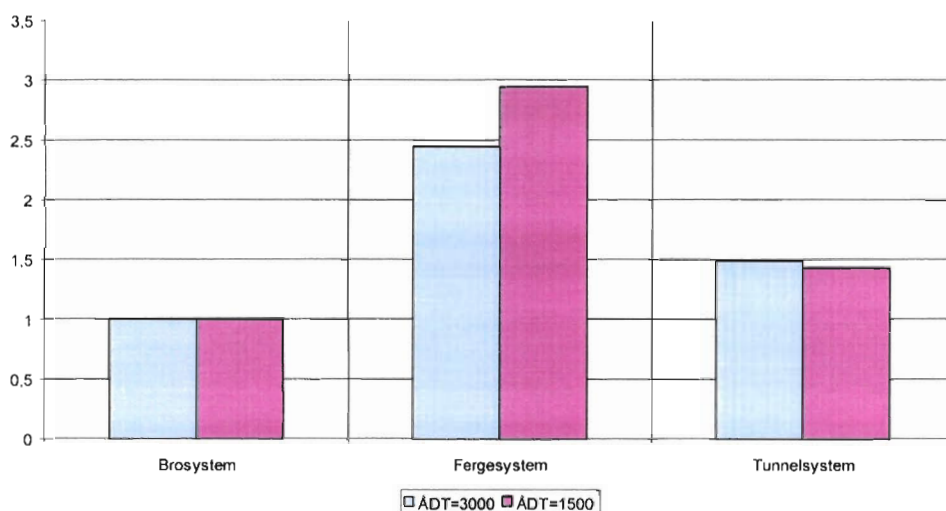
Under følger en oversikt over drivstofforbruket til moderne norske bilferger (bygd etter 1990), med kapasitet på 70-80 PBE. Dataene er dels hentet fra Rederienes Landsforening /17/ og dels gitt av Vegdirektoratet/Fergekontoret.

Ferge	PBE	Byggeår	Drivstofforbruk [l/utseilt km]	
			1996	1995
Høgsfjord	75	1992	18,8	17,0
Hjelmeland	75	1992	15,0	13,4

Tallene over gir et gjennomsnittlig drivstofforbruk på 16 l/utseilt km. Tettheten på dieselen er satt til 850 kg/m³. Dette gir et drivstofforbruk på 13,6 kg/km.

Figuren under illustrerer hvordan forbruket av fossil energi endrer seg relativt til brosystemet. Dvs. at brosystemet er satt til 1 både for ÅDT=1500 og ÅDT=3000. Utslaget for ÅDT=3000 vil fordobles om brosystemet settes til 1 kun for ÅDT=1500.

Fossil energi forbruk ved ulike ÅDT (relative verdier)



Det ses av figuren at fergesystemet kommer enda dårligere ut når ÅDT reduseres. Årsaken til dette er at reduksjonen i forbruket av drivstoff for ferga reduseres med 32%, mens det for biltrafikken reduseres med 50% når ÅDT halveres.

Resultatene vil være tilsvarende for utslipp av CO₂ og NO_x.

Den relative reduksjonen for tunnelsystemet skyldes mindre belastninger fra byggefasen.

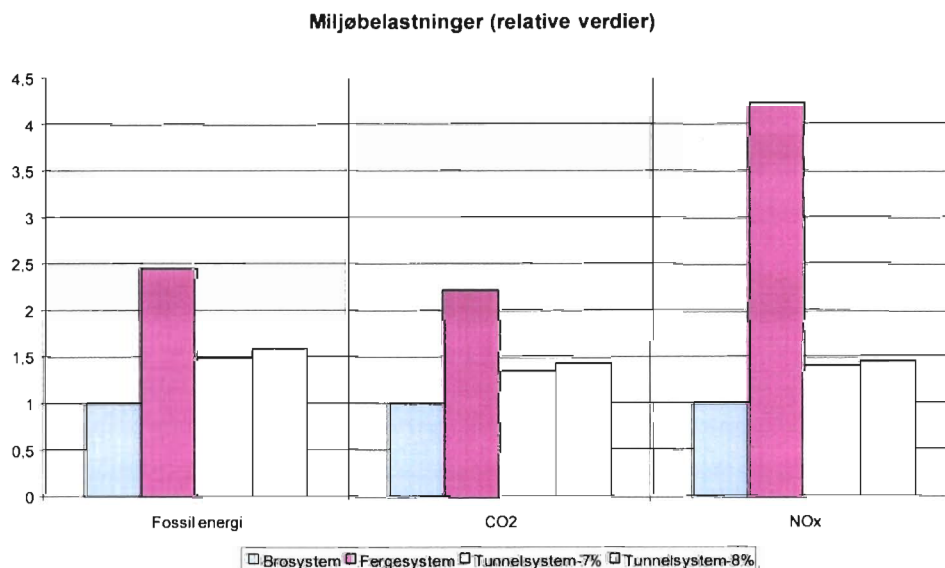
6.2 Endring i tunnelprofil

Stigning og fall i tunnelen er for referansesystemet satt til 7%. I mange tilfeller er det av økonomiske grunner ønskelig å gjøre tunnelen så kort som mulig. Statens vegvesens håndbok for tunneler gir åpning for å øke stigning og fall i tunnelen til 8% dersom det er tre felt, slik som tilfellet er for referansesystemet. Dette vil føre til at tunnelens lengde blir redusert fra 3200 m til 2800 m. Differansen vil erstattes med en flat veilenke på 400 m.

Under vises hvordan drivstofforbruk og utslippsfaktorer endrer seg ved å gå fra 7% til 8% stigning i tunnelen.

	Drivstoff [tonn/km*år]	CO ₂ [tonn/km*år]	CO [kg/km*år]	NO _x [kg/km*år]	Partikler [kg/km*år]	VOC [kg/km*år]	SO _x [kg/km*år]
7% stigning	109	344	10566	2348	84	1382	45
8% stigning	123	387	12280	2555	84	1554	49

I figuren under illustreres det hvordan tunnelsystemet med 8% stigning slår i forhold til de tre referansesystemene. Figuren gjør bruk av relative verdier for å kunne presentere miljøbelastninger av ulike størrelsesorden på samme akse (brosystemet er satt til 1).



Det ses av figuren at tunnelsystemet oppnår noe dårlige miljøprestasjon ved å gå fra 7% til 8% helning. Årsaken til dette er at den negative effekten av økt drivstofforbruk pga. økt helning er større enn den positive effekten som oppnås ved mindre tunnelbygging og kortere kjørestrækning med høy helning.

TEKNISK RAPPORT

Tilsvarende resultater vil gjelde for utslipp av CO₂ og NO_x. Forbruk av elektrisitet vil bli redusert med anslagsvis 12,5 % så lenge den nye veilenken ikke er belyst. Dersom den er belyst vil reduksjonen være omtrent 9%.

Tunneler bygges med opp til 10% helning. I en slik situasjon ville tunnelsystemet kommet enda dårligere ut enn 3 ganger differansen mellom 7% og 8% (gjelder ikke elektrisitet). Dette er fordi trafikkutslippene øker mer enn proporsjonalt med helningen.

7 DISKUSJON OG KONKLUSJON

7.1 Diskusjon av forutsetninger

Det er meget vanskelig å kunne påstå at et alternativ for å krysse en fjord er bedre enn et annet miljømessig sett. Spesielt gjelder dette på generell basis, slik utgangspunktet har vært for denne studien. Det er en rekke forutsetninger som ligger til grunn før en sammenligning kan gjennomføres. De viktigste forutsetningene som bidrar kan bidra til å endre konklusjoner er:

1. Fjordbredden. En fjord vil ha ulik bredde avhengig av hvor krysningen er plassert og hvilken fjord som skal krysses. Det er ikke sikkert at de alternative krysningene vil legges på samme sted slik tilfellet er i denne studien. Dette vil føre til lengre/kortere tilførselsveier og ulike krysningsslengder for de alternative løsningene. Bredden på fjorden er også avgjørende om alle tre krysningalternativene er aktuelle. Resultatene viser at det ikke skal lange ekstra veilenkene til før rangering av systemene endrer seg. F.eks. vil en ekstra veilenke på 2-3 km for brosystemet endre rangeringen mellom bro og tunnel for alle de miljøbelastningene der brosystemet fremstår som det beste.
2. Fjorddybden. Dybden på fjorden vil variere. Den faktiske dybden vil være meget avgjørende for miljøprestasjonen til en tunnelkrysning fordi dette avgjør kjørelengden i tunnel med høy helning og tilhørende høyt drivstofforbruk. Fjorddybden er også avgjørende om tunnel i det hele tatt er et alternativ.
3. Profil på tilførselsveiene. Flat tilførselsvei vil gi en bedre miljøprestasjon mhp. utslipp til luft enn en kupert tilførselsvei.
4. Profil på bro. Profilen bestemmes av seilingshøyden og hvor høyt over havet landingspunktene til broa ligger.
5. Teknologivalg for transportmidler. Det er i denne studien valgt å benytte dagens teknologi. For et system som står i 50 år kan det skje dramatiske teknologiske forbedringer av miljøprestasjonen til både kjøretøy og ferger. Bruk av ferger drevet av gass er eksempel på en nærliggende utvikling som sikkert vil redusere utslipp av SO_x og NO_x fra ferger.
6. Teknologivalg for konstruksjoner. I denne studien er en betongbro benyttet for å representere krysningalternativet bro. En stålbrot vil kunne endre resultatene, spesielt for de miljøbelastningene der byggefasen fremstår som viktig.
7. Fergas karakteristika. Forhold som avgangsfrekvens, motorstørrelse, kapasitet og kapasitetsutnyttelse vil i stor grad avgjøre fergas miljøprestasjon. En ferge med færre avganger og dermed høyere kapasitetsutnyttelse enn det som er benyttet i denne studien vil kunne bedre fergas prestasjon betraktelig.
8. Årsdøgntrafikken som legger grunnlaget for dimensjoneringen av systemene. For miljøbelastninger der byggefasen fremstår som viktig vil resultatene være følsomme for endring i ÅDT.
9. Sluttbehandlingen av systemene. I den grad broa, fergas og veilenkenes bestanddeler resirkuleres og benyttes i nye systemer, vil systemene få et fratrekk i sine miljøbelastninger for dette. Størrelsen på fratrekket vil avhenge av mengdene som resirkuleres og hva det resirkulerte materialet erstatter. For en ferge ville resirkulert stål gi et negativt bidrag lik produksjonen av lavverdig stål. For en betongbro og veilenke ville knust betong og asfalt gi et negativt bidrag lik produksjon av tilslag. En stor grad av resirkulering kan virke inn på resultatene, spesielt for de miljøbelastningene der byggefasen fremstår som viktig.

7.2 Konklusjoner

Til tross for store variasjoner i viktige forutsetninger er det mulig å trekke konklusjoner ut fra studien. Disse konklusjonene kan deles inn i to grupper:

1. Generelle metodiske konklusjoner

- Livsløpsanalyse er en metodikk godt egnet til å studere utslipp til luft og ressursforbruk knyttet til alternative løsninger for krysning av fjord.
- Det er viktig å analysere et utvidet system for krysningalternativene som inkluderer tilførselsveier (veilenker).
- Ved analyse av forbruk av elektrisitet, fossil energi og utslipp til luft bør det fokuseres på å skaffe til veie korrekte data for driftsfasen, samt analysere variasjon i disse dataene, fremfor å bruke mye ressurser på å skaffe til veie data for bygge- og vedlikeholdsfasen.
- Det er viktig, ved gjennomføring av sensitivitetsstudier, å være oppmerksom på at sprang i de totale miljøbelastningene kan forekomme. Dette gjelder spesielt fergesystemet der fjordbredde, ÅDT og kapasitetsutnyttelse vil avgjøre størrelsen på ferga og antall ferger. Det vil også være sprang i byggefasen for veilenker, broer og tunneler når rammebetingelsene tilsier skifte av standard/kategori.
- Byggefasen bør i utgangspunktet ikke ekskluderes fra systemet. Dette bør først gjøres etter å ha fått bekreftet at byggefasen ikke bidrar i signifikant grad gjennom en grov vurdering.
- Produksjon av betong og stål er de viktigste prosessene som bidrar til miljøbelastninger fra broas byggefase.
- Vedlikeholdsfasen kan ekskluderes fra systemet uten at signifikante bidrag til de studerte miljøbelastningene går tapt.
- For å kunne oppnå konklusjoner for spesifikke utbygginger er det nødvendig å gjennomføre konkrete studier for hver enkelt utbygging, med de konkrete alternative løsningene. Disse alternativene bør analyseres og vurderes i henhold til en forenklet metodikk basert på metodikk, data og konklusjoner fra denne studien.

2. Konklusjoner relatert til de systemene som er beskrevet i denne studien

- For de prioriterte miljøbelastningene som er vurdert i denne studien fremstår brosystemet som den beste løsningen for fjordkrysning.
- Prioriterte miljøaspekter bør være forbruk av elektrisitet, forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂ og NO_x til luft.
- Tunnelalternativet er det klart dårligste mhp. forbruk av elektrisitet. Dette er under forutsetning av at veilenker og bro ikke er belyst. Dersom så er tilfelle vil forskjellen minke, men tunnelsystemet vil fremdeles fremstå som det dårligste. Elektrisitetsforbruket for bro- og fergesystemet er tilnærmet likt.
- Fergesystemet er det dårligste mhp. forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂ og NO_x. Hovedårsaken er fergas utslippsfaktor for NO_x, og at ferga forbruker mer drivstoff ved å transportere kjøretøyer enn det alle kjøretøyene ville brukt til sammen om de kjørte den samme distansen. Tunnelsystemet er det nest dårligste mens brosystemet fremstår som det beste. Den viktigste forklaringen på forskjellen mellom tunnel- og brosystemet er helningen på veien gjennom tunnel og over bro og distansen denne helningen går over.

8 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Det er flere områder der det er aktuelt å arbeide videre med denne studien.

1. For å kunne utvide miljødatabasen, for å få testet ut den utviklede metodikken og for å kunne komme med mer konkrete konklusjoner anbefales det å benytte systembeskrivelsen og bakgrunnsdata fra denne studien til å analysere miljøprestasjonen til alternativer ved faktiske fjordkryssinger.
2. Det anbefales videre at livsløpsanalysemetodikken bør inngå som et anbefalt delement i konsekvensanalyser for veisystemer (Håndbok 140).
3. Systemmodellene som er bygd opp er et godt utgangspunkt for å analysere kostnader for Statens vegvesen, eller samfunnskostnader knyttet til livsløpet til alternative fjordkryssinger. Det anbefales at kostnader samles inn gjennom konkrete eksempelstudier. Et slikt arbeid er allerede i gang for tunneler. Dette arbeidet er imidlertid uavhengig av denne studien.

9 REFERANSER

- /1/ ISO 14040:1997 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework
- /2/ ISO 14041:1998 Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis
- /3/ ISO/DIS 14042 Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment
- /4/ ISO/CD 14043 Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation
- /5/ Statens vegvesen (1992): Veg- og gateutforming. Nr. 017 i vegvesenets håndbokserie.
- /6/ Statens vegvesen (1992): Vegtunnelser. Nr. 021 i vegvesenets håndbokserie.
- /7/ Statens vegvesen (1995): Konsekvensanalyser. Del I -Prinsipper og metodegrunnlag, Del IIa –Metodikk for vurdering av ikke-prissatte konsekvenser, Del IV –Metodikk for beregning av prissatte konsekvenser –Brukerveiledning EFFEKT 5, Del III -Eksempel. Nr. 140 i vegvesenets håndbokserie.
- /8/ Stripple, H. (1995): Livscykelanalys av väg. En modellstudie för inventering. IVL-Rapport B 1210. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg, Sverige.
- /9/ Becker, C. (1998): Miljø- og kostnadmessig sammenligning av gjenbruk og konvensjonell veilegging. Hovedoppgave, Institutt for veg- og jernbanebygging, NTNU.
- /10/ NORGES OFFENTLIGE UTREDNINGER, NOU 1998: 11. Energi- og kraftbalansen mot 2020. Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 16. april 1997. Avgitt til Olje- og energidepartementet 3. juli 1998.
- /11/ Lloyd's Register of Shipping (1990): Marine Exhaust Emissions Research Programme, Slow Speed Addendum.
- /12/ NIVA (1998): Avrenning av nitrogen fra tunnelmasse. Rapport LNR 3920-98.
- /13/ Johnsen, T, Vold, M. (1996): Sustainable Product Development in Cement and Concrete Industry. Case: Bridge in Norway. OR. 39.96. Stiftelsen Østfoldforskning, Fredrikstad.
- /14/ Vold, M., Rønning A. (1995): LCA of Cement and Concrete –Main report. OR 32.95. Stiftelsen Østfoldforskning, Fredrikstad.
- /15/ Johnsen, T., Fet, A.M. (1999): Screening Life Cycle Assessment of M/V Color Festival. DNV Report No. 98-2061. Det Norske Veritas.
- /16/ Faks fra Hydro Forskningsenteret, Porsgrunn. Tallene er relatert til deres

TEKNISK RAPPORT

sammenligning av konvensjonell ferge med aluminiumbasert katamaran ferge.

- /17/ <http://www.rlf.no/> (Hjemmesiden til Rederienes Landsforening)
- /18/ Det Norske Veritas (1999): Miljøvennlige Norske Riks- og fylkesferger. Rapport No. 99-0228.
- /19/ SFT (1999): Utslipp fra veitrafikk i Norge –Dokumentasjon av beregningsmetode, data og resultater. Statens forurensningstilsyn, Rapport 99:04.
- /20/ Flugsrud, K., Rypdal, K. (1996): Utslipp til luft fra innenriks sjøfart mellom norske havner. Statistisk Sentralbyrå, Rapport 96/17
- /21/ Melby, K., Øvstedal, E. (1999): Proceedings. Workshop Straight Crossings – Subsea tunnels. 30 Mai 1999, Oslo. Norwegian Tunneling Society in connection with the 1999 ITA World Tunnel Congress.

APPENDIKS 1

MILJØBELASTNINGER KNYTTET TIL PRODUKSJON AV ENERGI OG MATERIALER BENYTTET I STUDIEN

Elektrisitet

I Norge produseres elektrisitet hovedsakelig fra vannkraft (over 99%), i tillegg importeres noe kraft fra de andre nordiske naboland i "tørre" år. Fra 1970 til og med 1997 var det netto import av elektrisk kraft kun i 1977, 1986 og 1996 /9/. På bakgrunn av dette er det valgt å benytte data for ren vannkraft i denne studien.

Følgende miljøbelastninger er relatert til produksjon av 1 kWh elektrisitet:

Utslipp		Material-/ressursforbruk		Energiforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]	Type	Mengde [MJ]
				Vannkraft	4,7

Drivstoff/diesel

Drivstoff driver industri- og transportprosesser. Drivstoff som benyttes i de modellerte systemene er diesel, bensin og tungolje. For å forenkle modelleringen er de innsamlede miljøbelastningsdata relatert til produksjon av kun diesel. Dette er gjort fordi de fleste av produksjonsprosessene for diesel, bensin og tungolje er for det meste de samme (råoljeuttak, olje/gass separasjon, transport til raffinerier, raffineriprosesser) og de to har dermed omtrent de samme miljøbelastningene.

Data er hentet fra DNVs LCA database. Følgende miljøbelastninger er relatert til produksjon av 1 kg diesel:

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	284	COD	0,01	Råolje	1,031
CO	0,08	BOD	0,005	Naturgass	0,062
SO _x	1,8	N-tot	0,001		
NO _x	2,9	C _x H _y	0,02		
HCl	0,005	Avfall	4,7		
C _x H _y	2,9				
Metaller	0,001				
Partikler	0,34				

TEKNISK RAPPORT

Bitumen

De benyttede data er basert på svenske forhold /8/. Det er antatt råoljeutvinning i Venezuela, frakt med tankbåt til lager i Sverige for raffinering, transport til mellomlagring, lagring i depot og transport til benyttelsessted med tankbil.

Benyttede data for tankbiltransport til benyttelsessted er basert på de angitt i kapittel 3.2.1. I utgangspunktet transporteres bitumen fra lager til både asfaltverk og direkte til veianlegget. Begge disse avstandene er satt til 100 km.

Følgende miljøbelastningsdata gjelder pr. tonn bitumen produsert.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	171340	HC	2	Diesel	24,7
CO	110	BOD	19	Elektrisitet	252 MJ
SO _x	608,9	COD	344,02	Naturgass	1780 MJ
NO _x	1012,9	P	2		
C _x H _y	29,5	N	5		
Partikler	8,008	Olje	0,007		
VOC	200,1	Fenol	0,01		
		Spes. Avfall			

Steinmasser

Tilslaget i slitelaget består av relativt fine kornstørrelser, mens pukken som benyttes i bærelag og forsterkningslag er større stein. Disse produktene vil derfor ha ulikt behov for knusing. I tillegg vil masser til forsterknings- og bærelag kunne bestå av masser frigjort ved tidligere sprenginger. Data for produksjon er kun samlet inn for tilslag uten bruk av gjenvunnet asfalt. Det antas at miljøbelastningen for produksjon av steinmasser til forsterkningslag utgjør 10% av miljøbelastningene for produksjon av tilslag i slitelaget. Miljøbelastningen for produksjon av steinmasser til bærelag utgjør 20% av miljøbelastningene for produksjon av tilslag i slitelaget.

Miljøbelastninger knyttet til produksjon av sand til strøing på vei og til sandblåsing antas å være de samme som for bærelagspukk.

Transportavstander for steinmasser levert til asfaltverk er satt til null. Alle andre transportavstander er satt til 100km.

Data for dieselforbruk er hentet fra norsk studie av dekkelegging /9/. Utslipp er beregnet basert på forbrenning av dieselen. Miljøbelastninger pr. tonn tilslag levert til asfaltverk er gitt under.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	2680	Diesel	0,84
CO	0,5		
SO _x	1,91		
NO _x	6,08		
Partikler	0,38		

TEKNISK RAPPORT

Salt

Meget usikre data fra litteraturen /8/ basert på kullbasert utvinning fra gruver i Tyskland. Dataene gjelder for produksjon av 1 tonn salt. Saltet transporteres 1000 km med lastebil som angitt i kapittel 3.2.1.

Utslipp luft		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [kg]
CO ₂	136 000	Kull	37
CO	30		
SO _x	740		
NO _x	444		

Stål

Produksjon av stål gjelder for armering og stålpåler i kai, armering, spennarmer, stålrørpæler, rekkverk på bro og konstruksjon og delsystemer i ferge. Produksjonen gjelder fra uttak av jermalm fram til ferdige konstruksjonselementer. Miljøbelastningsdata er oppgitt under pr. tonn stål /8/. Det er ikke tatt hensyn til legeringelementer i stålet.

Stålet antas transportert med trailer fra Sverige. Antatt transportavstand er 800 km. Transport med lastebil som angitt i kapittel 3.2.1.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde
SO ₂	7,34	COD	0,0093	Diesel	3,6 MJ
NO _x	4,86	N	0,0075	Kull	15,3 MJ
CO ₂	2200			Naturgass	1,78 MJ
CO	1			Elektrisitet	4,64 MJ
NMVOC	1,2				
PAH	0,000033				
H ₂ S	0,0194				
Partikler	39,2				
N ₂ O	0,03				
CH ₄	9,1				

TEKNISK RAPPORT

Betong/Sement

Produksjonsdataene for betong gjelder for kaifundament, brokonstruksjon og sprøytebetong. Produksjonen gjelder fra uttak av råvarer fram til støping. Det er ikke tatt hensyn til additiver/silika i betongen da disse komponentene utgjør under 1% av den totale massen /13/. Betongen består videre av ca. 7% vann, 16% sement og 77% tilslag /13/.

Det er ikke relatert noen miljøbelastningsdata til vannet da dette ikke er begrenset ressurs i Norge. Produksjon av tilslaget har fått tildelt de samme produksjonsdata som produksjon av steinmasser (tilslag i asfalt).

Miljøbelastningsdata pr. tonn sement produsert er gitt i tabellen under /14/. Produksjon av drivstoff er inkludert i datasettet.

Dataene gjelder også for sementmørtel som injeksjonsmasse i tunnel.

Sementen antas transportert med trailer fra produksjonssted (Brevik). Antatt transportavstand er 400 km. Transport med lastebil som angitt i kapittel 3.2.1.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde
NO _x	3180	Aske	21,3	Elektrisitet	457 MJ
SO ₂	1460	COD	0,43	Fossil energi	0,101 tonn
Partikler	436	N-tot	0,08	Spesialavfall	0,003 tonn
CO ₂	834000	C _x H _y	0,17	Kalkstein	1,55 tonn
CH ₄	905				
C _x H _y	135				
CO	3140				
Metaller	0,221				

TEKNISK RAPPORT

Plast

Gjelder for plast som benyttes i fergekonstruksjonen. Det er antatt polystyren som plasttype. Data er hentet fra DNVs LCA database. Dataene er angitt pr. kg plast produsert.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde
Partikler	5,43	COD	2,87	Kull	0,065 kg
CO	2,55	BOD	0,128	Råolje	1,08 kg
CO ₂	1915	Metall ioner	1,6	Naturgass	0,82 kg
SO _x	149	N	0,43	Elektrisitet	23,2 MJ
H ₂ S	0,0053	C _x H _y	1		
NO _x	45,7	Uorganisk avfall	24,6		
HCl	0,042	Spesialavfall	0,001		
C _x H _y	103				
Metaller	0,02				

Kobber

Gjelder for kobber som benyttes i fergekonstruksjonen. Data er hentet fra DNVs LCA database. Dataene er angitt pr. kg kobber produsert.

Utslipp luft		Utslipp vann/jord		Material-/ressursforbruk	
Type	Mengde [g]	Type	Mengde [g]	Type	Mengde
CO ₂	7175	Uorganisk avfall	2820	Kobbermalm	0,8 kg
CO	2,54	Fast avfall	134 000	Gjenvunnet kobber	0,2 kg
SO _x	1060			Råolje	1,57 kg
NO _x	20			Kull	0,395 kg
				Naturgass	0,271 kg
				Elektrisitet	3,28 MJ

TEKNISK RAPPORT

APPENDIKS 2

KARTLEGGINGSRESULTATER FOR REFERANSESYSTEMER

BROSYSTEM	TJ/F.E.	tonn/funksjonell enhet									
		Fase-subsystem	El.	Fossil en.	CO ₂	NO _x	SO _x	CO	C ₂ Hy	Partikler	
Rydding	0	Bygging -veilenke	0	0,072	0,246	0,00225	0,00023	0,00025	0,00035	0,00011	
Sprenging	0	Bygging -veilenke	0	0	0	0	0	0	0	0	
Masseforflytning	0	Bygging -veilenke	0	2,79	8,57	0,0863	0,00755	0,01352	0,01325	0,00747	
Legging av forsterkningslag	0	Bygging -veilenke	0	10,7	35,7	0,355	0,0317	0,14	0,0678	0,105	
Legging av bærelag	0,00658	Bygging -veilenke	0,00658	3,64	14,2	0,124	0,023	0,0413	0,0274	0,0297	
Legging av slitelag	0,0289	Bygging -veilenke	0,0289	9,82	39,9	0,161	0,0624	0,0219	0,0454	0,0159	
Sprenging	0	Bygging -bro	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bygging av brokonstruksjon	6,88	Bygging -bro	6,88	262	3416	20,54	13,85	52,83	4,62	2,69	
Masseforflytning	0	Bygging -bro	0	0,0627	0,193	0,00199	0,00017	0,0003	0,00030	0,00017	
Legging av membran	0,003	Bygging -bro	0,003	0,376	2,22	0,0149	0,00686	0,00239	0,0046	0,00013	
Legging av slitelag	0,011	Bygging -bro	0,011	3,65	14,8	0,0597	0,0232	0,00813	0,0169	0,00059	
Trafikk	0	Drift -veilenke	0	3610	12000	82,8	7,71	354	54,7	5,39	
Snørydding	0	Drift -veilenke	0	1,83	6,02	0,0625	0,00524	0,0251	0,0118	0,0187	
Sandstrøing	0	Drift -veilenke	0	0,0738	0,246	0,00242	0,00022	0,00096	0,00046	0,00071	
Salting	0	Drift -veilenke	0	0,0965	0,594	0,00422	0,00177	0,0014	0,00063	0,001	
Trafikk	0	Drift -bro	0	2170	7170	49,9	4,63	207	32,5	3,23	
Snørydding	0	Drift -bro	0	1,1	3,61	0,0375	0,00314	0,0151	0,00708	0,0112	
Sandstrøing	0	Drift -bro	0	0,0443	0,148	0,00145	0,00013	0,00057	0,00028	0,00043	
Salting	0	Drift -bro	0	0,0579	0,356	0,00253	0,00106	0,0084	0,00038	0,0006	
Vedlikehold av slitelag	0,103	Vedlikehold -veilenke	0,103	35,2	143	0,576	0,224	0,0784	0,163	0,057	
Fresing	0	Vedlikehold -bro	0	0,195	0,667	0,00643	0,00066	0,00073	0,00097	0,0003	
Legging av slitelag	0,074	Vedlikehold -bro	0,074	25,8	105	0,422	0,164	0,0574	0,119	0,0417	
Vedlikehold av konstruksjon	0,175	Vedlikehold -bro	0,175	6,51	54,3	0,409	0,334	1,4	0,0759	0,046	
Totalt	7,28148		7,28148	6144,0182	23015,77	155,56919	27,07933	615,64585	92,3755	11,64671	

TEKNISK RAPPORT

TUNNELSYSTEM		tonn/funksjonell enhet									
Prosessenhet	Fase -subsystem	TJ/F.E.	Fossil en.	CO ₂	NO _x	SO _x	CO	C _x Hy	Partikler		
El.											
Boring	Bygging -tunnel	1,505	0	0	0	0	0	0	0		
Sprengning	Bygging -tunnel	0	0	0	0	0	0	0	0		
Masseforflytning	Bygging -tunnel	0	9,56	29,5	0,297	0,026	0,0493	0,0462	0,0281		
Bergsikring	Bygging -tunnel	0,358	20,7	315	1,7	0,802	2,62	0,43	0,287		
Injeksjonsmasse	Bygging -tunnel	0,014	0,134	20,5	0,0809	0,0354	0,0772	0,0258	0,0118		
Vann- og frostisolasjon	Bygging -tunnel	0,109	17,8	102	0,607	0,348	0,3	2,23	0,125		
Legging av bærelag	Bygging -tunnel	0,005	2,91	11,3	0,099	0,0184	0,033	0,022	0,0237		
Legging av slitelag	Bygging -tunnel	0,03	10,2	41,4	0,167	0,0648	0,0227	0,0471	0,0165		
Trafikk	Drift -tunnel	0	9000	29900	213	19,3	845	136	9,68		
Belysning, pumper og vifter	Drift -tunnel	124	0	0	0	0	0	0	0		
Fresing	Vedlikehold -tunnel	0	0,491	1,68	0,0162	0,0017	0,0018	0,0024	0,0007		
Legging av slitelag	Vedlikehold -tunnel	0,214	72,7	295	1,19	0,462	0,162	0,336	0,118		
Totalt		126,235	9134,495	30716,38	217,1571	21,0583	848,266	139,1395	10,2908		

TEKNISK RAPPORT

FERGESYSTEM		tonn/funksjonell enhet									
Prosessenhet	Fase -subsystem	TJ/F.E.	Fossil en.	CO ₂	NO _x	SO _x	CO	C _x Hy	Partikler		
		El.									
Rydding	Bygging -veilenke	0	0,0796	0,271	0,0025	0,00026	0,0003	0,0004	0,001		
Sprenging	Bygging -veilenke	0	0	0	0	0	0	0	0		
Masseforflytning	Bygging -veilenke	0	3,06	9,42	0,0949	0,0083	0,0149	0,0146	0,0082		
Legging av forsterkningslag	Bygging -veilenke	0	11,8	39,3	0,391	0,0349	0,154	0,0746	0,115		
Legging av bærelag	Bygging -veilenke	0,0072	4	15,6	0,136	0,0253	0,0454	0,0302	0,0326		
Legging av slitelag	Bygging -veilenke	0,0318	10,8	43,9	0,177	0,0686	0,0241	0,05	0,0175		
Sprengning	Bygging -kai	0	0	0	0	0	0	0	0		
Masseforflytning	Bygging -kai	0	0,174	0,535	0,0054	0,0005	0,0008	0,0008	0,0005		
Bygging av oppstillingsplass	Bygging -kai	0,01	5,68	20,7	0,153	0,026	0,0456	0,0324	0,0331		
Bygging av kaikonstruksjon	Bygging -kai	0,51	16,1	225	1,38	0,958	3,68	0,299	0,160		
Bygging av skrog	Bygging -ferge	3,71	91,9	724	5,68	4,99	21,1	1,01	0,616		
Bygging av delsystemer	Bygging -ferge	0,961	95,5	440	3,9	24,6	7,42	3,77	0,378		
Maling	Bygging -ferge	0,046	0	0,043	0	0,0002	0	0,199	0		
Påføring av bunnstoff	Bygging -ferge	0	0	0	0	0	0	0,336	0		
Trafikk	Drift -veilenke	0	3970	13200	91,1	8,48	390	60,2	5,93		
Snørødding	Drift -veilenke	0	1,99	6,62	0,0688	0,0058	0,0276	0,013	0,0205		
Sandstrøing	Drift -veilenke	0	0,132	0,443	0,0032	0,0004	0,0011	0,0007	0,0008		
Salting	Drift -veilenke	0	0,383	4,28	0,0229	0,0174	0,0060	0,0025	0,004		
Snørødding	Drift -kai	0	0,18	0,602	0,0063	0,0005	0,0055	0,0012	0,0019		
Sandstrøing	Drift -kai	0	0,012	0,04	0,0003	0	0,0001	0,0001	0,0001		
Salting	Drift -kai	0	0,0342	0,389	0,0021	0,0016	0,0005	0,0002	0,0004		
Strømforsbruk på kai	Drift -kai	3,66	0	0	0	0	0	0	0		
Seiling	Drift -ferge	0	10800	36100	553	41,8	32,2	61,7	8,81		
Bunnstofflekkasje	Drift -ferge	0	0	0	0	0	0	0	0		
Vedlikehold av slitelag	Vedlikehold -veilenke	0,1144	38,7	157,3	0,634	0,246	0,0585	0,178	0,0638		
Vedlikehold av skrog	Vedlikehold -ferge	0	0,086	0,086	0,0009	0,0006	0,0001	1,82	0,181		
Totalt		9,0504	15050,6108	50988,529	656,7583	81,26436	454,7845	129,7327	16,3744		

TEKNISK RAPPORT

SYSTEM FOR KJØRING RUNDT FJORDEN		tonn/funksjonell enhet										
En avstand A-B (3,2 km)		TJ/F.E.										
Prosessenhet	Fase -subsystem	El.	Fossil en.	CO ₂	NO _x	SO _x	CO	C _x Hy	Partikler			
Rydding	Bygging -veilenke	0	0,116	0,394	0,0036	0,0004	0,0004	0,006	0,0002			
Sprenging	Bygging -veilenke	0	0	0	0	0	0	0	0			
Masseforflytning	Bygging -veilenke	0	4,46	13,7	0,138	0,0121	0,0216	0,0213	0,012			
Legging av forsterkningslag	Bygging -veilenke	0	17,2	57,1	0,568	0,0507	0,225	0,109	0,167			
Legging av bærelag	Bygging -veilenke	0,0066	5,82	22,7	0,198	0,0368	0,066	0,0439	0,0475			
Legging av slitelag	Bygging -veilenke	0,0289	15,7	63,8	0,257	0,1	0,035	0,0727	0,0255			
Trafikk	Drift -veilenke	0	5540	18300	127	11,9	525	82,7	8,54			
Snørydding	Drift -veilenke	0	2,89	9,63	0,1	0,0084	0,0401	0,019	0,0299			
Sandstrøing	Drift -veilenke	0	0,193	0,645	0,0046	0,0006	0,0016	0,001	0,0012			
Salting	Drift -veilenke	0	0,557	6,22	0,0334	0,0254	0,0087	0,0037	0,0057			
Vedlikehold av slitelag	Vedlikehold -veilenke	0,166	56,3	229	0,922	0,358	0,125	0,261	0,0912			
Totalt		0,2015	5643,236	18703,189	129,2246	12,4924	525,5234	83,2376	8,9202			

- 000 -

