



Statens vegvesen

# Metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter

R A P P O R T

Utbyggingsavdelingen

nr. 2009/11



Vegdirektoratet  
Utbyggingsavdelingen  
Transportanalyseseksjonen  
Desember 2009



## Forord

Dette arbeidet er en videreføring av forprosjektet *Metode for beregning av energibruk og klimagassutslipp for vegprosjekter* (2009). Prosjektet er initiert av Utbyggingsavdelingen i Vegdirektoratet på bakgrunn av signaler gjennom blant annet Stortingets klimaforlik av 17. januar 2008. Arbeidet er blitt utført av en prosjektgruppe bestående av:

Kjell Ottar Sandvik (leder)	- Transportanalyseseksjonen
Anne Kjerkreit	- Transportanalyseseksjonen
Johanne Hammervold	- Transportanalyseseksjonen
Wenche Kirkeby	- Miljøseksjonen
Jan Egil Eilertsen	- Byggherreseksjonen
Otto Kleppe	- Bruseksjonen
Edvard Thonstad Sandvik	- Veg- og ferjeseksjonen
Even K. Sund	- Veg- og ferjeseksjonen

Rapporten er skrevet av Johanne Hammervold.

Det er utviklet en metodikk for beregning av energibruk og klimagassutslipp i nye vegprosjekter for implementering i nytte-kostnadsanalyseverktøyet EFFEKT. Arbeidet har bestått i å utvikle metoder for å beregne material- og energiforbruk knyttet til bygging av vegprosjekter og drift og vedlikehold av disse gjennom 25 år. Videre er det utarbeidet en database med klimagassutslippskoeffisienter for disse ulike materialene og energibærerne som inngår.

Høsten 2009 ble det igangsatt et samarbeid mellom Jernbaneverket, Kystverket, Avinor og Statens Vegvesen om utvikling av en felles metodikk for beregninger av klimagassbudsjett for nye utbyggingsprosjekter. Dette arbeidet vil fortsette utover i 2010, og kan medføre behov for justering i metodikken utviklet innen dette prosjektet.

Transportanalyseseksjonen  
Desember 2009



Jan A. Martinsen  
Seksjonsleder



## Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammendrag .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn.....</b>	<b>7</b>
2.1	Rammeverk .....	7
<b>3</b>	<b>Livsløpsanalyse .....</b>	<b>9</b>
3.1	Definering av mål og omfang.....	9
3.2	Datainnsamling for alle prosesser gjennom livsløpet .....	9
3.3	Klassifisering av utslipp i egnede påvirkningskategorier .....	10
3.4	Normalisering og vekting .....	10
<b>4</b>	<b>Litteraturstudie .....</b>	<b>11</b>
4.1	Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge .....	11
4.2	Livsløpsanalyse av veg.....	14
4.3	Energibruk og klimagassutslipp for 1 km veg .....	15
4.4	Energi- og klimagassutslipp ved nye transportsystemer .....	16
4.5	ETSI – LCA på bruer .....	17
<b>5</b>	<b>Systemavgrensning.....</b>	<b>19</b>
5.1	Mål og omfang .....	19
5.2	Datainnsamling.....	21
5.2.1	Forgrunnssystemet .....	21
5.2.2	Bakgrunnssystemet.....	21
5.2.3	Klimagasser og energibruk.....	23
5.2.4	Geografisk avgrensning.....	24
5.2.5	Valg av elektrisitetsmiks .....	24
<b>6</b>	<b>Klimagassutslipp for et bygd vegprosjekt.....</b>	<b>31</b>
6.1	Inndata .....	32
6.2	Resultater.....	35
6.3	Usikkerheter og følsomhetsanalyse.....	39
6.4	Konklusjon .....	41
<b>7</b>	<b>Beregningsmetoden .....</b>	<b>43</b>
7.1	Material- og energiforbruk .....	43
7.1.1	Veg i dagen.....	43
7.1.2	Tunneler .....	44
7.1.3	Bruer.....	46
7.1.4	Ferger .....	50
7.2	Miljødata .....	51
7.2.1	Asfalt .....	51
7.2.2	Pukk.....	51
7.2.3	Asfaltert grus .....	51
7.2.4	Sprengstein .....	51
7.2.5	Asfaltmembran .....	52
7.2.6	Stål.....	52
7.2.7	Betong .....	52
7.2.8	Armering .....	52

7.2.9	PE-skum .....	52
7.2.10	Sprengstoff .....	52
7.2.11	Aluminium .....	52
7.2.12	Maling .....	52
7.2.13	Kobber .....	53
7.2.14	Plast .....	53
7.2.15	Transportarbeid .....	53
7.2.16	Diesel.....	53
7.2.17	Elektrisitet .....	53
7.3	Beregningsmetodikk.....	53
<b>8</b>	<b>Usikkerheter .....</b>	<b>55</b>
8.1	Forgrunnssystemet .....	55
8.1.1	Veg i dagen.....	56
8.1.2	Tunnel.....	56
8.1.3	Bru .....	57
8.1.4	Ferge.....	57
8.2	Bakgrunnssystemet.....	58
8.3	Resulterende usikkerhet .....	58
<b>9</b>	<b>Videre arbeid .....</b>	<b>59</b>
<b>10</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>61</b>

### Vedlegg

1. Beregningsmetodikk for mengder
2. Koeffisienter for energibruk og klimagassutslipp

# 1 Sammendrag

Det er utviklet en metodikk for beregning av energibruk og klimagassutslipp for nye vegprosjekter. Metoden omfatter material- og energibruk i bygge- og bruksfasen for vegprosjekter, med en analyseperiode på 25 år. Det er benyttet Livsløpsanalysemetodikk, det vil si at for materialene som inngår har man inkludert energibruk og klimagassutslipp som oppstår langs hele verdikjeden helt opp til råvareuttak. En fullverdig livsløpsanalyse (LCA – Life Cycle Assessment) inkluderer mest mulig miljøpåvirkninger (et bredt spekter av typer utslipp) og skal omfatte hele livsløpet fra råvareuttak til sluttbehandling ved slutten av levetiden. Metodikken utviklet her vil således ikke være en fullverdig LCA for vegprosjekter.

Ved opprettelse av koeffisienter for energibruk og klimagassutslipp for de ulike materialene som inngår, er Ecoinvent benyttet, dette er en eksisterende database med et svært bredt spekter av ulike typer utslipp for en rekke prosesser (materialer, energibærere, produkter, transportarbeid osv). De prosessene som er benyttet i dette prosjektet er tilpasset og analysert ved bruk av LCA-verktøyet SimaPro.

For elektrisitet er det benyttet nordisk produksjonsmiks i beregningene, både i direkte forbruk av elektrisitet i bygge- og driftsfasen, samt i produksjonsprosessene for materialene.

Beregningene gir totale resultater for energibruk og klimagassutslipp for vegprosjektet (-prosjektene) som analyseres, og det skilles ikke på hvor utslippene oppstår. Dette innebærer at det ikke er kun utslipp innenfor Norges grenser man kartlegger, men *totale globale* utslipp man vil få som en konsekvens av at vegprosjektet bygges. Dette i tråd med LCA-metodikk.

Rapporten er bygd opp ved å gi bakgrunnsinformasjon i starten, deretter følger beskrivelse av metodikken (resultater) og til slutt anbefalinger for videre arbeid. En kort presentasjon av kapitlene:

*Kapittel 2 Bakgrunn:* motivasjon for prosjektet og rammeverket som ligger til grunn for hvordan metodikken er utviklet.

*Kapittel 3 Livsløpsanalyse:* teori som ligger til grunn for denne typen analyser, med utgangspunkt i ISO standard 14040.

*Kapittel 4 Litteraturstudie:* presentasjon av tidligere nordiske studier på området.

*Kapittel 5 Systemavgrensning:* metodikk benyttet i prosjektet, svarer til teorien på livsløpsanalyse som er gitt i Kapittel 3.

*Kapittel 6 Klimagassutslipp for et bygd vegprosjekt:* presentasjon av en analyse som er utført på et ferdigstilt vegprosjekt, der hensikten har vært å identifisere hvilke materialer som er av størst betydning.

*Kapittel 7 Beregningsmetoden:* metodikk for beregning av material- og energiforbruk i vegprosjekter og beregning av koeffisienter for energibruk og klimagassutslipp for de relevante materialene.

*Kapittel 8 Usikkerheter:* usikkerheter knyttet til ulike aspekter ved metodikken.

*Kapittel 9 Videre arbeid:* anbefalinger på forbedringer og utvidelser av metodikken.





## 2 Bakgrunn

Prosjektet *Metode for beregning av energibruk og klimagassutslipp for vegprosjekter* ble initiert av Utbyggingsavdelingen i 2008, på bakgrunn av signaler gjennom blant annet Klimaforliket 17. januar 2008: ”I forbindelse med rullering av *Nasjonal Transportplan 2010-2019* skal det så langt det er mulig foreligge et karbonbudsjett knyttet opp til alle større prosjekter som synliggjør effekten prosjektene og planen som helhet vil ha på de nasjonale klimagassutslippene”. Gjennom et forprosjekt (Sandvik, 2009) ble relevant arbeid både innad i etaten og eksternt (også internasjonalt) kartlagt, og det ble gitt en anbefaling av metode for videre arbeid. Beregningsmetoden skal være en utvidelse av beregningene som utføres i EFFEKT per i dag. Det vil si at i tillegg til klimagassutslipp knyttet til trafikk på vegen etter åpning skal en få beregnet klimagassutslipp knyttet til bygging og drift/vedlikehold av infrastrukturen, så langt som mulig med grunnlag i beregninger og data allerede integrert i EFFEKT.

Samferdselsdepartementet har bedt alle transportetatene om rapportering av endring i klimagassutslipp som følge av store investeringsprosjekter innen samferdsel. Det er på bakgrunn av dette satt i gang et samarbeidsprosjekt mellom Jernbaneverket, Avinor, Kystverket og Statens vegvesen. Målet med dette samarbeidet er å samkjøre metodikken som skal benyttes til beregning av klimagassbudsjettene, slik at resultater fra alle transportetatene blir sammenlignbare. Dette prosjektet skal ferdigstilles i løpet av 2011.

### 2.1 Rammeverk

Det har vært et mål for utviklingen av beregningsmetoden at den skal inkluderes i EFFEKT, med minst mulig behov for bruker for å legge inn mer data enn det som gjøres per i dag. Beregningene skal ikke kreve mer detaljerte data enn det utreder normalt besitter når konsekvensutredning foretas på kommunedelplannivå. Systemgrenser for material- og energibruk vil derfor bli en avveining mellom brukervennlighet og datatilgjengelighet for utredere på den ene siden og detaljeringsgrad (og dermed nøyaktighet) i beregningene på den andre siden.

Metodikken som er utviklet i dette prosjektet kan avvike fra metodikken man kommer fram til i samarbeidet med de andre transportetatene. Det er likevel valgt å ferdigstille egen metodikk for inkludering i EFFEKT for å få systemet på plass og testet. Behov for eventuell senere modifisering øker kravet til grundig dokumentasjon av metodikken som er valgt i dette prosjektet.

Beregninger av energiforbruk og klimagassutslipp skal gjøres med LCA-metodikk. Metoden åpner for en senere inkludering av flere miljøpåvirkningskategorier utover global oppvarming. En LCA inkluderer miljøpåvirkninger som oppstår gjennom hele livsløpet til produktet man analyserer. Teorien rundt dette presenteres i et eget kapittel.



### 3 Livsløpsanalyse

Livsløpsanalyse (LCA – Life Cycle Assessment) er en metodikk for beregning av miljøpåvirkninger knyttet til for eksempel et produkt gjennom hele dets livsløp. Livsløpet spenner fra uttak av råvarer, foredling/produksjon, bruk og til avhending ved slutten av produktets levetid (gjenbruk/resirkulering/deponering). Analysen skal også inkludere transport mellom disse ulike fasene/prosessene. Videre følger en kort beskrivelse av gjennomføring av en LCA. Hvordan metodikken benyttes i vegplanlegging er beskrevet senere i rapporten.

#### 3.1 *Definering av mål og omfang*

Målet med analysen bør defineres tidlig, dette vil påvirke metodiske valg i den videre gjennomføringen av analysen. Eksempler på mål kan være identifisering av hvilke deler eller livsfaser i et produkt som bidrar mest til miljøpåvirkningene, som et ledd i en potensiell forbedring av produktet. Et annet mål kan være sammenligning av ulike produksjonsmetoder eller materialvalg (evt. ulike design), som grunnlag for fremtidige valg. Man kan også sammenligne miljøprestasjon for ulike produkter som oppfyller samme behov/funksjon.

I definering av omfang av studiet settes grenser for hva man skal inkludere og hva man velger å utelate. Dette gjelder livsfasene til produktet, detaljeringsgrad i material- og energibruk, miljøpåvirkninger man ønsker å inkludere, kilder og kvalitetskrav for data med mer.

I starten av analysen skal man også definere *funksjonell enhet*. Denne skal reflektere funksjonen eller servicen produktet oppfyller og gi anledning til sammenligning av flere alternativer. For eksempel om man ønsker å sammenligne flere alternative transportmidler, bør den funksjonelle enhet representere transport av et bestemt antall personer over en bestemt distanse begrenset i tid. For eksempel kan en slik funksjonell enhet være; *transport av én person fra Drammen sentrum til Oslo sentrum hver arbeidsdag gjennom ett år*. Denne funksjonelle enheten åpner for sammenligning av ulike alternativer for pendling mellom Drammen og Oslo, som for eksempel med tog, buss eller personbil. Dersom man ønsker å sammenligne ulike trasévalg for veg mellom to bestemte steder, vil funksjonell enhet defineres ved geografisk avgrensning (veg fra sted A til sted B), en gitt trafikkmengde og et gitt trafikkmønster (ÅDT og andel tungtrafikk i år 0, eventuelt med årlig fremtidig utvikling) og tidsmessig avgrensning (møte de gitte krav gjennom en viss tidsperiode, for eksempel 25 år).

#### 3.2 *Datainnsamling for alle prosesser gjennom livsløpet*

I tråd med mål og omfang kartlegges livsløpet til produktet. Alle relevante prosesser inkluderes og beskrives. For hver av disse kvantifiseres forbruk av produkter, materialer og energi, generert avfall samt utslipp av ulike stoffer til jord, luft og vann. Utslippsdataene summeres over hele livsløpet, per funksjonelle enhet. Dette krever konsekvent behandling av dataene, slik at aggregering fra enkeltprosesser i livsløpet til totale utslipp per funksjonelle enhet blir mulig.

Data kan fremskaffes fra ulike kilder; produsenter, leverandører, miljørapporteringer, bedriftsstatistikk eller offentlig statistikk, tidligere LCA-studier, LCA-ekspertise, LCI<sup>1</sup>-databaser osv.

### **3.3 *Klassifisering av utslipp i egnede påvirkningskategorier***

En liste med samlede utslipp for en rekke stoff vil være lite håndterbare, spesielt om man ønsker å sammenligne flere alternativer. Stoffene kan sorteres i kategorier, etter hvilken miljøpåvirkning de bidrar til. For eksempel vil CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub> sortere under global oppvarming. Noen stoffer kan bidra til flere enn én miljøpåvirkning. For å legge sammen ulike stoffer innen hver kategori, benyttes ekvivalenter, og de andre stoffene adderes med karakteriseringsfaktorer etter hvor mye de bidrar til miljøpåvirkningen i forhold til ekvivalenten. For eksempel for global oppvarming er CO<sub>2</sub> benyttet som ekvivalent, og CH<sub>4</sub> har en karakteriseringsfaktor på 23, da denne påvirker klimaendringene 23 gang mer enn CO<sub>2</sub> (på vektbasis) når en benytter et tidsperspektiv på 100 år. Karakteriseringsfaktorer er utviklet ut fra naturvitenskapelig kunnskap som miljøkjemi, atmosfærisk kjemi, toksikologi og økologi.

### **3.4 *Normalisering og vektning***

Man har mulighet til å forenkle resultatene ytterligere, ved å normalisere og vekte resultatene i de ulike påvirkningskategoriene, slik at en til slutt sitter igjen med én enkelt score på ett produkts miljøprestasjon. Dette er ikke aktuelt for dette prosjektet, da det kun er én kategori inkludert. Normalisering og vektning blir dermed ikke nærmere forklart her.

---

<sup>1</sup> LCI: Life Cycle Inventory: liste (inventar) over energi- og materialbruk samt utslipp i alle prosesser gjennom livsløpet til ett eller flere produkt

## 4 Litteraturstudie

Tidligere nordiske livsløpsstudier på veier er gjennomgått og presenteres her.

### 4.1 *Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge*

Statens vegvesen; Bruavdelingen og Det Norske Veritas, 2000

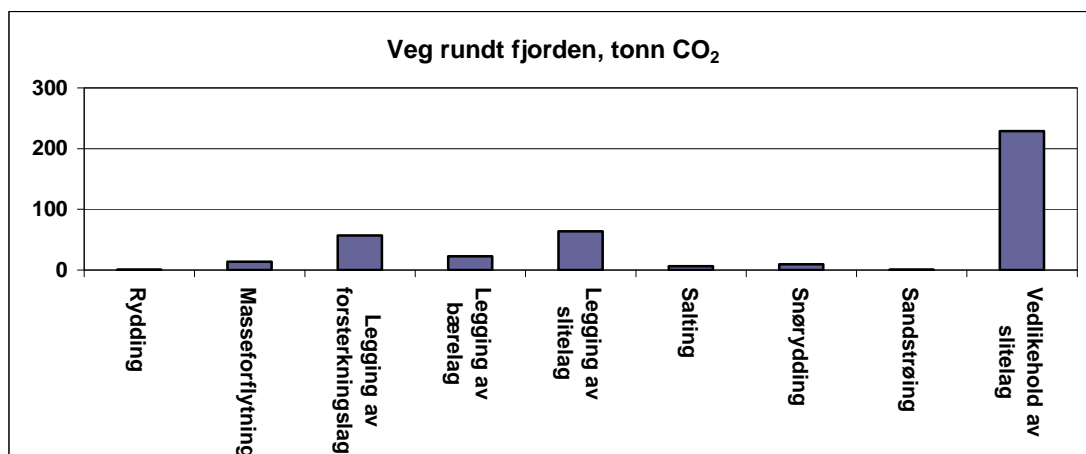
*Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge* er tre alternative krysninger av en fjord, samt kjøring rundt fjorden, sammenlignet når det gjelder miljøbelastning. Funksjonell enhet er *Fjordkrysning for en årsdøgnstrafikk på 3000 enheter i 25 år*. Alle alternativene har samme start- og stoppsted (ved tunnelåpningene, et strekk på 3,2 km), slik at for alternativet *Bro* og *Ferge* vil noe veg på hver side være inkludert. *Veg rundt fjorden* er også analysert med denne avstanden, og man kan sammenligne denne løsningen ved å multiplisere opp til faktisk lengde rundt en bestemt fjord. Utslipp relatert til material- og energibruk i byggefasen er inkludert i forhold til levetid og analyseperiode. Det vil si at for bro er utslippene knyttet til byggefasen dividert med 100 som er levetiden for bro, og så multiplisert med 25 som er analyseperioden. Levetider for de ulike elementene; veglenke 50 år, bro og tunnel 100 år og ferge 40 år. Trafikken i bruksfasen er inkludert, og denne dominerer resultatene i stor grad. Trafikk-resultatene er utelatt her, for å synliggjøre miljøeffekten til konstruksjonene. Studien har benyttet ren vannkraft for elektrisitetsproduksjon, og ingen utslipp er knyttet til elektrisitetsforbruket.

Totale CO<sub>2</sub>-utslipp for de ulike alternativene i tonn:

	ekskl. trafikk	inkl. trafikk
Veg rundt fjorden:	403,2	18 703,2
Tunnel:	816,4	30 716,4
Ferge:	1 688,3	50 988,6 (drivstoff ferge inkl. her)
Bru:	3 844,9	23 015,8

#### **Veg rundt fjorden**

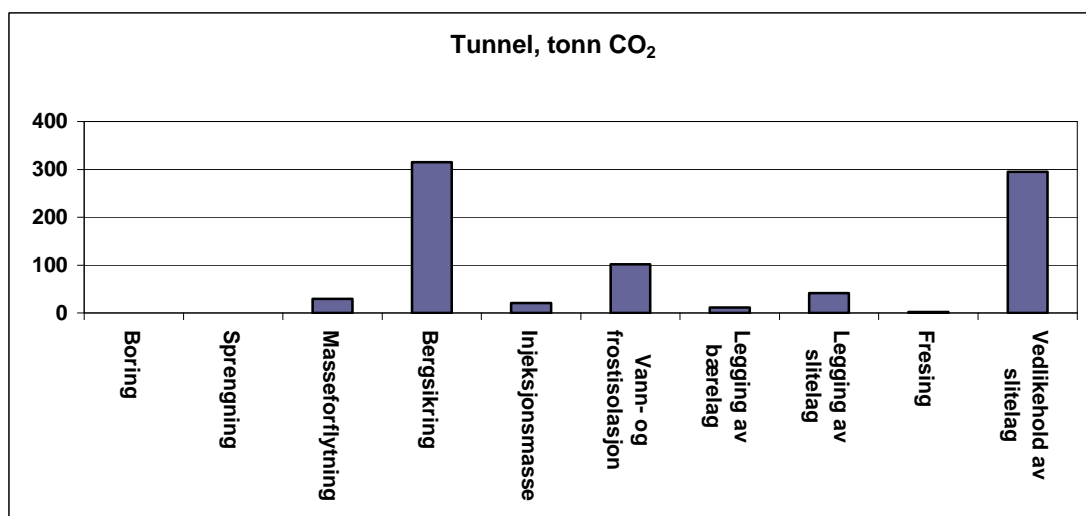
Resultatene for alternativet *veg rundt fjorden* viser at størstedelen av utslippene er relatert til slitelaget (legging og vedlikehold av slitelag representerer 72,6 % av utslippene). Legging av forsterkningslag representerer 13,7 % av utslippene, legging av bærelag 5,6 % og masseforflytning 3,4 %. Resterende parametre bidrar i svært liten grad (under 2 %).



Figur 1: CO<sub>2</sub>-utslipp for alternativet Veg rundt fjorden

### Tunnel

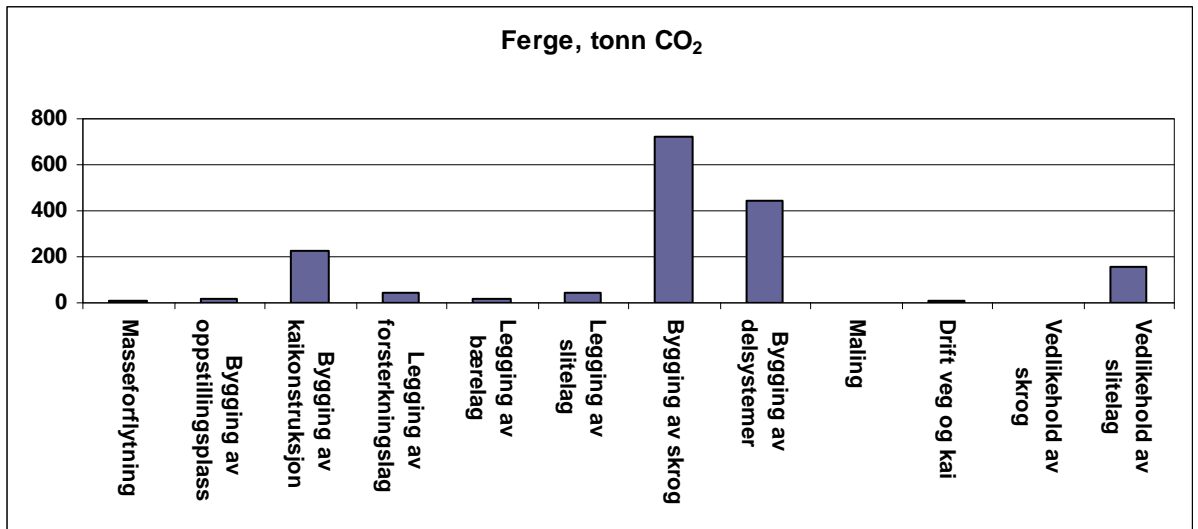
Legging og vedlikehold av slitelag bidrar med 41,2 % av utslippene. Bergsikring bidrar med 38,6 % (inkluderer 60 tonn stålbolter og 2 000 tonn betong per km tunnel). Vann- og frostisolasjon bidrar med 12,5 % og masseforflytning med 3,6 % (masseforflytningen er antatt en distanse på 2 km). De resterende parametrene bidrar med 2,5 % eller mindre hver. Boring og sprengning bidrar ikke til CO<sub>2</sub>-utslipp.



Figur 2: CO<sub>2</sub>-utslipp for alternativet Tunnel

### Ferge

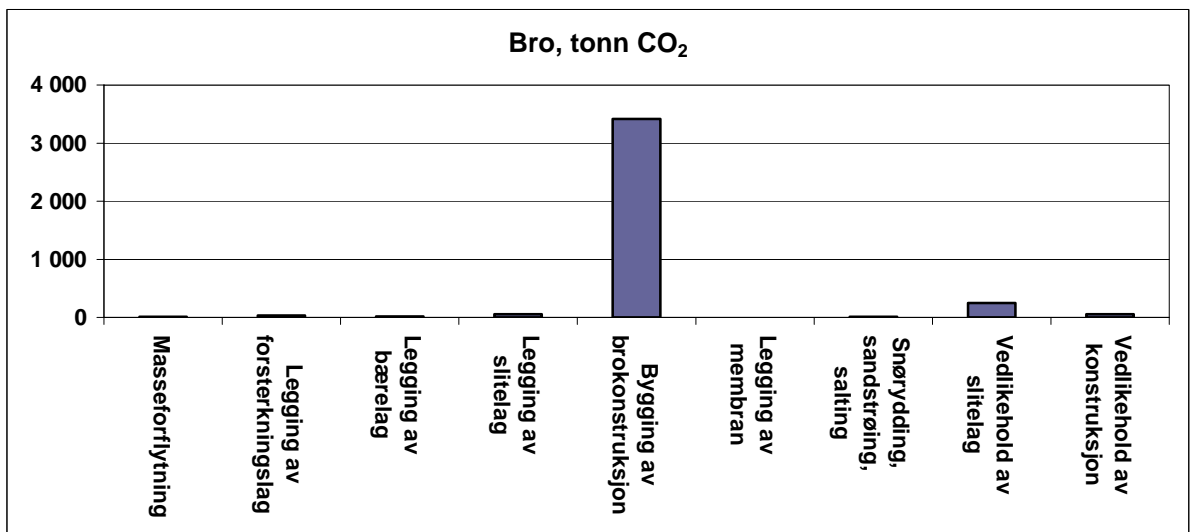
Bygging av skrog og delsystemer bidrar med henholdsvis med 42,9 % og 26,1 % av de totale utslippene. Bygging av kaikonstruksjon bidrar med 13,3 %. Legging og vedlikehold av slitelag bidrar med 2,6 % og 9,32 %. De resterende parametrene bidrar med 2 % eller mindre hver til totalen.



Figur 3: CO<sub>2</sub>-utslipp for alternativet Ferge

### Bru

Bygging av brukonstruksjonen bidrar med 95 % av totalutslippene. Vedlikehold av slitelaget bidrar med 2,9 %. Resten bidrar med 1,5 % eller mindre.



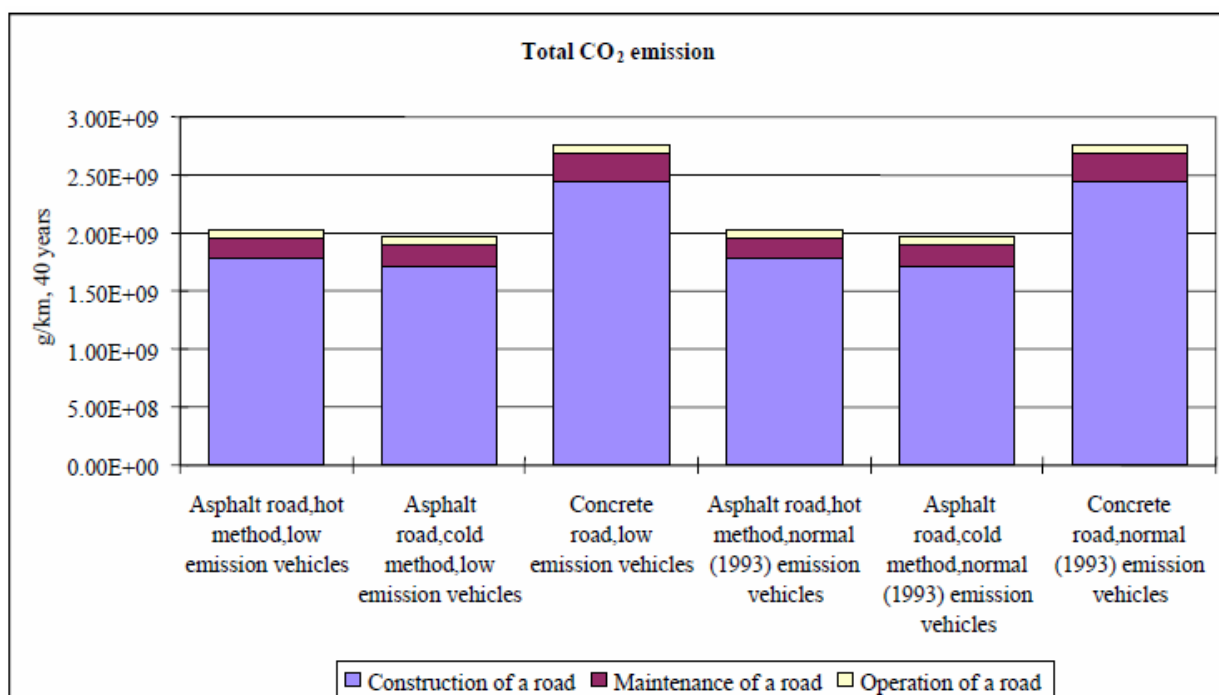
Figur 4: CO<sub>2</sub>-utslipp for alternativet Bru

## 4.2 Livsløpsanalyse av veg

*Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis*  
Håkan Stripplé, Sweden Environmental Research institute, 2001

Denne studien sammenligner 3 alternative vegdekker; betong, varmprodusert asfalt og kaldprodusert asfalt. Levetiden for vegstrekket på 1 km med 13 meters bredde er satt til 40 år. Studien omfatter byggefasen og drift og vedlikehold gjennom levetiden. Det er i tillegg sett på 2 alternativer for dieselmotorer i anleggsmaskineriet for alle 3 dekkealternativene; konvensjonell dieselmotor og moderne lavutslipps dieselmotor (sistnevnte er antatt å ha halvparten så stort utslipp av NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> sammenlignet med konvensjonell dieselmotor, CO<sub>2</sub>-utslippene er lik for de to motoralternativene). Kun resultater for energibruk og klimagassutslipp knyttet til de ulike dekketyperne omtales her.

I konstruksjonsfasen er det høyest energibruk og klimagassutslipp for betongdekket. Kaldprodusert asfalt har lavest energibruk og klimagassutslipp i konstruksjonsfasen. Energibruken i driftsfasen er hovedsakelig knyttet til vegbelysning og trafikkregulering. Resultatene er vist i Figur 5, hvor man for eksempel kan se at totale utslipp for varmprodusert asfalt er i overkant av 2 000 tonn CO<sub>2</sub>.



Figur 5: CO<sub>2</sub>-utslipp for 3 alternative vegdekker, hver med 2 alternativer for dieselmotorer<sup>2</sup>

Rapporten inneholder videre detaljert data på forbruk av materialer og energi i de ulike livsfasene for vegen, samt utslippsparametre for alle parametre som inngår (material- og energibruk).

<sup>2</sup> Figuren er kopiert fra rapporten til Stripplé



### 4.3 *Energibruk og klimagassutslipp for 1 km veg*

*Anlæg af 1 km motorvej = 1 030 tons CO<sub>2</sub> og 750 tons råolje – og meget mere*  
Harpa Birgisdottir, Dansk vejtidsskrift, december 2008

5 scenarioer for 11 km lang og 30,2 m bred vegstrekning (Danmark) er analysert:

- 1: Asfalt, tradisjonell oppbygning
- 2: Asfalt, med tynt slitelag (SRS)
- 3: Asfalt, med sementstabilisert grus som bærelag (CG)
- 4: Asfalt, med ”skærvemakadam”<sup>3</sup> som bærelag (SKM)
- 5: Betong, med sementstabilisert grus som bærelag (CB)

Byggefasen og drift gjennom en antatt levetid på 100 år er inkludert. Totale utslipp for de 5 scenarioene for veg er gjengitt i Tabell 1, her er ikke trafikken inkludert.

*Tabell 1: Totale utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de 5 scenarioene*

<b>Rang</b>	<b>Scenarie</b>	<b>CO<sub>2</sub>-ekvivalenter</b>
1	2: Asfalt, med tynt slitelag (SRS)	26 909 tonn
2	4: Asfalt, med ”skærvemakadam” som bærelag (SKM)	27 666 tonn
3	3: Asfalt, med sementstabilisert grus som bærelag (CG)	28 136 tonn
4	1: Asfalt, tradisjonell oppbygning	29 354 tonn
5	5: Betong, med sementstabilisert grus som bærelag (CB)	37 366 tonn

For scenario 1, tradisjonell motorveg, oppstår 40 % av drivhusgassutslippene i anleggsfasen og 60 % i driftsfasen (100 år). 55 % av utslippene er relatert til produksjon av asfalt (gjenbruk av 30 % asfalt inkludert). Dersom trafikken på vegen inkluderes (ÅDT 12 000, 15 % tungtrafikk, årlig trafikkvekst 1,5 %), vil 3 år med trafikk på vegen resulterer i utslipp like store som bygging og drift i 100 år.

<sup>3</sup> Kjenner ikke til tilsvarende ord på norsk

#### 4.4 **Energi- og klimagassutslipp ved nye transportsystemer**

*Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer. Effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge.*

Holger Schlaupitz, Norges Naturvernforbund, 2008

I dette arbeidet sammenlignes høyhastighetsbaner med personbiltrafikk, ekspressbusstrafikk og flytrafikk. Studien omfatter 4 hovedprosesser:

1. Energibruk i transportmidlene
2. Energiforbruk og klimagassutslipp fra produksjon og distribusjon av energien transportmidlene bruker.
3. Energiforbruk og klimagassutslipp fra bygging, drift og vedlikehold av transportmidlene
4. Energiforbruk og klimagassutslipp fra bygging, drift og vedlikehold av infrastrukturen som transportmidlene bruker.

Kun resultater knyttet til punkt 4 for veger omtales her. Tre vegkategorier er vurdert; tofeltsveg (9,5 m bred), to-/trefeltsveg (gjennomsnittlig 13 m bred) og firefeltsveg (19 m bred). Det er tatt antagelser på andeler av vegdistansen som er bru, tunnel (enkle eller doble løp), miljøtunnel eller har kryssende bruer. Det er videre foretatt antagelser på gjennomsnittlige masseuttak per vegmeter (dagstrekninger og tunneler) og gjennomsnittlig masseforflytningsdistanser. Tabell 2 gir totale utslipp knyttet til bygging, tapte karbonlagring, drift og vedlikehold gjennom en levetid på 100 år. Resultatet er gitt per meter og år, dvs utslipp relatert til byggingen er delt på 100.

Tabell 2: Totale årlige utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (tonn)

	Tofeltsveg	To-/trefeltsveg	Firefeltsveg
Dagstrekning	15,3	22,1	40,9
Tunnel	75,9	138,0	104,4
Vegbru	81,0	99,7	165,4
Kryssende bru	119,6	142,7	172,9

Driftsrelaterte utslipp er beregnet ut fra 2 definerte driftskategorier; *Drift 2020* og *Drift 2030*. Det er antatt en energieffektivisering på 10 % fra 2020 til 2030. Gjennom levetiden antas *Drift 2020* å representere de 10 første årene og *Drift 2030* de resterende 90 år.

For mer detaljerte resultater henvises det til rapporten.

#### 4.5 ETSI – LCA på bruer

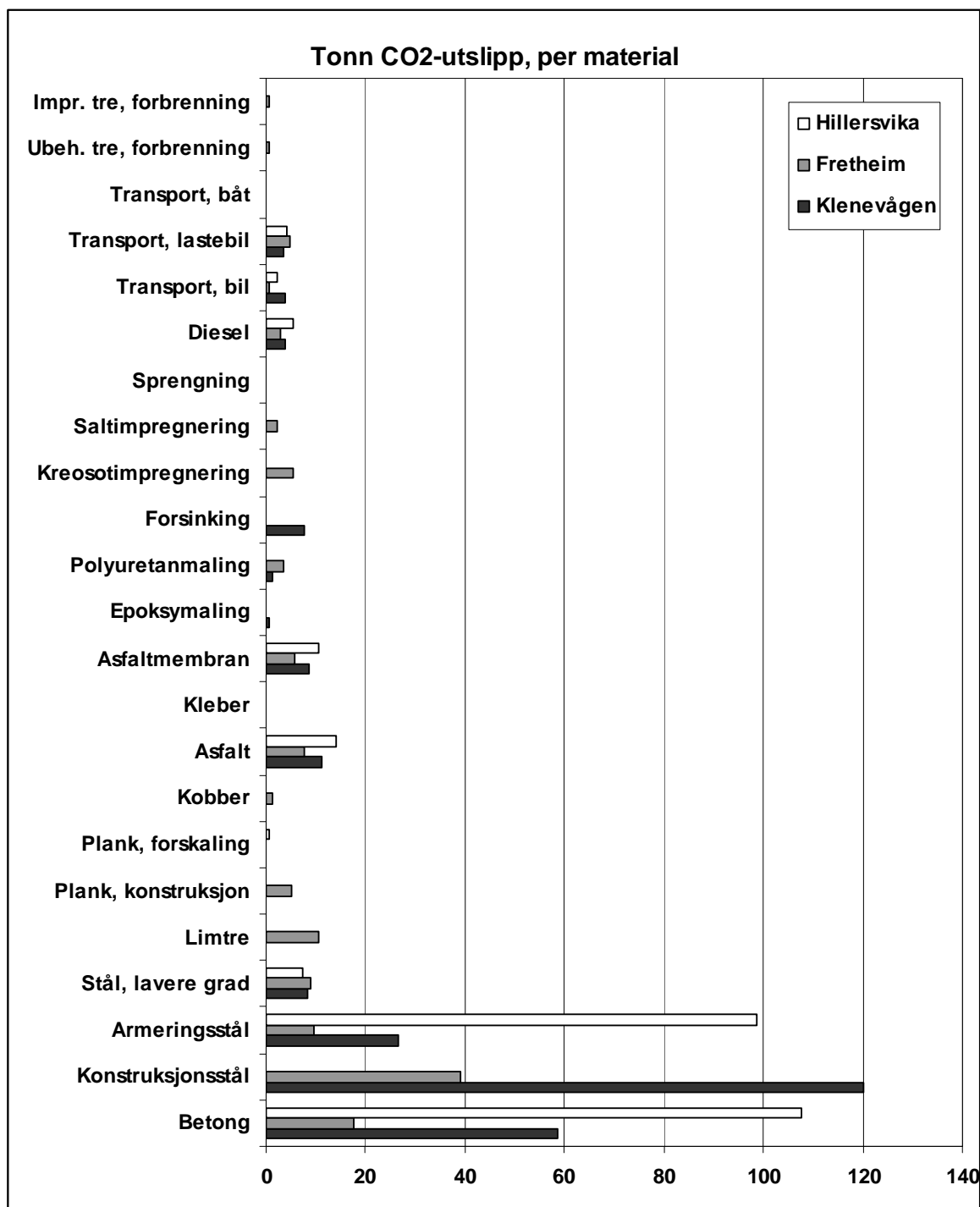
ETSI er et samarbeidsprosjekt mellom vegmyndighetene og noen universiteter i Norge, Sverige og Finland. Prosjektet omhandler utvikling av metodikk til vurdering av bruers bærekraftighet, med hensyn på kostnader, miljøpåvirkning og estetikk i et livstidsperspektiv. Den norske gruppa arbeidet med miljøpåvirkninger, og det ble i denne sammenheng foretatt en analyse på tre bruer; Klenevågen (stålkassebru), Fretheim (trebuebru) og Hillersvika (betongkassebru). Byggefasen og drift gjennom hele levetiden på 40 år er inkludert. Tabell 3 viser forbruket av materialer og energi som er inkludert i analysen av de tre bruene.

Tabell 3: Material og energibruk for Klenevågen stålkassebru, Fretheim trebuebru og Hillersvika betongkassebru.

		<b>Klenevågen</b>	<b>Fretheim</b>	<b>Hillersvika</b>
<b>Betong</b>	m3	225	67,5	413
<b>Konstruksjonsstål</b>	ton	67,2	21,9	0
<b>Armeringsstål</b>	ton	28	10	103,4
<b>Stål, lavere grad</b>	ton	7	7,5	6,2
<b>Limtre</b>	m3	0	59,4	0
<b>Plank, konstruksjon</b>	m3	0	56,4	0
<b>Plank, forskaling</b>	m2	130	45	400
<b>Kobber</b>	kg	0	654,1	0
<b>Asfalt</b>	m2	2 329	1570	2877
<b>Kleber</b>	m2	340	0	420
<b>Asfaltmembran</b>	m2	340	229	420
<b>Epoksymaling</b>	m2	820	15	0
<b>Polyuretanmaling</b>	m2	1 805	4 900	0
<b>Forsinking</b>	m2	1 232	0	0
<b>Kreosotimpregnering</b>	m3	0	58,2	0
<b>Saltimpregnering</b>	m3	0	68,3	0
<b>Sprengning</b>	kg	102	0	67,5
<b>Diesel</b>	l	748	551	1 036
<b>Transport, bil</b>	pkm	26 600	3 275	14 580
<b>Transport, lastebil</b>	tkm	13 250	19 535	13 993
<b>Transport, båt</b>	tkm	5 040	0	0
<b>Ubeh. tre, forbrenning</b>	ton	0	56,4	0
<b>Impr. tre, forbrenning</b>	ton	0	59,4	0

Figur 6 viser totale utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de 3 bruene, per material/prosess. I forhold til klimagassutslipp er de viktigste materialene betong, stål, armering, asfalt, asfaltmembran og limtre. Diesel (forbrent i anleggsmaskineri) bidrar ikke mye til totale klimagassutslipp, det samme gjelder transport av materialer (som her inkluderer transport til brustedet i byggefasen og transport av avfallsmaterialer til sluttbehandling etter riving av brua). Asfalt inkluderer her re-asfaltering av brua hvert 10. år, med 65 % av opprinnelig lagt mengde og bidrar

derfor merkbart til de totale utslippene. Asfaltmembran benyttes i svært små mengder (26 kg/m<sup>2</sup>, tykkelse 12 mm) men bidrar likevel merkbart til utslippene.



Figur 6: Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per materiale for hver bru

Totale klimagassutslipp for de 3 bruene per m<sup>2</sup> effektive bruoverflate er 770 kg for Klenevågen, 540 kg for Fretheim og 590 kg for Hillersvika.

## 5 Systemavgrensning

### 5.1 Mål og omfang

Målet for inkludering av energibruk og klimagassutslipp i konsekvensutredningen er å kunne inkludere dette aspektet i beslutningsgrunnlaget, dvs sammenligne ulike alternative vegtraséer med hensyn på klimapåvirkning. I et større perspektiv kan det også være ønske å få kvantifisert miljøpåvirkning for bygging, drift og vedlikehold av større prosjekter for innrapportering til Samferdselsdepartementet og/ eller Miljødepartementet. I så fall må imidlertid metodikken tilpasses slik at utslipp i andre land skilles ut.

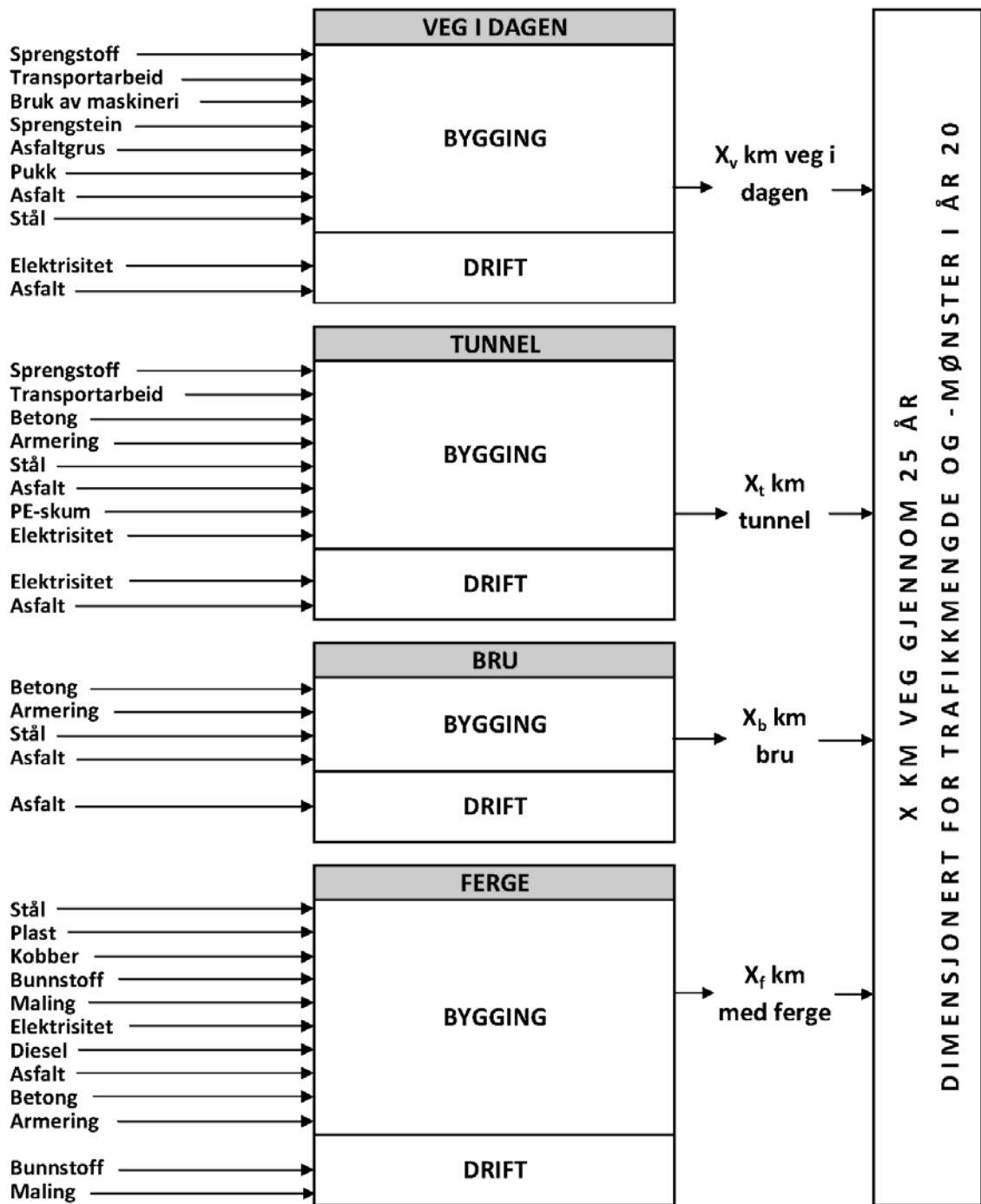
Et vegprosjekt kan inkludere veg i dagen, tunnel(er), bro(er) og/eller ferge(r), og beregningsverktøyet skal derfor dekke alle disse elementene. Figur 7 viser en oversiktsskisse av systemet:

et vegprosjekt med 2 livsfaser; byggefasen og bruksfasen som omfatter 25 år da dette er den vanlige analyseperioden i nytte-kostnadsberegningene i EFFEKT.

Den funksjonelle enhet for analysene her vil være *en vegstrekning mellom klart definerte start- og stoppunkt, bygd med utgangspunkt i et klart definert trafikkmonster i år 0*. Normalt vil beregningene i EFFEKT gjøres med samme prognoser for årlig vekst i trafikken i hele 25-års perioden for de ulike alternativene som utredes.

Ved bygging av veglenken vil store mengder materialer og energi forbrukes; som stein-, grus- og jordmasser, asfalt, diesel i anleggsmaskiner, eventuelt stål og betong i bro og/eller tunnel osv. Bruksfasen av veglenken inkluderer trafikk, drift og vedlikehold. Drift og vedlikehold omfatter energibruk til vegbelysning, pumping og ventilasjon i tunneler og re-asfaltering.

I bygging og bruk av vegprosjektet forbrukes materialer og energi. Framstilling av disse materialene inkluderer prosesser helt fra uttak av råmaterialer til ferdig material, med transport mellom de ulike prosessene/produksjonsstedene inkludert. Avgrensning på hvilke materialer og prosesser som skal inkluderes tas på grunnlag av hvilke materialer og prosesser som er de viktigste i forhold til klimagassutslipp, samt at en er begrenset når det gjelder hva en kan inkludere av materialer og prosesser ut fra hvilke data man normalt har tilgang på på kommunedelplannivå. Det er foretatt en analyse på et allerede utbygd vegprosjekt, for å kunne få kjennskap til hvilke materialer og prosesser som er av størst betydning samt hvilke som har liten betydning og kan utelates. Denne analysen presenteres i kapittel 6.



Figur 7: Oversikt over systemet for kvantifisering av materialmengder

## 5.2 *Datainnsamling*

Datainnsamling for systemet omfatter data om energi- og materialforbruk i bygge- og bruksfasen samt utslippsdata knyttet til produksjon av materialene som inngår.

*Forgrunnssystemet* er definert som forbruk i bygg- og bruksfasen, som for eksempel energibruk til legging av asfalt, antall kubikk sprengstein i forsterkningslaget per km veg, mengde sprengstoff benyttet per meter tunnel sprengt ut, antall kWh benyttet per år og per km til vegbelysning og så videre.

*Bakgrunnssystemet* omfatter produksjon av alle materialene som inngår, som asfalt, betong, armering osv. Her benyttes livsløpsdata, det vil si at produksjonen omfatter hele verdikjeden fra råvareuttak til ferdig produsert material klart til bruk i vegen.

Når det gjelder bakgrunnssystemet, kan en for en stor del benytte generiske data, som en finner for eksempel i eksisterende databaser. Det anbefales at disse dataene, spesielt når det gjelder de mest betydningsfulle materialene, tilpasses best mulig til norske forhold. Dette innebærer at en del spesifikke data må skaffes også for bakgrunnssystemet.

### 5.2.1 **Forgrunnssystemet**

Det tilstrebes å benytte spesifikke data for forgrunnssystemet, og disse skal representere norsk vegbyggingspraksis per i dag. Data her opprettes hovedsakelig i samarbeid med interne ressurser i Statens vegvesen og entreprenører.

### 5.2.2 **Bakgrunnssystemet**

Miljødata for materialer og energibærere som skal inkluderes i metodikken for vegprosjekter kan etableres på ulike måter. Man kan benytte allerede etablerte LCI<sup>4</sup>-databaser hvor en finner utslippsdata for mange typer materialer og prosesser. Slike databaser inneholder typisk LCI-data fra råvareuttak til ferdig produsert på fabrikk, klar til bruk. Det er ofte gjennomsnittsverdier for flere produksjonssteder som er benyttet, eller man har valgt ut ett produksjonssted som oppfattes som representativt for den teknologien. Noe data kan også være etablert ved bruk av litteratur. Slike databaser vil være steds- og tidsavhengige, da produksjonsteknologi vil variere med tid og sted. I og med at en ikke vil kunne finne prosesser som stemmer helt overens med eget studie, anbefales det å *ikke* benytte data direkte fra databaser for sammenligning av ulike alternativer. Data fra slike databaser bør derfor benyttes med forsiktighet og tilpasses analysens mål og omfang. Videre følger en beskrivelse av en kommersiell (ecoinvent) og en åpent tilgjengelig (GEMIS) database som er benyttet tidligere i norske studier. Ecoinvent benyttes av de fremste LCA-miljøene i Norge per i dag (Industriell Økologi ved NTNU, MISA, Stiftelsen Østfoldforskning, Cowi). GEMIS er benyttet i *Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer* (Schlaupitz 2008). Det er en rekke flere kommersielt tilgjengelige databaser på markedet, men de er ikke vurdert her.

---

<sup>4</sup> LCI: Life Cycle Inventory

### Ecoinvent

Databasen ecoinvent er utviklet av The Swiss Centre for Life Cycle Inventories, og inneholder over 4 000 datasett for produkter, tjenester og prosesser som ofte brukes i LCA-casestudier (Frishknecht et al 2003). Databasen er etablert med bidrag fra en rekke institusjoner og organisasjoner. Tabell 4 nedenfor er en oversikt over hvilke institusjoner som er ansvarlige for de ulike datasettene i databasen.

Tabell 4: Ansvarlige institusjoner for innhold i ecoinvent

Databasinnhold	Ansvarlig institusjon	Partnere
Energiforsyning Brennstoff Varmeproduksjon Elektrisitetsproduksjon	Paul Scherrer Institute	ESU-Services
Plastikk Papp og papir Basiske kjemikalier (I) Rensemiddel Avfallsbehandling	Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (EMPA), in St. Gallen	Doka Life Cycle Assessments, Chudacoff Ökoscience
Metaller Tre Bygningsmaterialer Basiske kjemikalier (II)	Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (EMPA), in Dübendorf	Chudacoff Ökoscience
Transportarbeid	Natural and Social Science Interface, Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ)	
Basiske kjemikalier (III)	Institute for Chemical and Bioengineering, Safety and Environmental Technology Group, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (ETHZ)	
Jordbruksprodukter og -prosesser	Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture (FAL)	Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT)

En administrasjonsgruppe har satt opp retningslinjer for kvalitetskontroll på LCI-dataene opprettet av de ulike institusjonene, for å forsikre seg om at alle de ulike datasettene holder samme standard og er konsekvente i forhold til språk og metodikk, og også kan benyttes sammen. Usikkerheter for alle inn- og utstrømmer er kvantifisert og lett tilgjengelige. Før innlemmelse av dataene i ecoinvent-databasen, gjennomføres en intern revisjon der man sjekker at dokumentasjonen dekker alt den skal, at man har overholdt retningslinjene for kvalitet, at dataene virker sannsynlige, at inn- og utstrømmer er komplette og at matematiske utregninger er korrekte.

LCA-programvaren SimaPro har ecoinvent-databasen integrert. Dette verktøyet oppfyller ISO 14040/44 som omhandler gjennomføring av LCA.



## GEMIS

GEMIS er et livsløpsanalyseprogram og database for energi-, material-, og transportsystemer. Programmet er gratis og åpent for nedlasting på internett. Programmet oppfyller ISO 14040/44 som omhandler gjennomføring av LCA (Martinopoulos et al, 2007).

Første versjon ble utviklet I 1987 – 1989 som et verktøy for komparative miljøanalyser, av *Öko-Institut and Gesamthochschule Kassel (GhK)*. Siden er verktøyet stadig blitt oppgradert og oppdatert. Dette arbeidet er sponset hovedsakelig av Miljøverndepartementet (Tyskland). GEMIS databasen omhandler:

- fossile brensler (kull, lignitt, naturgass, olje), fornybare, kjernekraft, biomasse og hydrogen (inkludert brenslers innhold, og oppstrøms data)
- prosesser for elektrisitet og varme (ulike kraftverk og lignende)
- materialer: rå- og basismaterialer, spesielt for konstruksjon (inkludert oppstrøms prosesser)
- transport: fly, sykler, busser, biler, rør, båter, tog, lastebiler (for diesel, bensin, elektrisitet, og biobrensler)

Dataene som ligger inne er i liten grad kvalitetssikret. I tillegg er det ingen mulighet for å se inn- og utstrømmene i de ulike prosessene (kun hovedmaterialet som brukes er listet, uten mengde). En har heller ingen mulighet til å tilpasse prosessene til egne behov.

## Konklusjon

Det er enighet i gruppa om å benytte Ecoinvent. Valget baseres på at denne databasen holder høyt kvalitetsnivå, inneholder data for svært mange prosesser, er transparent (alle inn- og utdata for alle prosesser kan ses, med mengder angitt) og man kan endre og tilpasse prosessene etter behov. I tillegg blir den oppdatert jevnlig.

### 5.2.3 Klimagasser og energibruk

Følgende klimagasser skal rapporteres inn til United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC);

- CO<sub>2</sub> - Karbondioksid
- CH<sub>4</sub> - Metan
- N<sub>2</sub>O - Nitrogenoksid
- PFCs - Perfluorkarboner
- HFCs - Hydrofluorkarboner
- SF<sub>6</sub> - Svovel hexafluorid

Tidligere analyser i ETSI-prosjektet tyder på at man oppnår tilstrekkelig nøyaktighet ved å inkludere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. Ved bruk av ecoinvent LCI-database, kan man enkelt inkludere alle klimagasser i resultatet, også flere enn dem FN opererer med. I og med at analyseverktøyet vil gi en svært grov miljøanalyse, anses det å være inkonsekvent å være svært nøyaktig i detaljene på klimagasser, når en vet at det for totale beregnede utslipp vil være en rimelig stor usikkerhet. Det ble derfor besluttet å inkludere kun de tre viktigste: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. I beregningene i EFFEKT av klimagassutslipp som følge av endring i trafikk inkluderes kun CO<sub>2</sub> og

N<sub>2</sub>O. Utslipp knyttet til infrastrukturen vil i tillegg inkludere CH<sub>4</sub>, da denne representerer større bidrag til klimagassutslippene enn N<sub>2</sub>O for de fleste materialene.

#### 5.2.4 Geografisk avgrensning

Ved å inkludere utslipp som oppstår gjennom hele verdikjeden til materialene vil også utslipp som oppstår utenfor Norges grenser komme med i totalresultatet, i og med at for enkelte materialer foregår produksjoner, eller deler av denne, utenfor Norge. Beregningsverktøyet utvikles i første omgang til å gi totale resultater, uten å skille på hvor i verden utslippene forekommer.

Produksjon av elektrisitet til forbruk i Norge er også et spørsmål om geografisk avgrensning, men der også andre aspekter spiller inn. Dette er derfor behandlet i et eget avsnitt.

#### 5.2.5 Valg av elektrisitetsmiks

Inkludering av elektrisitetsforbruk i livsløpsanalyser for norske forhold er et omstridt tema med ulik praksis, og det er et sterkt behov for retningslinjer for hvordan dette skal gjøres<sup>5</sup>. Dette vil være spesielt viktig i analyser av store offentlige prosjekter der flere fagmiljø er involvert.

Valg av ulike typer produksjonsmikser for elektrisitet vil ofte ha stor innvirkning på resultatene, og kan i mange tilfeller ha avgjørende betydning. Det er per i dag svært ulik praksis når det gjelder dette, eksempelvis i de mange klimakalkulatorer som er utviklet de senere år og som er tilgjengelig på nett. Utslippsfaktorene varierer fra 0 til 200 g CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh.

Dette avsnittet er først og fremst ment å belyse problemstillingene rundt valg av produksjonsmiks. Valg av produksjonsmiks i dette prosjektet må ikke ses på som endelig, men snarere som et utgangspunkt som er åpent for endring ved eventuelle senere føringer/anbefalinger.

Valg av produksjonsmiks omfatter flere aspekter, hvor de viktigste er analysens formål og geografisk avgrensning, som omfatter ulike beregningsmetoder. Disse vil gjennomgå i det følgende. Til slutt gis eksempler på metodikk benyttet i noen av klimakalkulatorene som er tilgjengelige på nett, samt en kort oppsummering.

##### Analysens formål

Valg av miks henger først og fremst sammen med hva slags type studie man skal gjennomføre. Livsløpsanalyse-teori beskriver to typer; deskriptiv og komparativ livsløpsanalyse (Weidema 1999). Hvilken type man benytter avhenger av formålet med analysen.

Formålet med *deskriptive analyser* (på engelsk: *retrospective LCA, accountancy type*) er å beskrive ett system eller ett produkt. Man beregner totale miljøpåvirkninger forårsaket gjennom livsløpet til systemet/produktet og

<sup>5</sup> Dette er for øvrig på plass i for eksempel Danmark

identifiserer hvilke deler av systemet/produktet og dets livsløp som forårsaker mest miljøpåvirkning (såkalte hot-spots). På denne måten er disse analysene retrospektive og det vil være naturlig å legge gjennomsnittsteknologi til grunn, som for eksempel et gjennomsnitt av produksjonen til elektrisitetsforbruk i Norge gjennom det relevante året. Her har man ulike valg på geografisk avgrensning, dette beskrives nærmere nedenfor.

Deskriptive analyser benyttes for eksempel til varedeklarasjon/miljømerking. *Komparative analyser* (på engelsk: *prospective LCA, comparative*) har som formål å se på konsekvensene av eventuelle fremtidige valg/endringer, enten innad i produksjonen av ett produkt eller som en sammenligning mellom flere produkter som oppfyller en definert funksjon lagt til grunn i studien (funksjonell enhet). Her vil det være riktig å benytte marginal teknologi, da det er denne som vil berøres i endring av etterspørsel som følge av endring i produksjon eller valg av ett produkt foran ett annet. Graden av endring i etterspørselen påvirker hva slags teknologi som representerer marginalteknologien, samt at stor endring i etterspørsel kan kreve mer samfunnsmessige endringer.

Komparative livsløpsanalyser benyttes til produktutvikling og i politikktutforming. Når det gjelder elektrisitetsproduksjon til forbruk i Norge, er det ikke entydig hva som kan anses som marginalteknologi. Ulike valg på geografisk avgrensning samt ulike tidsperspektiv vil spille inn ved en avgjørelse her.

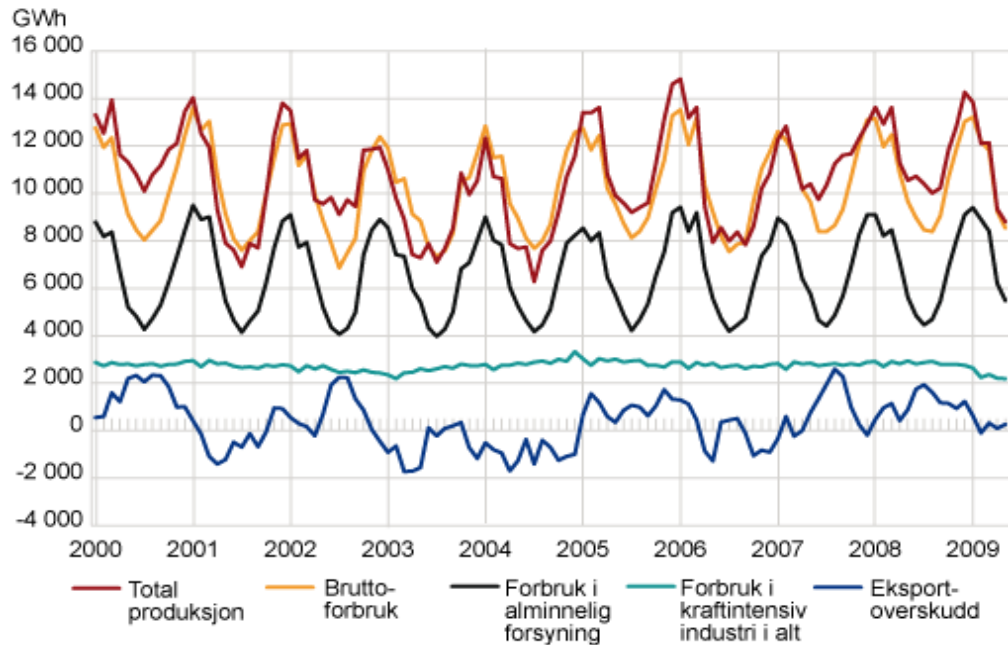
### **Geografisk avgrensning**

Nedenfor beskrives to alternativ for geografisk avgrensning; Norge og Norden. I tillegg beskrives et alternativ som er en kombinasjon av disse.

### **Norge**

Norsk produksjon og forbruk har de senere år ligget i omtrent samme størrelsesorden, med et noe lavere forbruk enn produksjon totalt for perioden, se Figur 8. Det er ikke uvanlig å se på norsk elektrisitetsforbruk som Norges samlede produksjon minus eksportoverskudd til de øvrige nordiske land. Denne tilnærmingen forutsetter at Norge er knyttet til det nordiske markedet, men at handelen og kraftoverførselen over grensene er svært begrensede.

### Produksjon, forbruk og eksportoverskudd av elektrisk kraft per måned. GWh

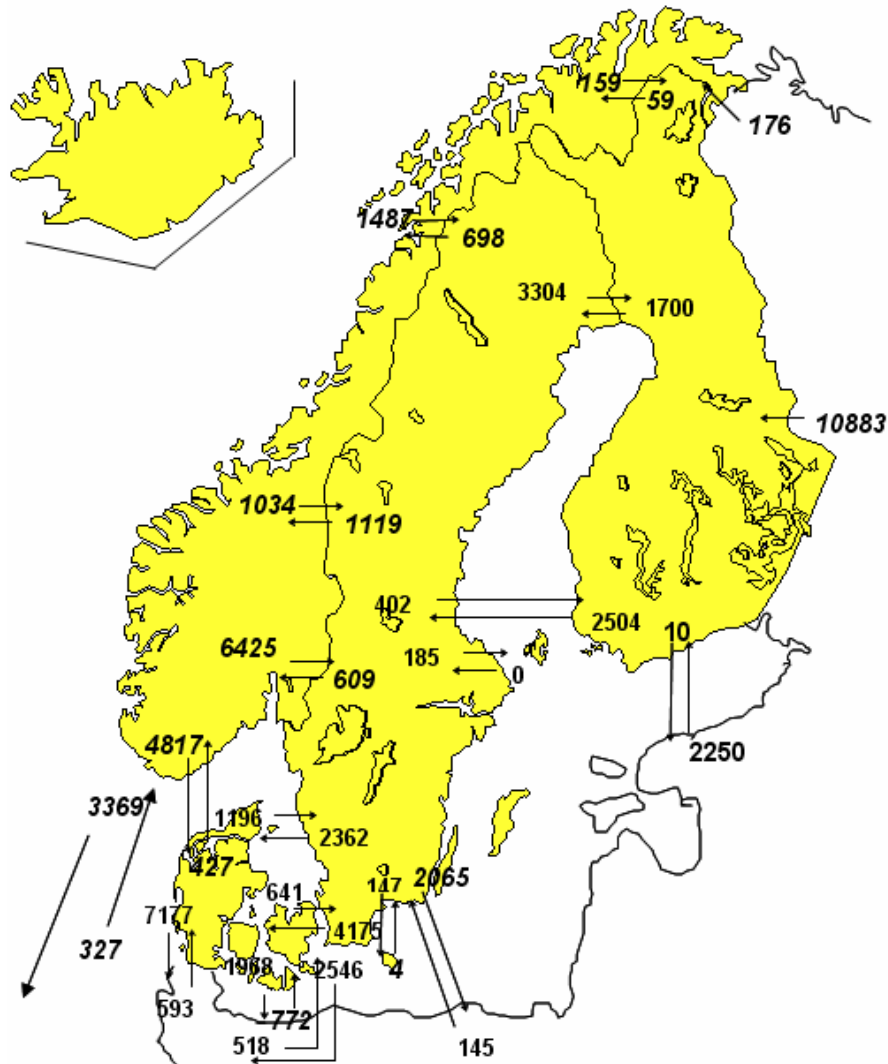


Figur 8: Statistikk for Norsk elektrisk kraft per måned, 1993 – 2009 (SSB)

### Norden

De nordiske landene Norge, Sverige, Finland og Danmark omsetter elektrisk energi gjennom Elspot, Nordpools felles spotmarked. På NVEs nettsider<sup>6</sup> rapporteres det om at en stadig større andel av kraftforbruket i Norden handles gjennom Elspot (60 % i 2006). Det felles kraftmarkedet er opprettet med den hensikt å sikre en sterkere leveringssikkerhet. All elektrisitet som produseres i Norden (med unntak av Island) er del av Nordpool, og forbruk ett sted i Norden kan ikke sies å være produsert fra én bestemt teknologi eller ett bestemt geografisk område. Med dette som bakteppe kan elektrisitetsforbruk i Norge ses på som samlet Nordisk produksjon pluss import og minus eksport fra omliggende land. Figur 9 viser utveksling av elektrisitet innen og over Nordens grenser.

<sup>6</sup> <http://nve.no/no/Kraftmarked/Engrosmarkedet/Spotmarkedet/>



Figur 9: Elektrisitetsutveksling for Norden 2008<sup>7</sup>, GWh

### Norge - Norden

Tabell 5 viser overføring av strøm mellom de 4 nordiske landene i årene 2001 til 2008. Denne typen statistikk kan være utgangspunkt i beregning av en produksjonsmiks av elektrisitet til norsk forbruk, og vil være en mellomting av de to tilnærmingene til geografisk avgrensning beskrevet ovenfor. Man kan ta utgangspunkt i ett år (evt. snitt over flere år) og beregne en produksjonsmiks ut fra norsk produksjon pluss import minus eksport fra hvert av de andre 3 landene. Produksjonsmiksen i importen fra de andre 3 landene kan være snittproduksjonen innen hvert av disse.

<sup>7</sup> <http://www.entsoe.eu/resources/publications/nordic/annualstatistics/> (Sheet S18)

Tabell 5: Elektrisitet til/fra de nordiske landene i GWh, 2001 - 2008<sup>8</sup>

	Fra Finland til Sverige	Fra Sverige til Finland	Fra Sverige til Danmark	Fra Danmark til Sverige	Fra Sverige til Norge	Fra Norge til Sverige	Fra Danmark til Norge	Fra Norge til Danmark	Fra Finland til Norge	Fra Norge til Finland
2001	2 599	5 072	3 145	2 241	7 527	5 186	2 787	1 942	232	33
2002	2 492	6 492	3 510	4 094	2 769	11 974	2 176	2 883	162	146
2003	7 250	846	1 413	7 484	8 599	4 794	4 526	708	165	84
2004	7 062	1 009	3 904	2 480	11 204	2 260	3 784	1 484	159	96
2005	1 394	7 193	7 692	759	2 836	10 816	470	4 712	131	164
2006	3 767	3 676	1 684	5 540	7 178	7 667	2 324	1 127	84	150
2007	3 690	4 213	5 039	2 462	3 826	11 144	1 159	3 974	110	202
2008	4 204	3 891	6 684	1 841	2 426	8 946	427	4 817	59	159

### Gjennomsnittsteknologi

Gjennomsnittsteknologi vil være produsert elektrisitet i det definerte geografiske området pluss import minus eksport over en gitt tidsperiode. Dette er typisk over ett år, men man kan også ta snitt over flere år. Dette kan være en fordel om en velger Norge som geografisk avgrensning, da mengde eksport eller import varierer relativt mye fra år til år. Ulike tilnæringer til beregningsmetodikk her er beskrevet mer utdypende i en masteroppgave i Industriell Økologi fra 2008 (Løseth 2008).

### Marginalteknologi

Med Norges grenser som geografisk avgrensning, kan marginalteknologi sies å være import/eksport fra/til andre nordiske land. Dette er ut fra at i denne tilnærmingen anses Norge som selvforsynt med elektrisitet, og benytter seg av import og eksport for å justere for differanse i produksjon og forbruk. Importert elektrisitet i denne sammenheng kan videre defineres på to måter;

1. En miks av all øvrig nordisk produksjon
2. Inndelt i import/eksport fra/til hvert av de øvrige nordiske land

Med Norden (unntatt Island) som geografisk avgrensning kan marginalteknologien defineres på flere måter avhengig av tidsperspektiv. I et svært kortsiktig tidsperspektiv vil en kunne benytte den produksjonen som slås av og på i takt med variasjoner i etterspørselen i markedet, såkalt regulerkraft. Typisk regulerkraft i det europeiske markedet er vannkraft og gasskraft på grunn av lave start-stopp-kostnader. Hvilken som benyttes til enhver tid vil avhenge av vannmagasinnyfylling samt el- og gasspriser.

I et langt tidsperspektiv vil marginalproduksjonen representeres ved hvilken ny teknologi det mest sannsynlig vil investeres i dersom ny kapasitet skal bygges ut (eventuelt hvilken teknologi man velger å fase ut dersom kapasiteten skal bygges ned). Et langt tidsperspektiv vil kunne innebære og benytte en miks av flere

<sup>8</sup> <http://www.entsoe.eu/resources/publications/nordic/annualstatistics/> (Sheet S21)

produksjonsteknologier for utbygging. Definerings av langsiktig marginalteknologi kan for eksempel gjøres på grunnlag av teknologi under utbygging per i dag eller ved bruk av prognoser for utbygging lengre frem i tid.

I et tidsperspektiv mellom de to beskrevet ovenfor, kan en se på marginalteknologi som den teknologien i øvrige nordiske land man erstatter ved norsk eksport, og motsatt den teknologien som kjøres ved import til Norge. For eksempel kan man svært forenklet si at på natten importerer vi kullkraft fra Danmark mens vi på dagen eksporterer vannkraft som erstatter gasskraft. Dette henger sammen med etterspørselsvariasjoner over døgnet, samt brenselpriser for de ulike teknologiene. Dyr gasskraft (brenselkostnad) kjøres på dagen da etterspørselen er høy, mens billig kullkraft kjøres på natten da etterspørselen er lav. Prisen på vannkraft avhenger av magasinifilling samt forventning i etterspørsel, og ligger i området mellom brenselkostnaden for gass og kull, og vil derfor som oftest lønne seg å selge på dagen og spare på natten.

### **Eksempler på benyttet metodikk i klimakalkulatorer**

Klimakalkulatoren til *Klimaløftet* benytter 14 g CO<sub>2</sub>/kWh. Dette er begrunnet med at Norge i et normalår importerer 6 TWh og produserer 120 TWh av ren vannkraft. Den egenproduserte delen antas utslippsfri. 65 % av importen på 6 TWh antas produsert av fossil energi.

Klimakalkulatoren på *Misa* sine nettsider (utviklet ved Program for Industriell Økologi, NTNU) benytter utslippdata for NORDEL, det nordiske kraftmarkedet. Denne ligger på omtrent 200 g CO<sub>2</sub>/kWh, avhengig av hvilket år som er benyttet som utgangspunkt. Dette begrunnes med at Norge er del av dette felles kraftmarkedet.

Klimakalkulatoren utviklet av *Vestlandsforskning* benytter 0 utslipp av klimagasser for elektrisitetsforbruk. Ingen dokumentasjon funnet.

Klimakalkulatoren på *SFT* benytter 50 g CO<sub>2</sub>/kWh. Utslippsfaktoren er basert på en livsløpsanalyse (LCA) for 2004 og 2005. Tallene er hentet fra LCA-databasen *EcoInvent 2.0*. Beregningen inkluderer norsk produksjon pluss import, nett-tap, distribusjonsnettverk, produksjonsinfrastruktur, utvinning av brensel, etc.

Byggenæringens Miljøsekretariat har benyttet et OECD-gjennomsnitt på 356 g CO<sub>2</sub> per kWh.

### **Oppsummering**

Valg av produksjonsteknologi for elektrisitet til forbruk i Norge omfatter problemstillinger rundt geografisk avgrensning samt beregningsmessige tilnærminger. Elkraftmarkedet er svært sammensatt og hvilken produksjonsmikse som benyttes til enhver tid varierer fra time til time med etterspørselen i markedet, brenselpriser og hydrologiske forhold (for vannkraft). Kompleksiteten i dette gjør at en utvikling av felles metodikk for beregning av produksjonsteknologi for elektrisitet til forbruk i Norge bør gjøres i samarbeid med (evt. med veiledning fra) ekspertise på det Nordisk kraftmarkedet.

Det vil inntil videre benyttes nordisk produksjonsmiks her ved gjennomsnittlig produksjon for siste år tilgjengelig i ecoinvent. Dette begrunnes med at det senere kan komme føringer på hvilke valg man skal ta her, og man bør derfor ikke legge unødvendig mye arbeid i å definere noen ny miks da dette mest sannsynlig bør endres senere. I tillegg anses den nordiske miksen å være mest dekkende for dagens kraftsituasjon.



## 6 Klimagassutslipp for et bygd vegprosjekt

Strekningen Alvheim – Solli er del av vegprosjekt E6 i Østfold; Svingenskogen – Råde grense<sup>9</sup> som sto ferdig i november 2008. Prosjektet på denne strekningen innebar utvidelse av eksisterende E6 med 2 nye kjørefelt, dvs. 10 km ny motorveg med 11 m bredde. Det inkluderer 850 m med tunnel (tunnelprofil T9,5), omlegging av veger, landskapstilpasning, støyskjerm, belysning, vann og avløp (drenering) og 2 nye bruer, forlengelse av 2 kulverter og 3 nye miljøtunneler/portaler.

Dette vegprosjektet er analysert for å ha et eksempel å jobbe ut fra i utviklingen av beregningsmetodikken som skal implementeres i EFFEKT. Data for prosjektet er hentet fra tilbudsdokumentet og konsekvensutredningen for prosjektet. Materialene som ansees som viktigst er inkludert.

I dette eksempelet er klimagassutslipp knyttet til både bygge- og driftsfasen over en analyseperiode på 25 år beregnet. I byggefasen er de viktigste materialene som inngår i de ulike vegelementene inkludert; sprengstein (forsterkningslag), pukk (bærelag), asfaltert grus (bærelag), asfalt (slitelag), stål (rekkverk), betong (tunneler, tunnelportaler og bruer), armering (tunneler, tunnelportaler og bruer), asfaltmembran (bruer) og PE-skum (tunneler). Videre er sprengning, transportarbeid, anleggsmaskineri og elektrisitetsforbruk knyttet til byggingen inkludert. I bruksfasen er re-asfaltering og elektrisitetsforbruk (vegbelysning og vifter, pumper og belysning i tunneler) tatt med.



Figur 10: Sollikrysset<sup>10</sup>, rød linje er de nye kjørefeltene

<sup>9</sup> <http://www.vegvesen.no/Vegprosjekter/e6ostfold>

<sup>10</sup> [http://www.vegvesen.no/s/region\\_ost/prosjekter/ostfoldpk/E6/bildemappe\\_w/index.htm](http://www.vegvesen.no/s/region_ost/prosjekter/ostfoldpk/E6/bildemappe_w/index.htm)

## 6.1 Inndata

Data fra tilbudsskjema er gjennomgått. Disse beskrives nedenfor i forhold til hva som inkluderes og ikke. Spørsmål og usikkerheter er også poengtert.

### Masser og transportarbeid

Bruk av maskineri i byggefasen for vegprosjektet er beregnet på grunnlag av masser oppgitt i tilbudsokumentet, romvekt og en antagelse på et forbruk på 0,3 liter diesel i *generell anleggsmaskin* per m<sup>3</sup> masse. Massene som inngår i beregningene for veg i dagen er listet i Tabell 6. Antagelsen om dieselforbruk er tatt ut fra en eksisterende prosess i Ecoinvent som anslår et forbruk på 0,15 liter diesel per m<sup>3</sup> masse ved bruk av gravemaskin. Siden massene gjennomgår flere typer operasjoner, som for eksempel utlegging, planering og komprimering, er dieselforbruket doblet. Dette er en svært unøyaktig antagelse, foretatt i mangel av en bedre tilnærming.

Transportarbeid for veg i dagen beregnes ut fra masser angitt i tilbudsskjemaet, massetettheter og antagelser for transportavstand. I hovedsak er det antatt at masser som tas ut og forbrukes i linja i snitt transporteres 1 km, mens masser som transporteres inn eller ut av linja transporteres 2 km i snitt. Unntakene er tilført sprengt stein (5 km), samt asfaltert grus og asfaltert pukk (20 km, som tilsvarer norsk snitt for transport av asfalt fra produksjonssted til legging). Dataene er gitt i Tabell 6.

Tabell 6: Beregning av bruk av maskineri og transportarbeid for veg i dagen

	Prosess	Mengde	Enhet	Tetthet [tonn / m <sup>3</sup> ]	Transportavstand [km]	Transportarbeid [tkm]
Forberedende tiltak	Masser utsprengt	133 300	fm <sup>3</sup>	2,65	1	176 623
	Utgraving av ubrukbare masser	20 000	m <sup>3</sup>	1,3	2	52 000
	Fylling med lettklinker (ekspandert leire)	4 500	m <sup>3</sup>	1	2	9 000
	Masseflytting av fjell til fylling i linjen	128 500	fm <sup>3</sup>	2,65	1	170 263
	Masseflytting av fjell til mellomlager	6 153	fm <sup>3</sup>	2,65	1	8 153
	Jordmasser til motfylling/bakkeplanering	80 200	m <sup>3</sup>	1,3	1	52 130
	Jordmasser til støyvoll, ledevoll med mer	28 500	m <sup>3</sup>	1,3	1	18 525
Grøfter, rør og kummer	Fundamentmasse pukk	1 502	m <sup>3</sup>	1,4	2	4 204
	Omflyllingsmasse	12 542	m <sup>3</sup>	1,3	2	32 609
	Gjenfylling med stedlige masser	20 675	m <sup>3</sup>	1,4	1	57 890
	Gjenfylling med tilførte masser	17 348	m <sup>3</sup>	1,4	2	48 574
	Fjerning av overskuddsmasser	9 590	m <sup>3</sup>	1,4	2	26 852
Veg-fundament	Forsterkningslag av kult	9850	m <sup>3</sup>	1,5	2	7 388
	Forsterkningslag av sprengt stein, tilført	10 000	m <sup>3</sup>	1,8	5	90 000
	Vending av dypsprengning i dagsone	12 300	m <sup>3</sup>	1,8	1	11 070
	Bærelag av knuste steinmaterialer	2 120	m <sup>3</sup>	1,8	2,5	9 540
	Bærelag av asfaltert grus	21 350	tonn	2,65	20	427 000
	Bærelag av asfaltert pukk	41 850	tonn	2,4	20	837 000
<b>Dieselforbruk i anleggsmaskin:</b>		<b>155 917</b>			<b>Transportarbeid,:</b>	<b>2 468 800</b>

For tunneler er transportarbeidet beregnet ut fra mengder som sprenges ut oppgitt i tilbudsdokumentet (som fast masse), tetthet på 2,65 tonn / m<sup>3</sup> og en transportavstand på 2,5 km:

$$\text{Transportarbeid}_t = (60\ 000 + 1\ 050 + 1\ 755) * 2,65 * 2,5 = 416\ 083 \text{ tkm}$$

Transportarbeid for bruer er utelatt, da dette vil utgjøre lite av det totale transportarbeidet og dermed svært lite av totale klimagassutslipp. Totalt transportarbeid for vegprosjektet blir dermed 2 459 903 tkm.

#### Forberedende tiltak og generelle kostnader

Utelater alt her (rigg, midlertidige bygninger, meter med ulike typer anleggsgjerder og rekkverk, m<sup>2</sup> riving og fjerning av faste vegdekker, stk transformatorer).

#### Sprengning, veg i dagen

Bruk av sprengstoff er inkludert (tovex; 2,2 kg per m<sup>3</sup> utsprengt tunnelmasse, 1 kg per m<sup>3</sup> utsprengt masse i åpent terreng).

Sikringsbolter i stål er inkludert; til sammen 1,1 tonn (varmforsinking og pulverlakkering med epoksy er ikke tatt med).

#### Vegutstyr og miljøtiltak

Her utelates det meste (m<sup>2</sup> murer av naturstein, m<sup>2</sup> ulike typer støyskjermer, m<sup>2</sup> jordforbedring og beplantning, meter kantstein av betong, meter viltgjerde, meter rør, meter kabler, stk master m/fundamentering, stk armatur, meter vegmerking, stk skilt m/fundament, stk gittermaster og portaler).

Det er oppgitt 5 500 m rør-rekkverk på stålstolper og 16 500 m wire-rekkverk (totalt 22 km med rekkverk). Foreløpig inkludert ved 500 tonn stål.

#### Tunnel

Sikringsbolter på til sammen 27,7 tonn er inkludert (varmforsinking og pulverlakkering med epoksy er ikke tatt med).

Sprøytebetong er antatt lik betong. Fiber i sprøytebetong ikke inkludert. PE-skum er inkludert.

”Armering av sprøytebetong (m<sup>2</sup>)” og ”Brannsikring (m<sup>2</sup>)” ikke tatt med.

Rør og kummer med mer er ikke tatt med.

Boring ved utsprengning av tunnel (forbruk av elektrisitet) er beregnet ut fra et forbruk på 100 kWh / lm utsprengt, videre er ventilasjon av tunnellopet under bygging antatt å forbruke 350 kWh per løpemeter tunnel.

#### Veg; grøfter, kummer og rør

Ingenting her er inkludert (fiberduk: 21 675 m<sup>2</sup>, spuntvegger i stål (stk), armerte/uarmerte betongrør (m), spillvannsledninger, stikkrenner, rør og kummer, membraner og frostsikring).

Vegfundament

Fiberduk ikke inkludert (130 800 m<sup>2</sup>)<sup>11</sup>

Forsterkningslag er antatt å bestå av sprengstein og bærelaget 90 % pukk og 10 % asfaltert grus.

Vegdekke

Bindlag av asfaltbetong (20 000 tonn) er antatt pukk.

Slitelag av Ska 11, tykkelse 45 mm: 13 600 tonn. Antatt 0,1125 tonn/m<sup>2</sup> (dvs 2,5 tonn/m<sup>3</sup> og 121 000 m<sup>2</sup> med asfaltert veg).

17 200 meter med pukk i midtdeler ikke inkludert.

Vegutstyr og miljøtiltak

Ingenting her inkludert (beplantning, rekkverk, skilt, vegmerking med mer)

Bruer og tunneler

Forbruk av betong og armering inkludert. Diameter på betongpeler antatt 0,8 m.

Varmeisolering av betong, fiberduk og dybler er ikke tatt med. Pussing og avretting av betongoverflate er ikke tatt med. Noe sprengning (oppgitt i meter) ikke inkludert (små mengder, liten betydning). Brannskap, dører, luker og lignende er ikke tatt med. Rør, kummer og bolter er ikke tatt med. Glidelager er ikke tatt med.

Drift

Drift av anlegget gjennom levetiden (40 år) inkluderer reasfaltering og elektrisitetsforbruk i tunnelene. For reasfaltering antas at 65 % av opprinnelig lagt mengde legges hvert 10. år. Elektrisitetsforbruk i tunnelen antas 330 000 kWh per km og år (som antatt i *Miljøsammenligning av Bru, Tunnel og ferge*). Dette gjelder undersjøisk tunnel, og er antagelig for høyt for denne tunnelen.

Vegbelysning er antatt 29 000 kWh per km per år. Dette gir totalt forbruk på 6 633 750 kWh for hele vegstrekket (ekskludert 850 m tunnel) gjennom 25 år.

Trafikk

Resultater i konsekvensutredningen for hele strekket Svineskogen – Råde grense viser en økning i kostnader knyttet til CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til 0-alternativet (ingen utbygging). Trafikkøkning i forhold til 0-alternativet kan være en årsak til økningen i utslippene. Økt fartsgrense, for eksempel fra 70 til 80 km/t, vil også bidra til økte utslipp. Utslippsmengder kommer ikke frem i KUen, så disse er beregnet ut fra kostnaden. I EFFEKT benyttes en kalkulasjonsrente på 4,5 %, en analyseperiode på 25 år og en CO<sub>2</sub>-kostnad på 210 kr/tonn. Total økning i CO<sub>2</sub>-kostnad for vegstrekket Alvim – Råde grense er beregnet til 200 000 kr (i forhold til 0-alternativet). Strekket Alvim – Solli utgjør ca 1/3 av dette, og kan antas å ha en total økning i CO<sub>2</sub>-kostnad på 70 000. Dette vil med gitt CO<sub>2</sub>-kostnad og kalkulasjonsrente tilsvare en økning i årlige utslipp på 22,5 tonn fra trafikken på vegen i forhold til 0-alternativet.

<sup>11</sup> Det er beregnet totalt forbruk av 31 tonn fiberduk i vegstrekket. Dette er beregnet å forårsake under 0,2 % av totale utslipp dersom det inkluderes, og kan dermed utelates.

## 6.2 Resultater

Resultatene er i første omgang beregnet totalt for byggingen av prosjektet. Dette er videre benyttet som basis for beregninger av resultater for analyseperioden.

### Totale resultater for byggefasen

De totale resultatene omfatter material- og energiforbruk i byggefasen og der hele verdikjeden for fremstilling av disse materialene er inkludert. Tabell 7 viser utslipp knyttet til byggefasen av elementene veg i dagen, bru og tunnel.

Tabell 7: Totale klimagassutslipp i tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for bygging av vegprosjekt Alvheim - Solli

	Byggefasen			TOTALT
	Veg i dagen	Tunneler	Bruer	
Betong	24	971	625	<b>1 620</b>
Konstruksjonsstål	807	45	59	<b>910</b>
Armeringsstål	12	480	440	<b>932</b>
Sprengstein	40	0	0	<b>40</b>
Pukk	195	0	0	<b>195</b>
Asfaltert grus	258	0	0	<b>258</b>
Asfalt	416	0	0	<b>416</b>
Asfaltmembran	0	0	0	<b>0</b>
PE-skum	0	61	0	<b>61</b>
Sprengning	317	299	0	<b>616</b>
Transportarbeid	311	52	0	<b>363</b>
Diesel	501	44	11	<b>555</b>
Elektrisitet	0	78	0	<b>78</b>
<b>TOTALT</b>	<b>2 940</b>	<b>1 969</b>	<b>1 135</b>	<b>6 045</b>

Resultatene viser at i byggefasen er det betong i bruer og tunneler som dominerer utslippene. Videre bidrar stål i veg i dagen (dette er hovedsakelig rekkverk), armering i tunneler og bruer, asfalt for veg i dagen og sprengning. Dieselforbruk og transportarbeid bidrar også en del, men forbruket her er svært usikkert.

### Resultater per år i analyseperioden

De ulike vegelementene har ulik levetid og analyseperioden omfatter 25 år. Utslipp knyttet til byggefasen må justeres for dette for å gjelde kun for analyseperioden. Det er benyttet en levetid på 40 år for veg i dagen og 100 år for bruer og tunneler.

### Klimagassutslipp knyttet til byggefasen gjeldende for analyseperioden:

Veg i dagen:	2 940 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter * (25 / 40) =	1 838 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
Tunnel:	1 969 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter * (25 / 100) =	492 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
Bru:	1 135 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter * (25 / 100) =	284 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
<u>For analyseperioden på 25 år:</u>		<u>2 614 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter</u>

**Drift:**

Reasfaltering hvert 10. år: 270 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (65 % av opprinnelig mengde lagt). Belysning, pumper og vifter i tunnel hvert år: 58 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (El-forbruk: 330 000 kWh/ km per år (Veritas 2000). Dette forbruket gjelder opprinnelig for undersjøisk tunnel og vil være noe for høyt for oversjøisk tunnel da det er mindre behov for ventilasjon i disse. Det er benyttet nordisk el-miks). Vegbelysning: 55 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

**Trafikk:**

Utslipp på 22,5 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mer i forhold til 0-alternativet hvert år.

Tabell 8 og Figur 11 viser resultatene per år i analyseperioden. Utslippene knyttet til byggefasen (år 0), er den andelen av de totale utslippene relatert til byggefasen som kan tilskrives analyseperioden.

Tabell 8: Klimagassutslipp (tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) per år i analyseperioden

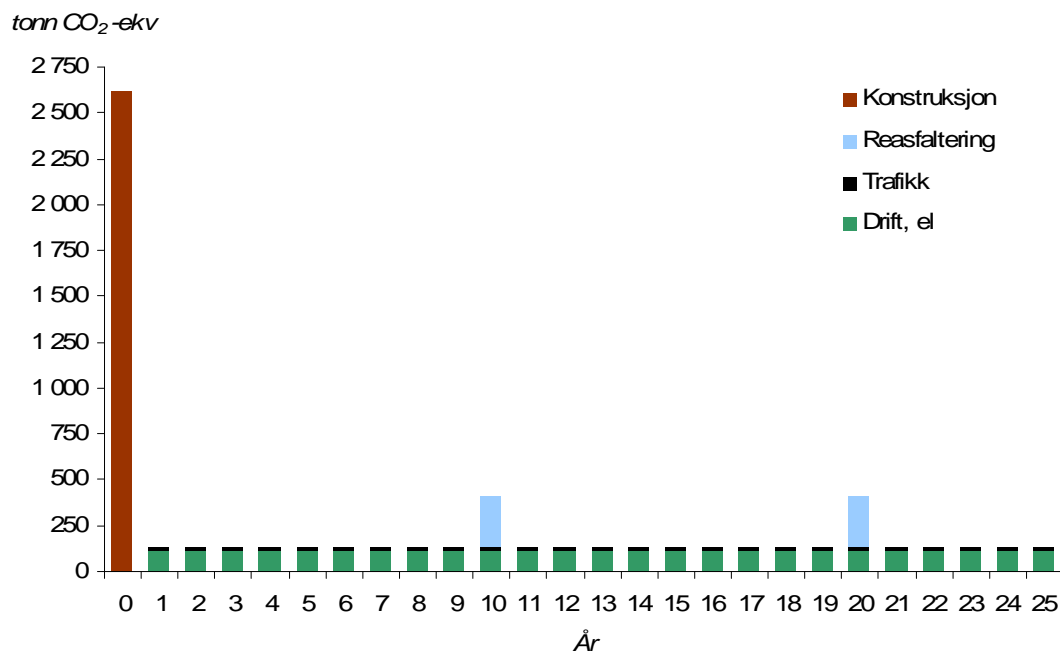
År	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Konstruksjon	2614								
Reasfaltering									
Drift, el		111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9
Trafikk		22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
<b>Totalt</b>	2614	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4

År	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Konstruksjon									
Reasfaltering		270,5							
Drift, el	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9
Trafikk	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
<b>Totalt</b>	134,4	404,9	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4

År	18	19	20	21	22	23	24	25	TOT
Konstruksjon									<b>2614</b>
Reasfaltering			270,5						<b>541</b>
Drift, el	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	111,9	<b>2797</b>
Trafikk	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	<b>563</b>
<b>Totalt</b>	134,4	134,4	404,9	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4	<b>6515</b>

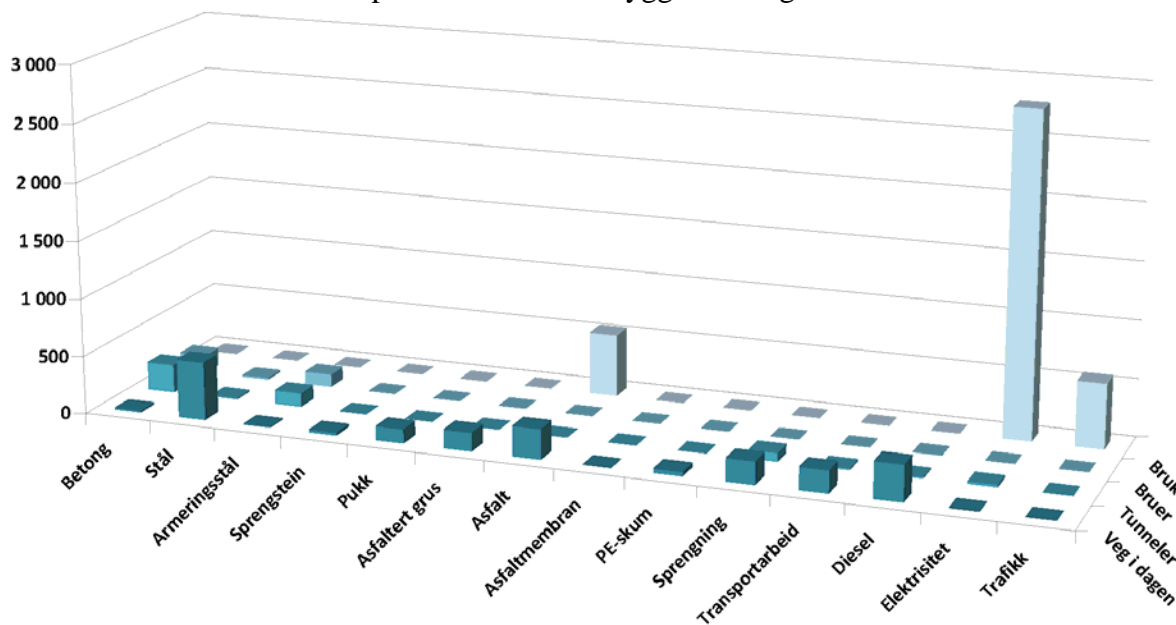


Figur 11: Klimagassutslipp per år i analyseperioden

Av de totale utslippene for analyseperioden er omtrent 40 % knyttet til byggingen av vegen, mens 60 % er knyttet til bruksperioden på 25 år. Utslippene knyttet til trafikkendringer utgjør i underkant av 9 % av de totale utslippene.

Totale utslipp er beregnet ved at nåtidige og fremtidige utslipp summeres direkte, uten diskontering. Dette er på grunn av at vi forholder oss til mengder klimagasser som slippes ut, og ikke kostnader knyttet til dette.

De totale utslippene for analyseperioden er vist i Figur 12 og Tabell 9 nedenfor. Resultatene er fordelt på hvert element i byggefasen og samlet for bruksfasen.



Figur 12: Klimagassutslipp for analyseperioden fordelt på materialer, vegelementer og bruk

Bruk av elektrisitet i bruksfasen utgjør en stor del av de totale utslippene (43,2 %), dette omfatter belysning på hele vegstrekket pluss vifter og pumper i tunnelen (siden dette er en oversjøisk tunnel som sannsynligvis ikke har pumper installert, er forbruket her noe for høyt). Elektrisitetsforbruk til belysning vil med stor sannsynlighet reduseres i løpet av de neste 25 år siden det stadig benyttes mer energieffektiv belysning. Dette er det ikke tatt høyde for i denne analysen. Reasfaltering utgjør 8,3 % og endring i trafikken 8,6 %. I byggefasen er det bruken av stål i veg i dagen som utgjør mest (7,7 %), dette er rekkverk. Videre bidrar betong og armering i bruer og tunneler henholdsvis 6,4 % og 3,7 %. Forbruk av anleggsmaskineri bidrar med 5,0 %, sprengning med 4,2 % og transportarbeidet med 3,2 %.

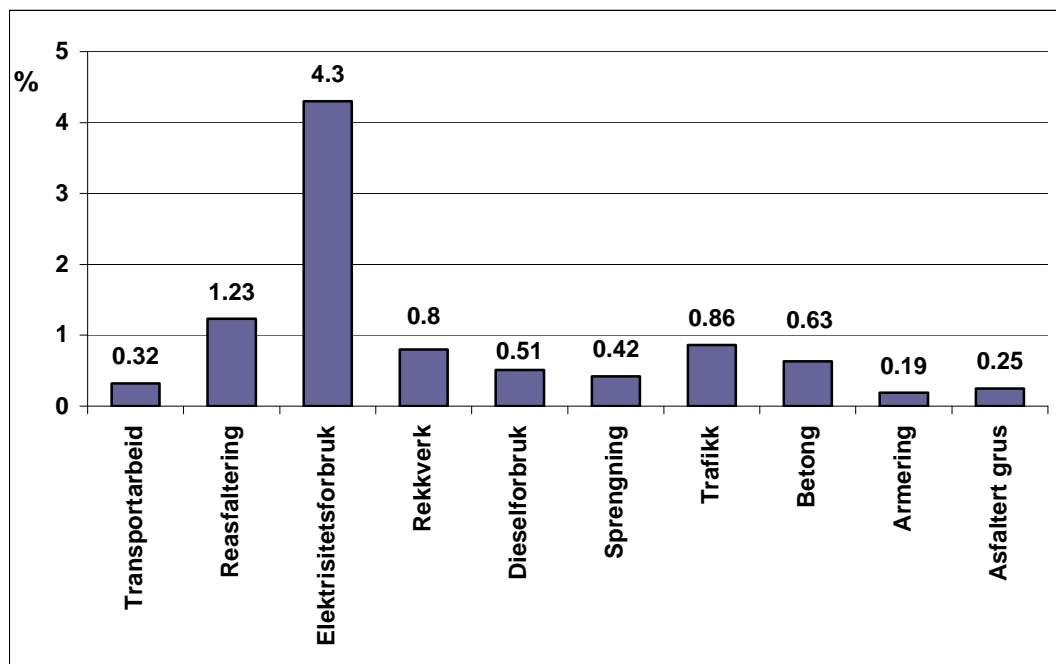
Tabell 9: Totale klimagassutslipp i tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for analyseperioden, fordelt på vegelementer i byggefasen og totalt for bruksfasen

	Byggefasen			Bruks- fasen	TOTALT	Andeler
	Veg i dagen	Tunneler	Bruer			
Betong	15	243	156	0	414	6,35 %
Stål	504	11	15	0	530	8,14 %
Armering	8	120	110	0	238	3,65 %
Sprengstein	25	0	0	0	25	0,38 %
Pukk	122	0	0	0	122	1,87 %
Asfaltert grus	161	0	0	0	161	2,47 %
Asfalt	260	0	0	541	801	12,30 %
Asfaltmembran	0	0	0	0	0	0,00 %
PE-skum	38	0	0	0	38	0,59 %
Sprengning	198	75	0	0	273	4,19 %
Transportarbeid	194	13	0	0	207	3,18 %
Diesel	313	11	3	0	327	5,01 %
Elektrisitet	0	20	0	2 797	2 817	43,24 %
Trafikkendring	0	0	0	563	563	8,63 %
<b>TOTALT</b>	<b>1 838</b>	<b>492</b>	<b>284</b>	<b>3 901</b>	<b>6 515</b>	100,00 %
<b>Andeler</b>	28,21 %	7,55 %	4,36 %	59,88 %	100,00 %	



### 6.3 Usikkerheter og følsomhetsanalyse

For flere av materialene er det knyttet usikkerheter i forhold til hvor mye som forbrukes. Det vil i tillegg være usikkerheter knyttet til utslippsdataene for materialene. Beregningene er derfor testet ut i forhold til hvordan en 10 % økning i mengde for hvert materiale slår ut i de totale resultatene, slik at en kan si noe om hvor høye krav det er til nøyaktighet for de ulike materialene. Resultatene er gitt i Figur 13 og videre følger betraktninger for hvert av materialene.



Figur 13: Resultater av følsomhetsanalyse

#### Transportarbeid

På kommunedelplannivå er det knyttet stor usikkerhet til mengden masser som må transporteres både innad i, samt inn og ut av vegprosjektet under bygging. I tillegg er transportavstanden også svært usikker. De totale resultatene i denne studien viser at massetransporten ikke utgjør noen stor del av de totale utslippene knyttet til prosjektet. Og selv om massetransporten økes kraftig vil ikke dette slå veldig ut i de totale resultatene. 10 % økning i massetransporten gir en økning i de totale resultatene på 0,32 %. Dette indikerer at det ikke er av avgjørende betydning å ha stor nøyaktighet i inkluderingen av transportarbeidet, om en forutsetter at antagelsene som ligger til grunn for beregning av transportarbeidet i denne analysen ikke er svært feilaktige.

#### Reasfaltering

Reasfalteringen utgjør en betydelig del av de totale utslippene, og følsomhetsanalysen viser at en økning av asfalmengde i driftsfasen på 10 % øker de totale utslippene med 0,83 %. Om en inkluderer den opprinnelige mengden asfalt lagt i konstruksjonsfasen ville økningen komme på 1,23 %. Her kreves dermed større nøyaktighet i mengde- og utslippsdata.

**Elektrisitetsforbruk**

Resultatene viser at elektrisitetsforbruket i driftsfasen utgjør en stor andel av de totale utslippene. 10 % økning i elektrisitetsforbruk gir en økning på 4,29 % for totalutslippene, og rimelig høy grad av nøyaktighet kreves dermed for elektrisitetsforbruket i driftsfasen (som omfatter belysning, vifter og pumper i tunnelen samt belysning langs hele det resterende vegstrekket).

**Rekkverk**

Rekkverk har ev viss betydning i totalresultatene (rekkverk utgjør hovedparten av konstruksjonsstål forbrukt i veg i dagen), i og med at stål er et utslippsintensivt materiale. En økning i mengde rekkverk på 10 % gir 0,80 % økning i totalresultatene. Rimelig nøyaktighet påkrevs.

**Dieselforbruk**

Dette er knyttet til bruk av maskineri i konstruksjonsfasen, og mengder er svært usikre her. Anslagene gjort i denne analysen gir små bidrag til totale utslipp, og følsomhetsanalysen viser at 10 % økning av dieselforbruket gir en økning på 0,51 % i totalresultatet. Det er dermed ingen krav til høy nøyaktighet her.

**Sprengning**

10 % økning i bruk av sprengstoff fører til 0,42 % økning i totale utslipp. Høy nøyaktighet er ikke påkrevd.

**Trafikk**

Trafikk gjennom levetiden på vegprosjektet er allerede beregnet i EFFEKT. Resultatene er testet for følsomhet for endringer her, og en økning på 10 % gir 0,86 % økning i totale utslipp.

**Betong**

I denne analysen, hvor andelen bruer og tunneler/tunnelportaler er ganske høy i forhold til vegstrekningen, utgjør betongforbruket en relativt høy andel av det totale resultatet. 10 % økning i betongmengden gir 0,63 % økning i totale utslipp. Dette i tillegg til at betongforbruket er relativt høyt i akkurat dette prosjektet indikerer at høy nøyaktighet ikke påkrevs her.

**Armering**

10 % økning i mengden armering gir 0,19 % økning i totale resultater. Samme konklusjon som for betong.

**Asfaltert grus**

En økning på 10 % her gir 0,25 % økning i totale utslipp. Høy nøyaktighet er ikke påkrevd

Materialene sprengstein, asfaltmembran og PE-skum er ikke tatt med i følsomhetsanalysen, da hver av disse bidrar til mindre enn 1 % av de totale utslippene.

## **6.4 Konklusjon**

De parametrene som bidrar mest til utslippene i byggefasen er asfalt, asfaltert grus, betong, stål, armering, sprengning, transportarbeid og dieselforbruk i anleggsmaskineri. I driftsfasen er elektrisitet, asfalt og trafikkendringen de viktigste parametrene.

Elektrisitetsforbruk i driftsfasen dominerer utslippene. Dersom annen elektrisitmiks benyttes i analysen vil dette kunne påvirke resultatene i stor grad.

Denne analysen er ikke komplett i forhold til hvordan en analyse integrert i EFFEKT skal være når metodikken er ferdig utviklet. Det er ikke fullt ut sammenlignet med 0-alternativet. Her er det kun endring i trafikk som er beregnet i forhold til 0-alternativet. Dette er på grunn av mangel på data for 0-alternativet. Det vil være naturlig også å beregne differanse for eventuelle driftsrelaterte utslipp for vegprosjektet og det relevante 0-alternativet. I tillegg skal også energiforbruk med i beregningene i EFFEKT i tillegg til klimagassutslippene.



## 7 Beregningsmetoden

Antagelser på forbruk av materialer og energi samt utregningsfaktorer og transportavstander er utarbeidet med bistand fra byggherreseksjonen, tunnel- og betongseksjonen, vegteknologiseksjonen, geoteknikk- og skredseksjonen og veg- og ferjeseksjonen i Vegdirektoratet. I tillegg er noe data hentet inn fra noen entreprenører og materialprodusenter. I dette kapitlet beskrives metodikken for mengdeberegninger og antagelser rundt dette. Detaljert beskrivelse av utregninger som skal inkluderes i EFFEKT er gitt i vedlegg.

### 7.1 Material- og energiforbruk

#### 7.1.1 Veg i dagen

##### Materialforbruk

Materialforbruket i forsterkningslag, bærelag og slitelag vil beregnes innad i EFFEKT ved at tykkelse og materialtype for hvert av lagene og for hver ÅDT-klasse multipliseres med lengde og bredde på vegen. Nye vegprosjekter skal dimensjoneres ut fra ÅDT i år 20 etter åpning. Siden brukeren av EFFEKT legger inn både lengde og bredde på vegen, er det kun tykkelse (dybde) vi mangler for å anslå m<sup>3</sup> av masser som trengs i de ulike lagene. Tykkelser for ulike lag er oppgitt i Tabell 10, ut fra Håndbok 018 Vegbygging (HB018) og fordelt på ÅDT-klasser.

Tabell 10: tykkelse på forsterkningslag, bærelag og slitelag for ulike ÅDT-klasser

ÅDT	Tykkelse forsterkningslag (m) $T_f$	Tykkelse bærelag (m) $T_b$	Tykkelse slitelag (m) $T_s$
< 1 500	0,40	0,14	0,04
< 4 000	0,50	0,15	0,06
< 8 000	0,60	0,17	0,08
< 12 000	0,65	0,18	0,08
< 20 000	0,75	0,18	0,08
> 20 000	0,80	0,18	0,08

I forsterkningslaget benyttes sprengstein, fortrinnsvis fra utsprengninger i linja. I bærelaget benyttes for det meste asfaltert grus (Ag) eller penetrert puk (Pp). Asfaltert grus inneholder grus og omtrent 4,5 % bitumen og benyttes gjerne i øvre del av bærelaget (HB018 s. 218). Penetrert puk består av et ensgradert åpent pukklag, som avbindes ved påsprøyting av et bindemiddel og deretter avstrøs med ubehandlet finpuk, knust asfalt, asfaltert finpuk eller asfalt (HB018 s. 220). Slitelaget består av asfaltgrusbetong (Agb) eller asfaltbetong (Ab), begge er en ensartet blanding av steinmateriale og bitumen. Agb skiller seg fra Ag ved at det stilles mindre krav til steinmaterialets art og gradering, og at det brukes et mykere bindemiddel. Asfalt i slitelaget er for dette formålet antatt å bestå av 4,5 % bitumen og 95,5 % tilsalg av stein (vektbasis).

Forbruk av stål i rekkverk beregnes ut fra fylkesvise gjennomsnittstall for rekkverksandel samt 0,0665 tonn stål per meter rekkverk.

### Transportarbeid, sprengning og masseforflytning

Beregning av transportarbeid for masser består av to parametere; mengder masser som skal transporteres og transportavstand for disse. Transportavstanden for masser innad i ett prosjekt vil variere, noen masser vil kun graves ut og spres utover innenfor et lite område, mens noen masser vil måtte transporteres ut eller inn av linja, avhengig av topologi og geologi i vegtraséen. Det er valgt å benytte en tilnærming ved bruk av fylkesvise gjennomsnittstall for skjærings- og fyllingshøyde og andel fjell i skjæring. Transportarbeidet omfatter flytting av jordmasser og sprengstein fra skjæring til preparering av traubunnen og til oppbygging forsterkningslag og bærelag. For overskudd eller underskudd av sprengstein og pukk til forsterkningslag og bærelag antas en transportavstand på 5 km. En god del av massene fra skjæringa spres ut til fylling (preparering av traubunn), bearbeiding her antas et forbruk på 0,3 liter diesel i anleggsmaskineri per m<sup>3</sup> masse og antas å omfatte graving, utlegging og komprimering. Sprengning beregnes ut fra andel fjell i skjæring samt forbruk av 1 kg sprengstoff per m<sup>3</sup> fjell sprengt ut.

### Belysning langs veg i dagen:

$4380h * \text{effekt pr lampe (kW)} * \text{antall lamper pr armatur} * 1,05$  (tapsfaktor, nye anlegg)

Dersom antall lamper pr armatur ikke er registrert antas det at det er 1.

Dersom effekten ikke er registrert antas 250W (som er tilnærmet snitt av de registrerte)

Dersom kun belysningsanlegg (og ikke punkt) er registrert benyttes 23 punkt pr km anlegg.

Dette gir ca 26 500 kWh pr år og pr km veg (ensidig anlegg)

## 7.1.2 Tunneler

Materialbruk i tunneler og tunnelportaler varierer med lokale geologiske og topologiske forhold. De geologiske forhold avgjør behovet for sikring med bolter og sprøytebetong inne i tunnelene. Lengde på tunnelportalene varierer med mengde løsere masser utenfor tunnelåpningen i fast fjell og faren for ras. Dette gjør det svært vanskelig å anslå et slags generelt materialforbruk per løpemeter tunnel for de ulike tunnelprofilene. Det er likevel gjort slike anslag, med utgangspunkt i en ”gjennomsnittlig tunnel” av typen T9,5, som vil kunne dekke opp omtrent 80 % av tunnelene som bygges i dag. Videre er disse mengdene antatt å variere lineært med buelengde eller tverrflateareal for å beregne forbruk i T5,5 og T10,5. De tre ulike tunnelprofilene og deres relevante størrelsesparametere er gitt i Tabell 11.

Tabell 11: Parametere for tunnelprofilene

Tunnelklasse	A	B	C	D	E	F
Tunnelprofil	T5,5	T9,5	T10,5	T10,5	2 x T9,5	2 x T9,5
Tverrflateareal, A <sub>ts</sub>	42,59 m <sup>2</sup>	70,89 m <sup>2</sup>	79,08 m <sup>2</sup>	79,08 m <sup>2</sup>	2 x 70,89 m <sup>2</sup>	2 x 70,89 m <sup>2</sup>
Buelengde B <sub>ts</sub>	17,73 m	21,66 m	22,75 m	22,75 m	2 x 21,66 m	2 x 21,66 m

Mengder for betong og armering i tunnelportalene per tunnel er beregnet ut fra et eksempel med en lengde på 13 meter fra avslutning på betongkonstruksjonen inne i tunnelen til toppen på tunnelportalåpningen. Denne antas å være representativ størrelse for portaler. Mengdene her antas også å variere lineært med buelengden på tunnelen. Forbruk av materialer og energi for en T9,5 tunnel er gitt i Tabell 12. Forbruk av sprengstoff oppgitt til  $2,2 \text{ kg} / \text{m}^3$  fast fjell sprengt. Disse faste massene er antatt en tetthet på  $2,65 \text{ tonn} / \text{m}^3$ . Transportavstand for massene er antatt 2,5 km. Videre er det antatt et påslag på 10 % steinmasse i forhold til masse beregnet ut fra teoretisk sprengningsprofil.

Tabell 12: Forbruk av energi og materialer T9,5

Material / energi	Mengde	Enhet
Volum, ut fra $A_s$	70,89	$\text{m}^3 / \text{lm}$
Betong, vann- og frostsikring	1,20	$\text{m}^3 / \text{lm}$
Betong, tunnelportal	680	$\text{m}^3 / \text{tunnel}$
Armering	124	tonn / tunnel
PE-skum	25	kg / lm
Stål, sikringsbolter	0,04	tonn / lm
Sprengstoff	172	kg / lm
Elektrisitet boring	100	kWh / lm
Elektrisitet vifter, bygging	350	kWh / lm
Elektrisitet drift, lys	26,5	kWh / lm * år
Elektrisitet drift, vent. oversjøisk	$7,5 * \text{ÅDT} * x^2$	for x km per år
Elektrisitet drift, vent undersjøisk	$15,5 * \text{ÅDT} * x^2$	for x km per år
Elektrisitet drift, pumper	18	kWh / lm * år
Masseforflytning	517	tkm / lm

### Energibruk i byggefase

Forbruk av elektrisitet i byggefase er knyttet til driving, ventilasjon samt oppvarming og belysning til verkstedstelt. Som et snitt kan man anta at det benyttes 3 boremaskiner per tunnelrigg med motorer på 50 – 100 kW. For hver tunnelsalve kjøres riggen i 2 – 2,5 timer, hvor hull på 5,20 meter bores. Hver salve sprenger ut omtrent 4,5 – 5 meter tunnel. Dette gir (i snitt) et forbruk på rundt 100 kWh / lm til driving av tunnelen.

For ventilasjon av tunnelen under bygging kan man anta at viftene har en brukstid på 20 timer per døgn og en effekt på 100 kW. Man kan videre anta en gjennomsnittlig inndrift på 40 m tunnel per uke. Dette gir et forbruk på 350 kWh / lm tunnel.

### Energibruk i driftsfase

Forbruk er beregnet fra Motiv som henter data fra NVDB, for de fleste objektene gjøres beregningen for objektene som de er registrert, mens det for noen bare sjekkes at objekttypen finnes for strekningen. Noen få objekter avledes også av andre.

#### Strøm til ventilasjon

Årsforbruk tar ikke hensyn til hva som faktisk er installert av vifter i tunnelen, det er imidlertid et krav at det er ventilasjon der.

kWh forbrukt per år beregnes slik:

1 løp oversjøisk:  $7,5 \cdot \text{ÅDT} \cdot (\text{lengde}(\text{km}))^2$

1 løp undersjøisk:  $15,5 \cdot \text{ÅDT} \cdot (\text{lengde}(\text{km}))^2$

2 løp oversjøisk:  $3,7 \cdot \text{ÅDT} \cdot \text{lengde}(\text{km})$

2 løp undersjøisk:  $14,6 \cdot \text{ÅDT} \cdot \text{lengde}(\text{km})$

#### *Pumper*

Her benyttes foreløpig antagelse om at forbruk til pumper er omtrent 70 % av forbruk til belysning (Melby m.fl 2002), i undersjøiske tunneler. Forbruk til pumper i oversjøiske tunneler settes i denne omgang til 0.

#### *Belysning i tunnel*

Her benyttes samme antagelse som for belysning langs veg i dagen. Det vil si 26,5 kWh per løpemeter og år.

### **7.1.3 Bruer**

ETSI-prosjektet resulterte i to programmer for beregning av miljøpåvirkning fra bruer. Det ene programmet er svært detaljert og gir mulighet for inkludering av svært mange og detaljerte data for material- og energiforbruk. Det andre programmet er utviklet for å kunne foreta miljøanalyser uten å kjenne til material- og energiforbruk i bruene, men baseres på bruens geometri. Det var tanken å inkludere dette sistnevnte programmet i EFFEKT, slik at en kan få inn rimelig detaljerte analyser av bruene. Dette vil imidlertid kreve et sett med nye inngangsdata i EFFEKT: konstruksjonslengde på bru, konstruksjonsbredde, antall spenn, lengste spenn, gjennomsnittlig høyde, gjennomsnittlig fundamenteringsdybde, dybde på fjellfundamentering og høyde på landkar. Man kunne tenke seg en ytterligere forenkling slik at en kunne redusere behovet for inngangsparametere. Dette er imidlertid ikke mulig uten å forringe materialberegningene og dermed analysen av bruene betraktelig. Det er derfor valgt å ta en annen tilnærming, som for øvrig også er noe unøyaktig og grov, men ansees forsvarlig for vårt formål.

#### **Metodikk**

På grunnlag av resultater fra de detaljerte analysene i ETSI-prosjektet er de viktigste materialene identifisert. Et utvalg av eksisterende bruer er analysert med inkludering av disse materialene, og materialforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp er beregnet per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate. Bruene som er valgt ut er av 6 ulike typer. For hver av disse er flere bruer analysert.

Materialene som ble inkludert i analysene er: betong, armering, stål, kleber, asfaltmembran, sprengning, masseforflytning, diesel (forbrukt i maskineri). Det er videre beregnet gjennomsnitt av forbruk av disse materialene samt CO<sub>2</sub>-utslipp per m<sup>2</sup> bruoverflate for hver av de 6 brutypene. Ideen er at disse snittallene for materialforbruk per m<sup>2</sup> bruoverflate kan benyttes som representative for disse brutypene. Bruker av EFFEKT vil da måtte velge brutype, samt legge inn m<sup>2</sup> bruoverflate. Antall m<sup>2</sup> bruoverflate legges allerede inn i nåværende versjon av EFFEKT i forbindelse med beregning av vedlikeholdskostnader for bruer.



Analysene av bruene viser at det er nøyaktig nok å kun inkludere betong, armering, stål og asfaltmembran for bruene, da de øvrige materialene til sammen vil bidra med kun 1 – 2 % av utslippene. De analyserte bruene presenteres i Tabell 13, sortert på brutype. Forbruk av betong, armering og stål er gitt per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate.

Tabell 13: Forbruk av betong, armering og stål i de analyserte bruene, per m<sup>2</sup> overflate

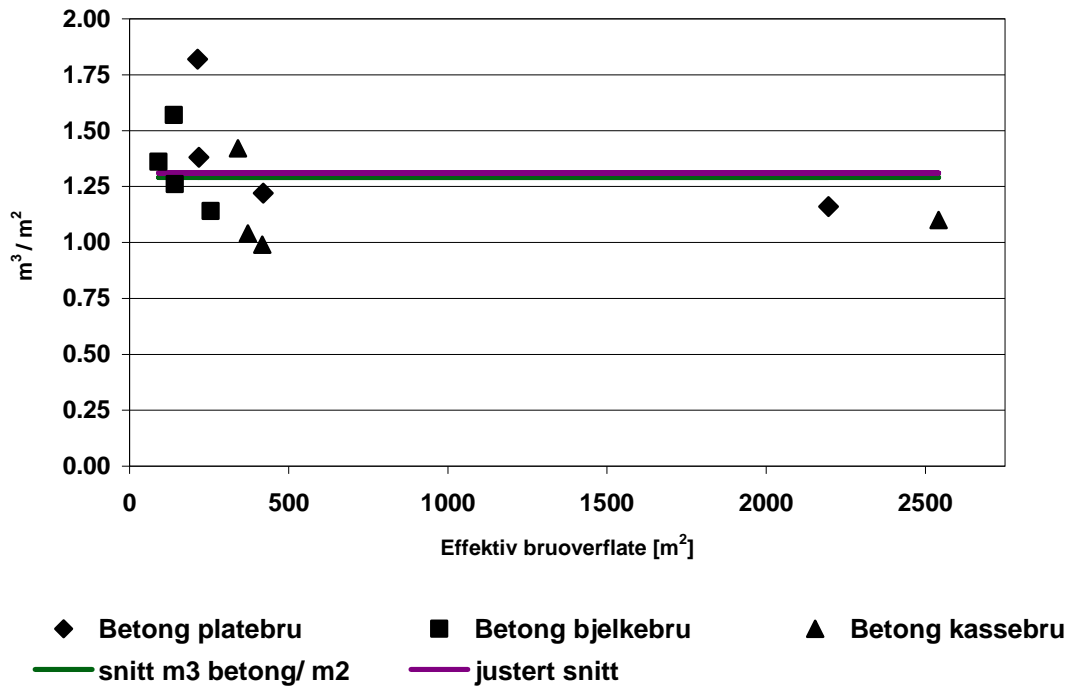
Brutype	Navn	Bredde (m)	Lengde (m)	Overflate (m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> betong/m <sup>2</sup>	Tonn armering/m <sup>2</sup>	Tonn stål/m <sup>2</sup>
Betong platebru	Jordøla	8,9	24,5	218	1,38	0,26	0
	Holten	8,9	24	214	1,82	0,38	0
	Gulliksrud	12	183	2 196	1,16	0,13	0
	Selli	14	30	420	1,22	0,19	0
Betong bjelkebru	Myklebust	6,5	22	143	1,26	0,19	0
	Stigagjel	4	35	140	1,57	0,26	0
	Sifjordbotn	6,5	14	91	1,36	0,23	0
	Lundselvbrua	8,5	30	255	1,14	0,21	0
Betong kassebru	Hillersvika	10,6	39,3	417	0,99	0,25	0
	Brattfoss øst	11	231	2 541	1,10	0,28	0
	Seimsbrui	10,3	36	372	1,04	0,18	0
	Svelgjabrui	8,5	40	340	1,42	0,21	0
Stål platebru	Spissøy	6,5	72	468	0,60	0,12	0,14
Stål bjelkebru	Breivikeidet	8,1	35	284	1,18	0,23	0,16
	Vesterbukta	6,5	42	273	0,58	0,11	0,22
Stål kassebru	Klenevågen	7,5	42,8	321	0,70	0,09	0,21
	Nautøy	6,5	106	689	0,51	0,10	0,24
	Austerstraumen	9,9	196	1 940	0,70	0,11	0,25
	Vesterstraumen	9,9	305	3 020	0,67	0,11	0,30
	Namsos	11	360	3 960	1,00	0,13	0,22

På kommunedelplannivå er det ikke nødvendigvis tatt stilling til hvilken type bru man skal bygge, og det er derfor ønskelig med kun to sett med parametere; ett for betongbruer og ett for stålbruer. Gjennomsnittlig materialforbruk for de analyserte betong- og stålbruene er gitt i Tabell 14. det er også gitt et justert gjennomsnitt, der de høyeste og laveste verdi innen hvert materiale for betong- og stålbruene er utelatt.

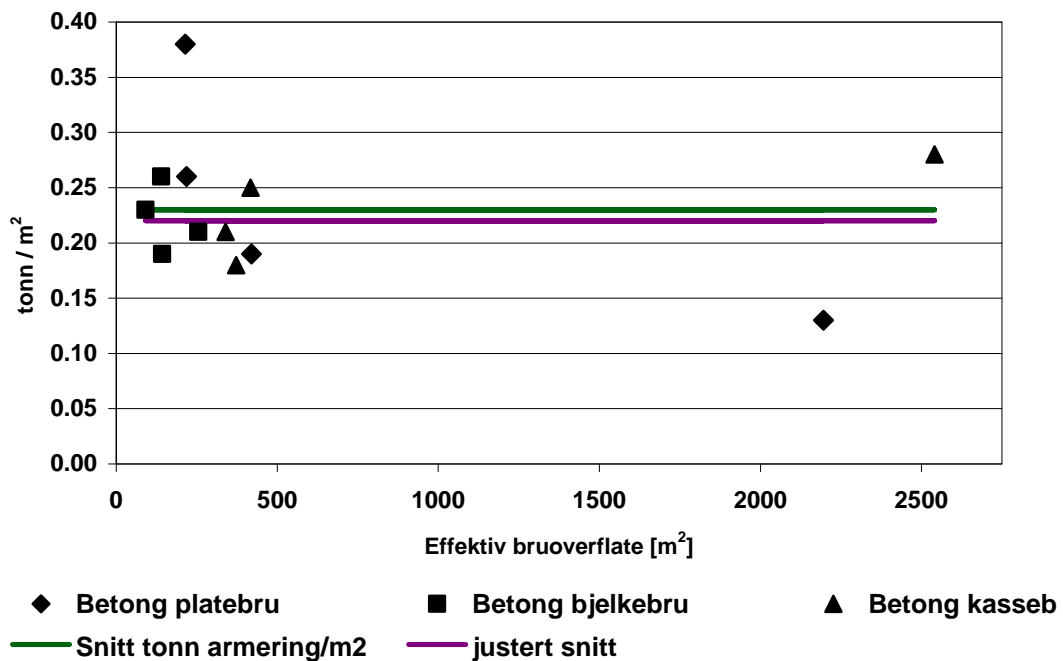
Tabell 14: Gjennomsnittlig forbruk av betong, armering, stål og asfaltmembran i betong- og stålbruene

Material	Enhet	Betongbru		Stålbru	
		Gjennomsnitt	Justert gjennomsnitt	Gjennomsnitt	Justert gjennomsnitt
Betong	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>	1,29	1,31	0,77	0,71
Armering	tonn / m <sup>2</sup>	0,23	0,22	0,14	0,11
Stål	tonn / m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,19	0,22
Asfaltmembran	m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00

Figur 14 og Figur 15 viser faktisk forbruk av betong og armering for betongbruene, gjennomsnittlig forbruk (grønn linje) og justert gjennomsnittlig forbruk (lilla linje), der høyeste og laveste verdi er utelatt.

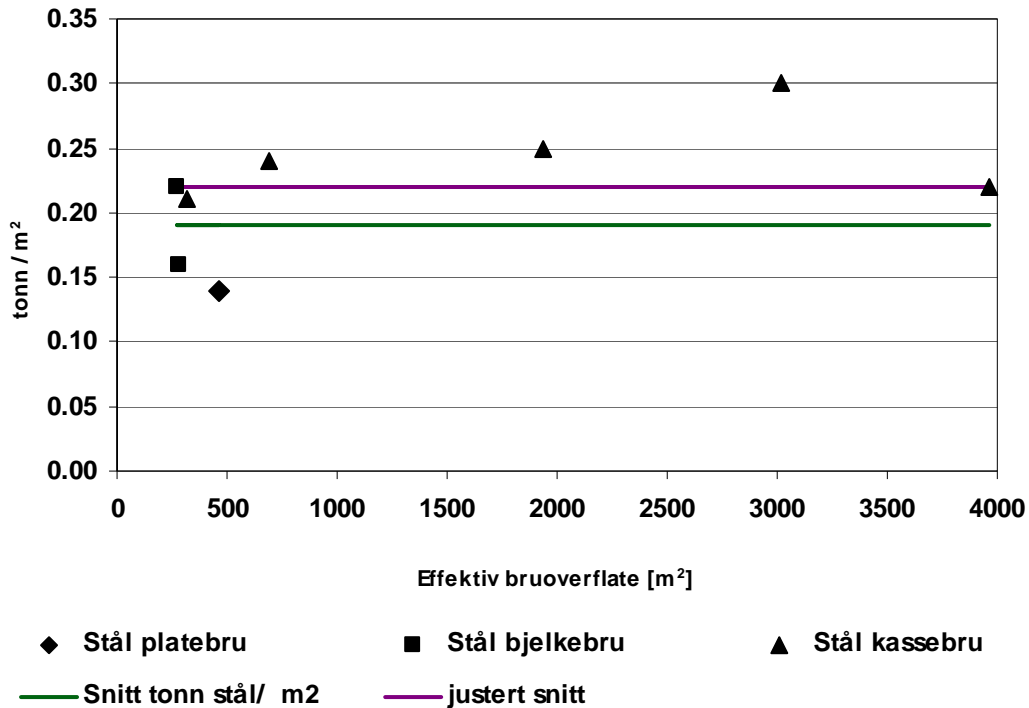


Figur 14: Faktisk og gjennomsnittlig forbruk av betong for betongbruer

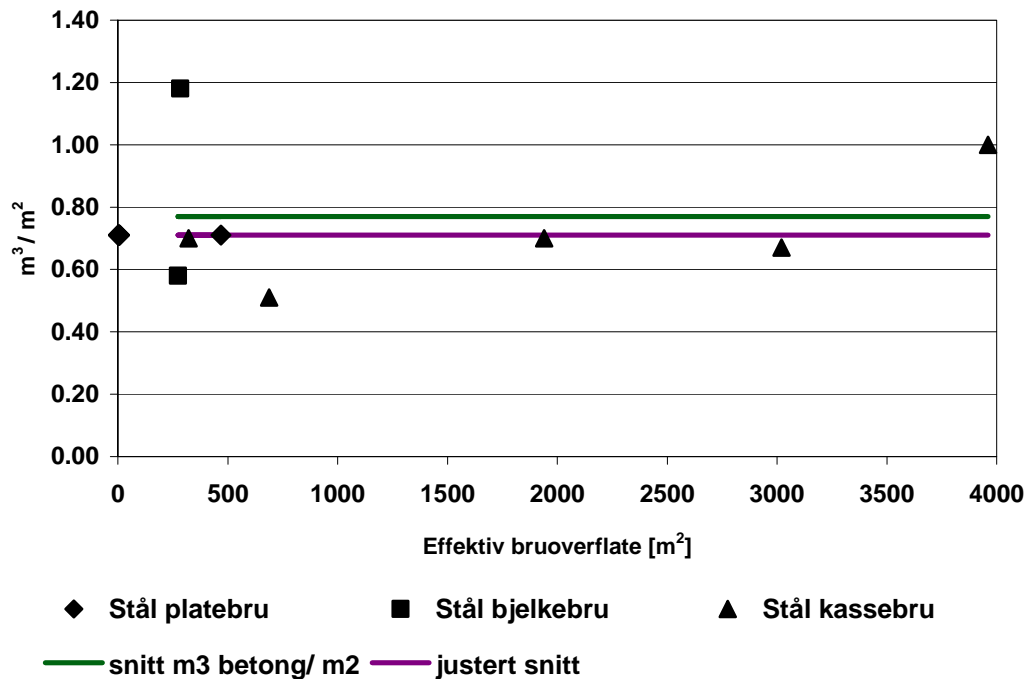


Figur 15: Faktisk og gjennomsnittlig forbruk av armering for betongbruer

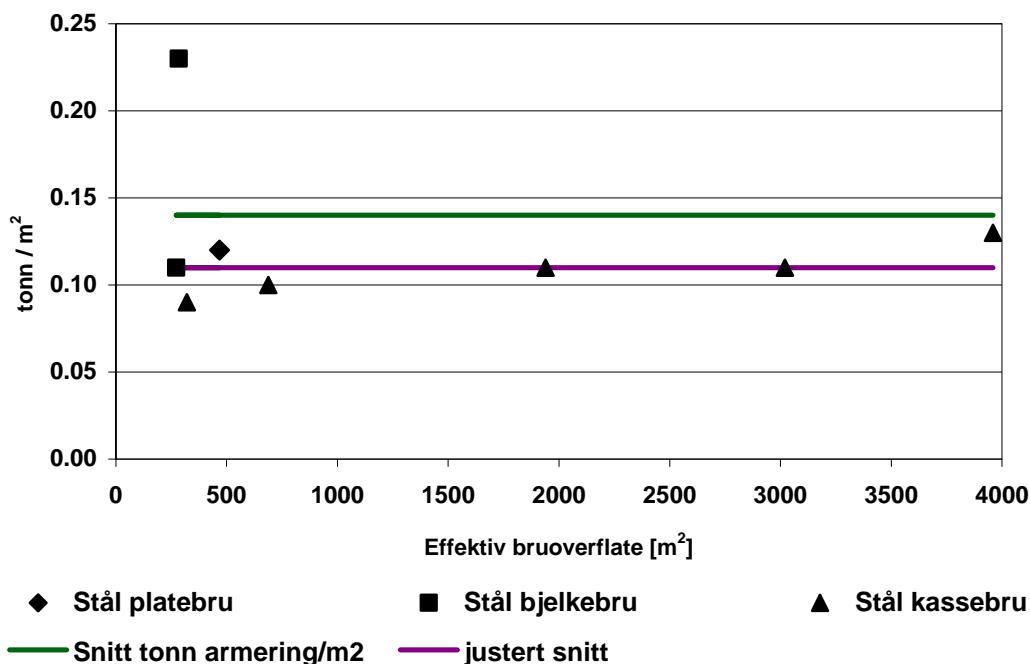
Figur 16, Figur 17 og Figur 18 viser faktisk forbruk av stål, betong og armering for stålbruene, gjennomsnittlig forbruk (grønn linje) og justert gjennomsnittlig forbruk (lilla linje), der høyeste og laveste verdi er utelatt.



Figur 16: Faktisk og estimert forbruk av stål i stålbruer



Figur 17: Faktisk og estimert forbruk av betong i stålbruer



Figur 18: Faktisk og estimert forbruk av armering i stålbruer

I beregningsmetodikk for mengder (Vedlegg 1) er det benyttet justert snitt.

#### 7.1.4 Ferger

Materialforbruk i ferger er oppgitt av Veritas (DNV 2009), inndelt i følgende materialgrupper: 'Stål', 'Aluminium', 'Plast, kompositt, glass, porselen', 'Komponent Stål' og 'Komponent El'. Det er oppgitt at gruppen 'Komponent Stål' utgjør gjenstander som består hovedsakelig av stål, men også andre gjenstander. Gruppen 'Komponent El' utgjør gjenstander som hovedsakelig består av plast og kobber, men også noe stål og andre metaller. For våre beregninger antas 'Komponent Stål' å bestå kun av stål og 'Komponent El' antas å bestå av 50 % kobber og 50 % plast. Gruppen 'Plast, kompositt, glass, porselen' utgjør 4-5 % av totalvekt i fergerne, men utelates i denne utgaven av beregningsverktøyet da man ikke har forutsetningene for å anslå mengde per enkelt-material. Materialmengdene for de ulike fergetypene som er inkludert i EFFEKT er gitt i Tabell 15.

Tabell 15: Materialforbruk i ferger

Fergetype	PBE	Stål [tonn]	Aluminium [tonn]	Maling [tonn]	Kobber [tonn]	Plast [tonn]
Kabelferge	20	232	0	0	2,5	2,5
Pendelferge	35	560	1	1	7,5	7,5
Pendelferge	50	762	1	1	11,5	11,5
Pendelferge	100	1146	1	1	19	19
Pendelferge	112	1343	2	2	42	42
Pendelferge	120	1583	2	2	28,5	28,5
Pendelferge	150	1607	2	2	27	27
Pendelferge	200	2999	4	4	38,5	38,5

Mengdene er basert på undersøkelser for en pendelferge på 120 PBE og skalert opp eller ned for de resterende fergene med hensyn på ulike parametre for ulike materialer, for eksempel er stålmengde i skrog skalert med hensyn på skipets vekt mens kobber og plast i elektrisk utstyr er skalert i forhold til motoreffekt. Pendelferge med PBE på 112 er en katmaran med større motoreffekt enn de andre pendelferene, og vil derfor ha større mengder materialer i motoren enn pendelferger med høyere PBE. For mer detaljert beskrivelse av metodikk og mer detaljerte resultater henvises det til rapporten *Materialforbruk i fergekonstruksjoner* utarbeidet av Veritas for Vegdirektoratet (DNV 2009).

For driftsfasen av ferger antas det at fergene males hvert 2. år. Energiforbruk i drift av fergene er allerede inkludert i beregningene i EFFEKT.

## 7.2 *Miljødata*

Livsløpsdata for energiforbruk og utslipp av klimagasser for materialene som inngår i metodikken er opprettet ved bruk av LCA-verktøyet SimaPro og LCI-databasen Ecoinvent. Det er for det meste tatt utgangspunkt i eksisterende prosesser i Ecoinvent og gjort tilpasninger på disse for bedre representativitet for norske forhold. I noen tilfeller er nye prosesser opprettet på grunnlag av datainnsamling hos interne krefter, entreprenører og produsenter. Videre følger beskrivelser for alle materialene.

### 7.2.1 **Asfalt**

Det ble opprettet en ny prosess for asfaltproduksjon. Energiforbruk benyttet er oppgitt av Foreningen Asfalt og Veiservice (FAV). FAV dekket 72 % av Norsk produksjon av asfalt i 2008, og tallene gjelder for total produksjon av asfaltprodukter, hvorav ordinær varmasfalt utgjør i overkant av 96 %. Det er antatt 95 % tilslag (grus) og 5 % bitumen i asfalten.

### 7.2.2 **Pukk**

Ny prosess er opprettet med utgangspunkt i eksisterende prosess i ecoinvent for knust grus. Energiforbruk ved produksjon av 1 tonn pukk er antatt i henhold til opplysninger fra Franzefoss: 2,21 l diesel og 2,26 kWh elektrisitet. Nordisk elektrisitet smiks benyttet. Infrastruktur er ikke inkludert.

### 7.2.3 **Asfaltert grus**

Samme prosess som for asfalt er benyttet her, med mengde bitumen redusert til 4,5 % og grus økt til 95,5 %.

### 7.2.4 **Sprengstein**

Ny prosess med bruk av 1 kg sprengstoff per fast m<sup>3</sup> fjell i åpent terreng. Inkluderer bruk av gravemaskin (egen prosess i ecoinvent, per m<sup>3</sup> masse, omgjort til per tonn sprengt stein).

### **7.2.5 Asfaltmembran**

Her er eksisterende prosess for produksjon av *Asphalt Mastic* benyttet. Elektrisitetsmiks er endret til nordisk og forbruk av infrastrukturen er fjernet.

### **7.2.6 Stål**

Ny prosess med 39 % stål produsert fra resirkulert stål og 61 % fra jomfruelig stål er opprettet. Dette er gjennomsnittlig fordeling for Europa i 2005 (Eurofer.org). Det er antatt nordisk produksjon av begge typene, ved at elektrisitetsforbruket i produksjonen er endret til nordisk produksjonsmiks.

### **7.2.7 Betong**

Ny prosess opprettet med utgangspunkt i eksisterende prosess i ecoinvent for produksjon av betong. Sementen som inngår i produksjonen er egendefinert i tråd med Norcem's EPD for anleggssement<sup>12</sup> (2007). Videre er bruk av infrastruktur utelatt og elektrisitetsmiks er endret til nordisk.

### **7.2.8 Armering**

Ny prosess opprettet med utgangspunkt i eksisterende prosess i ecoinvent for armeringsstål. Andel skrap i produksjonen er endret til 75 % og elektrisitetsmiksen er endret til nordisk miks.

### **7.2.9 PE-skum**

Ny prosess med utgangspunkt i produksjon av polyetylengranulat opprettet. Det er lagt til en prosess for bearbeiding av granulatene til skum. Elektrisitetsmiks er endret til nordisk.

### **7.2.10 Sprengstoff**

Prosess for sprengning i ecoinvent benyttet som utgangspunkt. Produksjon av sprengstoffet er endret ved at elektrisitetsmiks er endret til nordisk og infrastruktur er utelatt.

### **7.2.11 Aluminium**

En produksjonsmiks for aluminium fra jomfruelig materiale og fra gjenbrukt aluminium er benyttet. Begge produksjonsmetodene er endret ved at elektrisitetsmiks er endret til nordisk samt at infrastruktur er fjernet.

### **7.2.12 Maling**

Eksisterende prosess for produksjon av maling er endret ved at elektrisitetsmiks er endret til Nordisk samt at infrastruktur er fjernet.

---

<sup>12</sup> NEPD nr: 021N

### **7.2.13 Kobber**

Eksisterende prosess er benyttet, infrastrukturen fjernet.

### **7.2.14 Plast**

Eksisterende prosess i ecoinvent er benyttet, med endring på elektrisitetsmiks til nordisk samt at infrastruktur er fjernet.

### **7.2.15 Transportarbeid**

Eksisterende prosess i ecoinvent for transport med 16-32 tonns lastebil benyttet. Slitasje av lastebil og veg er utelatt. Dataene er basert på en gjennomsnittslast på 10 tonn og transportlengde på 540 000 km gjennom levetiden til lastebilen.

### **7.2.16 Diesel**

Eksisterende prosess i ecoinvent for bruk av anleggsmaskineri er benyttet. Dieselproduksjonen er omgjort til å være basert på kun norsk råolje og infrastruktur er utelatt. Det er antatt energiinnhold på 38,6 MJ per liter diesel.

### **7.2.17 Elektrisitet**

Eksisterende prosess i ecoinvent for produksjon av nordisk-elektrisitet er benyttet. Infrastrukturen er utelatt.

## **7.3 *Beregningsmetodikk***

Mengder materialer og energi beregnes ut fra ulike parametre som legges inn i EFFEKT, for eksempel beregnes mengde asfalt i slitelaget ut fra overflaten på vegen samt ÅDT som definerer tykkelsen på slitelaget. For hvert vegelement vil mengder for like materialer legges sammen og videre multipliseres med utslippsparameteren for det materialet. Alle utslipp knyttet til byggefasen justeres slik at kun den andelen som kan tilskrives analyseperioden inkluderes i resultatet. Når utslipp og energibruk for alt materialforbruk for hvert relevante vegelement er beregnet, summeres dette til én totalscore. Det tas ikke hensyn til når eller hvor utslippene forekommer, slik at sluttresultatet vil inneholde utslipp som forekommer både innenfor og utenfor Norges grenser, og utslipp som forekommer frem i tid i bruksfasen er gitt samme vekt som utslipp som forekommer i byggeåret. Detaljert beskrivelse av utregningene samt koeffisienter for energibruk og klimagassutslipp er gitt i vedlegg.





## 8 Usikkerheter

Beregningsmetodikken vil innebære usikkerheter knyttet til både forgrunnssystemet og bakgrunnssystemet. Usikkerhetene er av ulik karakter for disse to, og behandles derfor separat.

### 8.1 Forgrunnssystemet

Usikkerheter i forgrunnssystemet er knyttet til mengdeberegninger og de ulike antagelsene som er tatt her. Tabell 16 gir en oversikt over usikkerheter og behov for utbedring i beregningen av material- og energiforbruk i de ulike vegelementene. Nærmere forklaring per materiale og vegelement følger.

Tabell 16: Usikkerheter og behov for utbedring i beregning av de ulike parametrene

Element	Material	Grad av usikkerhet	Betydning i totalresultat	Behov for utbedring
Veg i dagen	Sprengstoff	Lav	Lav	Lav
	Transportarbeid	Middels	Lav/middels	Middels
	Anleggsmaskineri	Høy	Middels/lav	Middels
	Sprengstein	Lav	Lav	Lav
	Asfaltgrus	Lav	Lav	Lav
	Pukk	Lav	Lav	Lav
	Asfalt	Lav	Høy	Lav/middels
	Stål	Høy	Høy	Høy
	Elektrisitet	Middels	Høy	Høy
Tunnel	Sprengstoff	Lav	Lav	Lav
	Transportarbeid	Lav	Lav	Lav
	Betong	Middels	Middels	Middels/høy
	Armering	Middels	Middels	Middels/høy
	Stål	Middels	Lav	Lav
	PE-skum	Middels	Lav	Lav
	Elektrisitet	Høy	Høy	Høy
Bru	Betong	Middels/høy	Middels	Middels/høy
	Armering	Middels/høy	Middels	Middels/høy
	Stål	Middels/høy	Middels	Middels/høy
	Asfaltmembran	Middels/høy	Middels	Middels/høy
Ferge	Stål	Lav/middels	Ukjent	Middels
	Aluminium	Lav	Ukjent	Lav/middels
	Maling	Lav	Ukjent	Lav/middels
	Kobber	Middels	Ukjent	Middels/høy
	Plast	Middels/høy	Ukjent	Middels/høy

### 8.1.1 Veg i dagen

Mengder av sprengstoff, transportarbeid og bruk av anleggsmaskineri er basert på fylkesvise gjennomsnittstall for skjærings- og fyllingshøyde. Disse faktorene benyttes i EFFEKT for beregning av behov for skråningssikring innenfor drift og vedlikehold. Usikkerhet ved disse faktorene avhenger av hvor stor variasjon det er i faktisk skjærings- og fyllingshøyde for alternativene innenfor et prosjekt i forhold til gjennomsnittet oppgitt for vedkommende fylke. Dette er ukjente størrelser, og graden av usikkerhet er dermed også ukjent.

Beregninger av bruk av sprengstoff innebærer lav usikkerhet, da kun usikkerhet forbundet med de fylkesvise snittallene representerer usikkerheten her. I tillegg er dette en parameter som ikke spiller veldig mye inn på de totale resultatene. Transportarbeid beregnes med antagelser på mengder av masser som må forflyttes og hvor langt de skal transporteres. Usikkerheten her er vurdert til middels, og betydning i totalresultat er samtidig lav.

Beregning av dieselforbruk i anleggsmaskineri inkluderer også en antagelse på at flytting av masser fra skjæring til fylling krever et forbruk av 0,3 l diesel per m<sup>3</sup> masse. Dette innebærer en viss usikkerhet, i tillegg vil behovet for bruk av anleggsmaskineri variere med terreng og type masser. Til sammen vil anslag på bruk av anleggsmaskineri innebære stor grad av usikkerhet. Imidlertid er ikke dette en viktig parameter i forhold til totalt resultat for vegprosjekter.

Materialforbruket i de ulike lagene i vegen beregnes ut fra tykkelser som varierer med årsdøgnstrafikken og bredden på vegen. Det er parametre man har rimelig god kontroll på, og usikkerhetene her er vurdert til lave. Videre er disse materialenes innvirkning på totalresultatene lave, med unntak av asfalten i slitelaget. Forbruk av stål i rekkverk beregnes ved fylkesvise snittall samt et snitt for mengde stål per km rekkverk. Dette innebærer høy usikkerhet, da andel rekkverk vil variere mye innen hvert fylke, samt at det benyttes ulike typer rekkverk med ulik mengde stål per km. Videre har denne parameteren relativt høy innvirkning på totalresultatet.

Elektrisitetsforbruk til vegbelysning i driftsfasen beregnes ut fra antall meter med belysning samt forbruk per meter veg belyst. Denne antas i utgangspunktet å innebære lav grad av usikkerhet. Imidlertid vil teknologiutviklingen sannsynligvis spille en relativt stor rolle her, da man stadig tar i bruk mer energieffektiv belysning langs vegene. Usikkerheten vurderes totalt til middels. Videre har dette forbruket stor påvirkning på totalresultatet.

### 8.1.2 Tunnel

Mengden av sprengstoff beregnes ut fra tunnelens geometri samt antagelse på sprengstofforbruk per m<sup>3</sup> fjell sprengt ut. Dette innebærer lav usikkerhet, og parameteren har lav innvirkning på totalresultatet.

Transportarbeid for utsprengt fjell innebærer usikkerhet i forhold til transportavstand. Dette er vurdert til lav usikkerhet, videre har denne parameteren lav betydning i totalen.

Mengden av betong og armering i tunnelportaler avhenger av lengden på portalene. Denne kan variere fra rundt 10 meter til opptil 100 meter. Det er imidlertid langt

flest portaler i størrelsesorden 10-15 meter, og usikkerheten for disse mengdene antas derfor til å være middels. Påvirkning på totalresultatet er også middels (dette varierer selvfølgelig med andel tunnel av hele vegstrekket som analyseres).

Forbruk av betong, stål og PE-skum til sikring og tetting av tunnelen beregnes ut fra antagelser om et gjennomsnittsforkbruk per meter tunnel. Antagelsene er basert på de mest vanlige tilfellene, og er vurdert til å dekke om lag 80 % av tunnelene som bygges i Norge i dag. Dette innebærer middels usikkerhet. Disse parametrene har liten innvirkning på totalresultatet.

Forbruk av elektrisitet i bruksfasen av tunneler gjelder belysning, ventilasjon og pumping. Her er det tatt noen foreløpige antagelser som bør utbedres. Belysning er antatt lik i tunnelene som for veg i dagen. Elektrisitetsforbruk i pumper er satt til 70 % av for bruk til belysning (basert på rapport om undersjøiske tunneler, Melby m.fl 2002). Her er det dermed svært stor grad av usikkerhet, samt at dette er en parameter med stor innvirkning på totalresultatet.

### 8.1.3 Bru

Grafene som viser faktisk og gjennomsnittlig forbruk av hovedmaterialene for betong- og stålbruene viser relativt store avvik mellom faktisk og gjennomsnittlig forbruk. Utrekninger viser at gjennomsnittelig avvik ligger på 17 %. Dette representerer middels grad av usikkerhet. I tillegg vil forenklingen ved å inkludere kun 4 av materialene som inngår i bruene også innebære en viss usikkerhet. Denne er kvantifisert for Hillersvika betongbru til 7,0 % og for Klenevågen stålbru til 10,6 %. Totalt gir dette middels til høy usikkerhet. Når det gjelder bidrag til totalresultatet vil dette selvfølgelig variere med andel bruer i vegstrekket. Man kan likevel fastslå at bidragene ligger i størrelsesorden middels viktig.

### 8.1.4 Ferge

De største usikkerhetene for materialbruk i ferger er relatert til forenkling av oppgitte mengder av materialgrupper fra konsulent (Veritas). Materialgruppene 'Plast, kompositt, glass, porselen', 'Komponent Stål' og 'Komponent El' består av flere typer materialer, men er oppgitt som én mengde. For våre beregninger er det antatt 'Komponent Stål' å bestå kun av stål og 'Komponent El' antas å bestå av 50 % kobber og 50 % plast. Gruppen 'Plast, kompositt, glass, porselen' utelates i denne utgaven av beregningsverktøyet. Disse til dels grove tilnærmingene er gjort i mangel på tid, og bør utbedres i videre arbeid. Siden mengdene av kobber og plast, samt deler av stålmengdene er usikre, settes behov for utbedring til Middels/høy for kobber og plast og Middels for stål.

Mengder for stål, aluminium og maling er oppgitt med tilfredsstillende nøyaktighet.

Når det gjelder ulike materialers betydning i totalresultat (jamfør Tabell 16) er ikke dette undersøkt for ferger, det er likevel angitt grad av nødvendighet for utbedring av materialberegninger.

## 8.2 *Bakgrunnssystemet*

Usikkerheter her er knyttet til koeffisientene for energibruk og klimagassutslipp for de ulike materialene/prosessen. Usikkerhetene her er knyttet til graden av *representativitet* for de produksjonsprosessene man velger. Alle prosessene som er benyttet er produsert ved europeisk teknologi, og dataene er fra 2000 eller senere. Produksjon er tilpasset norske forhold ved at elektrisitetsmiksen er endret fra europeiske eller landsspesifikke mikser til nordisk miks. Dette er kun gjort i sluttproduksjonen, og ikke bakover i verdikjeden. For eksempel er produksjonen av sprengstoff endret til å gjøres med Nordisk elektrisitetsmiks, mens for produksjon av materialene som er benyttet i produksjon av sprengstoff er ikke elektrisitetsmiksen endret. Størrelsen på feil man får som følge av dette er ikke kjent, men for de fleste materialene er hovedsaken av utslippene knyttet til sluttproduksjonen, og feilen blir dermed ikke stor.

## 8.3 *Resulterende usikkerhet*

Total usikkerhet er ikke kvantifisert da man ikke har god nok kontroll på alle usikkerheter så langt. Men det antas at samlet usikkerhet er relativt høy. På grunn av at man har så liten kontroll på usikkerheten anses denne utgaven av beregningsmetodikken som foreløpig og den skal forbedres etter hvert som man får kvalitetssikret antagelsene som er gjort og testet metodikken ut på flere prosjekter.

## 9 Videre arbeid

Metodikken er stort sett klar for implementering i EFFEKT. Dette planlegges utført våren 2010 av en ekstern aktør. Det er imidlertid noen grep som kan tas før metodikken programmeres inn. Parametre for beregning av stålforbruk i rekkverk samt bruk av elektrisitet i driftsfasen av veg i dagen og tunneler kan forbedres. Elektrisitetsforbruk til driving av tunneler kan også forbedres. Dette er parametrene som er vurdert til å ha høyt behov for utbedring. Videre bør antagelser vedrørende materialforbruk i tunnelportaler kvalitetssikres og forbedres om dette finnes nødvendig.

Det vil være en fordel om noen med god kjennskap til EFFEKT og beregninger som foretas her kan gå gjennom metodikken utviklet her, slik at man kan få vurdert hvordan dette passer inn i de totale nytte-kostnadsberegningene.

Ved programmering vil det vise seg om metodikken fungerer som den er tenkt, og det vil kunne dukke opp behov for tilpasninger og endringer. Det kan i alle tilfelle vise seg å være nødvendig med noe samarbeid med den eksterne part som skal foreta programmeringen, da man typisk i denne fasen vil kunne oppdage feil eller mangler, eller det kan av ulike grunner oppstå misforståelser som gjør at feil sniker seg inn. Deltagelse i programmering kan, med tanke på dette, fungere som en kvalitetssikring av metodikken.

Det skal utarbeides en brukermanual og dokumentasjon for denne metodikken som en supplering til brukerveiledning og dokumentasjon for EFFEKT.

Det er videre flere forbedringer i data og beregninger som bør gjøres, og som kan programmeres inn i senere oppdateringer av EFFEKT om man ikke rekker det i første runde. Estimat på materialforbruk i stål- og betongbruer kan forbedres ved å gjøre analyser på flere bruer, spesielt av de størrelsene som ikke er representert. Videre kan også lignende estimat gjøres for de mest bygde trebru-typene. Massetransport og bruk av anleggsmaskineri i byggefasen er størrelser hvor antagelsene er svært usikre, disse kan forbedres etter hvert som man får mer kunnskap om energibruk i byggefasen gjennom prosjekter i samarbeid med entreprenører. Materialforbruk i ferger bør forbedres ved at mengder som er oppgitt samlet for flere typer materialer bør splittes opp på en mer kontrollert måte.

Det kan gjøres noen analyser på endring av elektrisitmiks bakover i verdikjeden for produksjon av materialer (jfr avsnitt 8.2), slik at en får kontroll på eventuell feil dette innebærer og dersom det viser seg å være behov for det kan dette endres for de viktigste materialene.

Metodikken skal prøves ut på noen utvalgte allerede utbygde prosjekter, slik at en kan sammenligne med faktiske forbruk av materialer og energi i bygge- og bruksfasen av prosjektene. Dette vil gi mer sikre indikasjoner på nøyaktigheten i metodikken, og hvilke deler som bør utbedres. Dette vil også muliggjøre en kvantifisering av usikkerhetene i metodikken.

Justeringer som kommer som følge av endret metodikk gjennom samarbeidsprosjektet med de andre transportetatene gjøres etter hvert som behovet dukker opp og EFFEKT skal oppdateres.

## 10 Referanser

Birgisdottir H. (2005), Life cycle assessment model for road construction and use of residues from waste incineration, PhD thesis, Institute of Environment and Resources, Technical University of Denmark.

Birgisdottir H. (2008), Anlæg af 1 km motorvej = 1030 tons CO<sub>2</sub> og 750 tons råolje – og meget mere. Dansk Vejtidskrift, Desember 2008.

Det Norske Veritas, Atle Ellefsen, *Materialbruk i fergekonstruksjon*, 2009, DNV Reg. No.: 1758-2009, Rev. 0, 2009-11-11

Det Norske Veritas, *Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge. Livsløpsanalyse som grunnlag for sammenligning av alternative fjordkryssninger*, 2000, Bruavdelingen, Otto Kleppe (red), Statens Vegvesen, Vegdirektoratet

Ecoinvent, *Ecoinvent Database v2.01*. 2008, Swiss Centre For Life Cycle Inventories

ETSI Project (Stage 2), *Bridge Life Cycle Optimisation*, 2009, Helsinki University of Technology, Lauri Salokangas (red)

Frischnecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. (2003) Overview and methodology. Ecoinvent report No. 1. Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003

Løseth, M. *A model for estimating the Global Warming Potential of the Norwegian Electricity Supply in a Life Cycle Perspective* (2008), Masteroppgave ved Norges Teknisk- og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Program for Industriell Økologi

Martinopoulos G., Tsilingirdis G., Kyriakis N. (2007), Three eco-tool comparison with the example of the environmental performance of domestic solar flat plate hot water systems, *Global NEST Journal*, vol 9, No2, pp 174-181, 2007.

Mehlum, Arnstein (2009), Statens Vegvesen Region Midt, privat korrespondanse 22.09.09.

Melby, K, Øvstedal, E., Amundsen, F. H., Ranæs, G. *Subsea road tunnels in Norway* (2002), Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, Publication no 98, 2002

PRÉConsultants, *SimaPro 7.1.5*. 2008

Sandvik, Kjell Ottar (2009), Forprosjekt, Metode for beregning av energibruk og klimagassutslipp for vegprosjekter. Utbyggingsavdelingen. Transportanalyseksjonen. Rapportnr:2009/1.

Schlaupitz H (2008), Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer – effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge. Norges Naturvernforbund, Rapport 3/ 2008.

Stripple, H. (2001), *Life Cycle Assessment of Road – A Pilot Study for Inventory Analysis*, Second Revised Edition (Translation from Swedish original from 1995), IVL Swedish Environmental Research Institute.

Weidema, B P, Frees N, Nielsen A-M (1999), Marginal Production Technologies for Life Cycle Inventories. *International Journal of Industrial Ecology* 4 (1): 48-56.



**Beregningsmetodikk for mengder**


---

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Veg i dagen .....</b>	<b>3</b>
2.1	Materialforbruk i forsterkningslag, bærelag og slitelag .....	3
2.2	Sprengning, transportarbeid og bruk av anleggsmaskineri .....	4
2.3	Rekkverk .....	6
2.4	Drift og vedlikehold .....	6
<b>3</b>	<b>Tunnel og tunnelportaler .....</b>	<b>7</b>
3.1	Driving, sprengning og transportarbeid .....	7
3.2	Drift og vedlikehold .....	8
<b>4</b>	<b>Bruer .....</b>	<b>9</b>
4.1	Bygging .....	9
4.2	Drift og vedlikehold .....	10
<b>5</b>	<b>Ferger .....</b>	<b>10</b>
5.1	Bygging .....	10
5.2	Drift og vedlikehold .....	10
<b>6</b>	<b>Totalt materialforbruk .....</b>	<b>11</b>

# 1 Innledning

Ligninger for beregning av material- og energibruk i de ulike vegelementene er gitt i det følgende. Forkortelse for materialene er gitt i Tabell 1. Andre faktorer og forkortelser er forklart underveis ettersom de brukes.

Tabell 1: Symbolforklaring

Material	Forkortelse
Asfalt	AS
Pukk	PU
Asfaltert grus	ASG
Sprengstein	SP
Asfaltmembran	ASM
Stål	ST
Betong	BE
Armering	AR
PE-skum	PE
Sprengstoff	SS
Aluminium	AL
Maling	MA
Kobber	KO
Plast	PL
Transportarbeid	TR
Diesel, anleggsmaskineri	DI
Elektrisitet (Nordel)	EL

Ligninger som viser utregning av materialmengder forbrukt er skrevet med uthevet skrift. Mellomregninger er skrevet med normal skrift.

## 2 Veg i dagen

### 2.1 Materialforbruk i forsterkningslag, bærelag og slitelag

Antall tonn sprengstein i forsterkningslag,  $SP_{veg}$ :

$$SP_{veg} [\text{tonn}] = (T_{fl} * L_v * B_v * 1,9 \text{ tonn/m}^3) * 25/40$$

Antall tonn pukk i bærelag,  $PU_{veg}$ :

$$PU_{veg} [\text{tonn}] = (0,90 * T_{bl} * L_v * B_v * 1,4 \text{ tonn/m}^3) * 25/40$$

Antall tonn asfaltert grus i bærelag,  $ASG_{veg}$ :

$$ASG_{veg} [\text{tonn}] = (0,10 * T_{bl} * L_v * B_v * 2,4 \text{ tonn/m}^3) * 25/40$$

Antall tonn asfalt i slitelag,  $AS_{veg}$ :

$$AS_{veg} [\text{tonn}] = (T_{sl} * L_v * B_v * 2,5 \text{ tonn/m}^3) * 25/40$$

$T_{fl}$  : Tykkelse på forsterkningslag (avhenger av ÅDT, se Tabell 2)

$T_{bl}$  : Tykkelse på bærelag (avhenger av ÅDT, se Tabell 2)

$T_{sl}$  : Tykkelse på slitelag (avhenger av ÅDT, se Tabell 2)

$L_v$  : Lengde på veglenken (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vegstandard)

$B_v$  : Vegbredde (Vegbredde inkluderer skulderbredde og legges inn av bruker i EFFEKT under lenkedata, vegstandard)

1,9 tonn /  $m^3$  = Materialtetthet for sprengstein

1,4 tonn /  $m^3$  = Materialtetthet for pukk

2,4 tonn /  $m^3$  = Materialtetthet for asfaltert grus

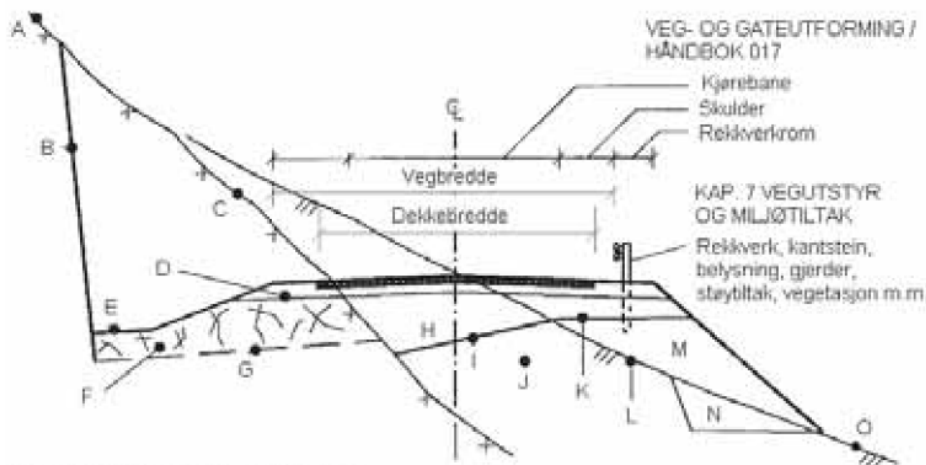
2,5 tonn /  $m^3$  = Materialtetthet for asfalt

25/40 = analyseperiode/levetid

Tabell 2 viser tykkelsen for de ulike lagene i vegkroppen i forhold til ÅDT. Vegen skal dimensjoneres i forhold til ÅDT i år 20 i analyseperioden.

Tabell 2: Tykkelse på forsterkningslag, bærelag og slitelag for ulike ÅDT-klasser

ÅDT	Tykkelse forsterknings- lag (m) $T_{fl}$	Tykkelse bærelag (m) $T_{bl}$	Tykkelse slitelag (m) $T_{sl}$
< 1 500	0,40	0,14	0,04
< 4 000	0,50	0,15	0,06
< 8 000	0,60	0,17	0,08
< 12 000	0,65	0,18	0,08
< 20 000	0,75	0,18	0,08
> 20 000	0,80	0,18	0,08



Figur 1: Vegens elementer (figur 001.2 HB 018)

A: Skråning i fjell	E: Fanggrøft	H: Utkilning	L: Rensking
B: Skjæring i fjell	F: Dypsprengning	I: Skjæring i jord	M: Fylling
C: Avdekning fjelloverflate	G: Sprengningsnivå	J: Evt grunnforsterkning	N: Fyllingssåle
D: Planum		K: Planum	O: Skråning i jord

## 2.2 Sprengning, transportarbeid og bruk av anleggsmaskineri

Antall fast m<sup>3</sup> fjell sprengt ut i linja, FJ<sub>veg</sub>:

$$FJ_{veg} [fm^3] = AN_f * L_v * A_s$$

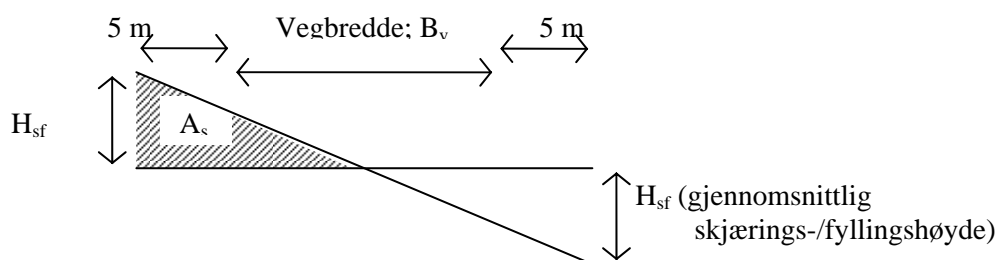
AN<sub>f</sub>: Andel fjell (fylkesvise snittall, se Tabell 3)

L<sub>v</sub>: lengde på veglenken

A<sub>s</sub> [m<sup>2</sup>], Skjæringsareal = 1/2 \* ((1/2 \* B<sub>v</sub> + 5 m) \* H<sub>sf</sub>) (se Figur 2)

H<sub>sf</sub>: gjennomsnittlig skjærings-/fyllingshøyde (se Figur 2 og Tabell 3)

5 m: 5 m legges til på hver side av vegbredden for å inkludere grøft



Figur 2: Skjæringsareal, A<sub>s</sub> (jamfør Figur 1)

Antall kg sprengstoff brukt i linja, SS<sub>veg</sub>:

$$SS_{veg} [kg] = (1 \text{ kg} / \text{m}^3 * FJ_{veg}) * 25/40$$

Det er antatt at det forbrukes 1 kg sprengstoff per m<sup>3</sup> masse sprengt

Mengde løsmasser gravd ut, LM:

$$LM [m^3] = (1 - AN_f) * L_v * A_s$$

AN<sub>f</sub>: Andel fjell (fylkesvise snittall, se Tabell 3)

Mengde masser for fylling, LM<sub>fylling</sub>:

$$LM_{fylling} [m^3] = L_v * A_s \text{ (areal for utfylling = skjæringsareal, se Figur 2)}$$

Transportarbeid for sprengt stein,  $TR_{\text{spregstein}}$ :

$$TR_{\text{spregstein}} [\text{tkm}] = (FJ_{\text{veg}} * 2,65 \text{ tonn/m}^3 * 1 \text{ km}) * 25/40$$

Det er antatt at de sprengte steinmassene transporteres 1 km i snitt (dvs de brukes i linja)

$$2,65 \text{ tonn / m}^3 = \text{Materialtetthet for fast fjell}$$

Transportarbeid for løsmasser,  $TR_{\text{løsmasser}}$ :

$$TR_{\text{løsmasser}} [\text{tkm}] = (LM * 1,8 \text{ tonn/m}^3 * 1 \text{ km}) * 25/40$$

Det er antatt at løsmasser for fylling i snitt transporteres 1 km

$$1,8 \text{ tonn / m}^3 = \text{Materialtetthet for løsmasser}$$

Totalt transportarbeid vegstrekket,  $TR_{\text{veg}}$ :

$$TR_{\text{veg}} [\text{tkm}] = TR_{\text{spregstein}} + TR_{\text{løsmasser}}$$

Bruk av diesel i anleggsmaskineri,  $DI_{\text{veg}}$ :

$$DI_{\text{veg}} [\text{l}] = (0,3 \text{ l/m}^3 * (FJ_{\text{veg}} + LM)) * 25/40$$

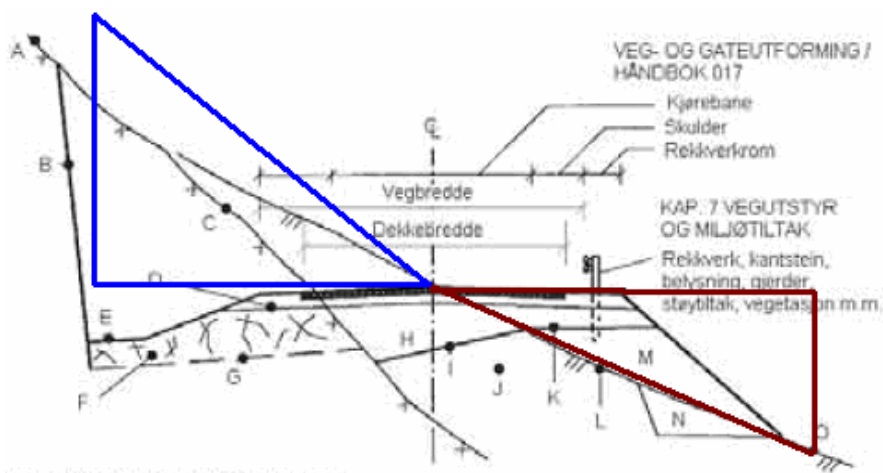
0,3 l / m<sup>3</sup> = Dieselforbruk per m<sup>3</sup> fjell og løsmasser forflyttet innad i linjen.

Antagelsen er basert på at bruk av gravemaskin forbruker 0,15 liter diesel per m<sup>3</sup> (Ecoinvent 2008). Dette er multiplisert med 2 for å dekke opp bruk av annet maskineri til å spre massene utover samt komprimere dem.

Tabell 3: Fylkesvise gjennomsnittsverdier for skjærings-/fyllingshøyde, andel fjell og rekkverksandel

Fylke	Gjennomsnittlig skjærings-/fyllingshøyde $H_{sf}$	Andel fjell $AN_f$	Rekkverksandel $AN_r$
Østfold	1,0	0,25	0,26
Akershus	1,0	0,25	0,35
Oslo	1,0	0,25	0,91
Hedmark	1,0	0,25	0,18
Oppland	1,5	0,40	0,35
Buskerud	1,5	0,40	0,29
Vestfold	1,5	0,40	0,29
Telemark	1,5	0,50	0,32
Aust-Agder	1,5	0,50	0,35
Vest-Agder	1,5	0,50	0,38
Rogaland	1,5	0,60	0,53
Hordaland	1,8	0,80	0,50
Sogn og Fjordane	1,8	0,80	0,48
Møre og Romsdal	1,5	0,60	0,46
Sør-Trøndelag	1,5	0,40	0,38
Nord-Trøndelag	1,5	0,40	0,24
Nordland	1,5	0,40	1,16
Troms	1,5	0,35	0,29
Finnmark	1,0	0,30	0,24

Gjennomsnittlig fyllingshøyde er høyden mellom grøft og skjæringstopp, mens fyllingshøyde er høyden mellom vegskulder og terrenget nederst i fylling (se figur Figur 1). Utregningene her er en ytterligere forenkling av dette, da skjæringshøyden er satt som høyden fra vegen opp til skjæringstopp, uten å ta hensyn til at denne vil skrå utover fra vegen. Fyllingshøyden er den samme, men det er heller ikke her tatt hensyn til at man får en skråning fra vegskulder og ned (Figur 2). Figur 3 nedenfor illustrerer forskjellen på de beregnede arealene for skjæring (blå trekant) og fylling (rød trekant). Fyllings- og skjæringsareal har ikke lik størrelse her, da fyllings- og skjæringshøyde er ulike i figuren som er benyttet. I dette tilfelle ser en at feilen for skjæringsareal ikke er stor, men at for fylling blir det beregnet til dels stort overforbruk av materialer.



Figur 3: Illustrasjon av beregnede og faktiske skjærings- og fyllingsareal

### 2.3 Rekkverk

Antall tonn stål i rekkverk,  $ST_{\text{rekkverk}}$ :

$$ST_{\text{rekkverk}} [\text{tonn}] = (0,0665 \text{ tonn / m} * AN_r * L_v) * 25/40$$

Det er antatt 0,0665 tonn stål per meter rekkverk

$AN_r$  : Rekkverksandel (fylkesvise snittall, se Tabell 3)

$L_v$  : Lengde på veglenken (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vegstandard)

25/40 = analyseperiode/levetid

### 2.4 Drift og vedlikehold

Antall tonn asfalt forbrukt i vedlikehold gjennom 25 år,  $AS_{\text{vedl veg}}$ :

$$AS_{\text{vedl veg}} [\text{tonn}] = 0,65 * AS_{\text{veg}} * 2$$

Det er antatt 65 % av opprinnelig asfaltmengde benyttet ved reasfaltering og 2 reasfalteringer i løpet av 25 år

$AS_{\text{veg}}$ : opprinnelig lagt mengde asfalt

Antall kWh forbrukt til drift gjennom 25 år,  $EL_{\text{lys, veg i dagen}}$ :

$$EL_{\text{lys, veg i dagen}} [\text{kWh}] = 26,5 \text{ kWh / lm} * L_{\text{lys}} * 25 \text{ år}$$

26,5 kWh / lm = el-forbruk per løpemeter belyst i ett år

$L_{\text{lys}}$  : antall løpemeter belyst (denne legges inn i EFFEKT, under lenkedata, vedlikehold)

### 3 Tunnel og tunnelportaler

#### 3.1 Driving, sprengning og transportarbeid

Elektrisitetsforbruk i driving av tunnelen,  $EL_{\text{driving}}$ :

$$EL_{\text{driving}} [\text{kWh}] = (100 \text{ kWh/lm} * L_t) * 25/100$$

Det er antatt et forbruk på 100 kWh for hver løpemetertunnel sprengt ut  
 $L_t$ : lengde på tunnelen (meter) (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vedlikehold)

Antall kg sprengstoff forbrukt i utsprengning av tunnelen,  $SS_{\text{tunnel}}$ :

$$SS_{\text{tunnel}} = (2,2 \text{ kg/m}^3 * FJ_{\text{tunnel}}) * 25/100$$

Det er antatt et forbruk på 2,2 kg sprengstoff per  $\text{fm}^3$  fjell sprengt ut

$FJ_{\text{tunnel}} = A_{ts} * L_t * 1,1$  (Antall  $\text{m}^3$  fjell sprengt ut)

$A_{ts}$ : tverrflateareal beregnet ut fra teoretisk sprengningsprofil (se Tabell 4)

$L_t$ : lengde på tunnelen (meter) (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vedlikehold)

1,1: 10 % påslag i forhold til teoretisk sprengningsprofil pga at man må spreng ut noe mer for at utsprengt profil skal være *minimum* lik teoretisk sprengningsprofil og helt jevn sprengning ikke er mulig i praksis.

Tabell 4: Sammenheng mellom tunnelklasser og tunnelprofiler og tilhørende tverrflateareal og buelengde beregnet fra teoretisk sprengningsprofil

Tunnelklasse	A	B	C	D	E	F
Tunnelprofil	T5,5	T9,5	T10,5	T10,5	2 x T9,5	2 x T9,5
Tverrflateareal, $A_{ts}$	42,59 $\text{m}^2$	70,89 $\text{m}^2$	79,08 $\text{m}^2$	79,08 $\text{m}^2$	2 x 70,89 $\text{m}^2$	2 x 70,89 $\text{m}^2$
Buelengde $B_{ts}$	17,73 $\text{m}^2$	21,66 $\text{m}^2$	22,75 $\text{m}^2$	22,75 $\text{m}^2$	2 x 21,66 $\text{m}^2$	2 x 21,66 $\text{m}^2$

Transportarbeid for utsprengt fjell,  $TR_{\text{fjell}}$ :

$$TR_{\text{tunnel}} = (FJ_{\text{tunnel}} * 2,65 \text{ tonn/m}^3 * 2,5 \text{ km}) * 25/100$$

2,65 tonn /  $\text{m}^3$  = Materialtetthet for fast fjell

Det er antatt en gjennomsnittlig transportavstand på 2,5 km

Antall  $\text{m}^3$  sprøytebetong til vann- og frostsikring,  $BE_{\text{tunnel}}$ :

$$BE_{\text{tunnel}} = (1,20 \text{ m}^3/\text{lm} * L_t * (B_{ts,T9,5}/B_{ts,Tx,5})) * 25/100$$

1,20  $\text{m}^3$  = antatt  $\text{m}^3$  sprøytebetong per løpemetertunnelprofil T9,5

$L_t$ : lengde på tunnelen (meter) (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vedlikehold)

$B_{ts,Tx,5} / B_{ts,T9,5}$ : buelengde for gjeldende tunnelprofil dividert med buelengde for tunnelprofil T9,5 (dvs det er antatt at materialmengde benyttet i tunnelbuen er lineært avhengig av buelengden)

Antall tonn stål til sikringsbolter;  $ST_{\text{tunnel}}$ :

$$ST_{\text{tunnel}} = (0,044 \text{ tonn/lm} * L_t * (B_{ts,T9,5}/B_{ts,Tx,5})) * 25/100$$

0,044 tonn = mengde tonn stål per løpemeter for tunnelprofil T9,5

Følgende er antatt: 5 bolter med diameter 0,02 m per løpemeter tunnel (T9,5) hvorav 3 stk er 4m lange og 2 stk er 3 m lange.

Dette gir 18 m bolter, det vil si  $0,00565 \text{ m}^3$  stål

$$(3.14 * (0,01 \text{ m})^2 * 18 \text{ m} = 0,00565 \text{ m}^3)$$

Med en tetthet på  $7,85 \text{ tonn/m}^3$  for stål får vi 0,044 tonn stål pr løpemeter

Antall kg PE-skum,  $PE_{\text{tunnel}}$ :

$$PE_{\text{tunnel}} = (25 \text{ kg/lm} * L_t * (B_{ts,T9,5}/B_{ts,Tx,5})) * 25/100$$

25 kg = mengde PE-skum per løpemeter for tunnelprofil T9,5.

Antall  $\text{m}^3$  betong i tunnelportal,  $BE_{\text{portal}}$ :

$$BE_{\text{portal}} = (340 \text{ m}^3 * (B_{ts,T9,5}/B_{ts,Tx,5})) * 25/100$$

$340 \text{ m}^3$ : betongmengde for en tunnelportal på 13 meter som er antatt å representere en gjennomsnittlig tunnelportal, for tunnelprofil T9,5.

Antall tonn armering,  $AR_{\text{portal}}$ :

$$AR_{\text{portal}} = (62 \text{ tonn} * (B_{ts,T9,5}/B_{ts,Tx,5})) * 25/100$$

62 tonn: stålmengde for en tunnelportal på 13 meter som er antatt å representere en gjennomsnittlig tunnelportal, for tunnelprofil T9,5.

### 3.2 Drift og vedlikehold

Elektrisitetsforbruk til belysning av tunnelen,  $EL_{\text{lys tunnel}}$ :

$$EL_{\text{lys tunnel}} [\text{kWh}] = 26,5 \text{ kWh}/(\text{år} * \text{lm}) * L_t * 25$$

$26,5 \text{ kWh}/(\text{år} * \text{lm})$ : elektrisitetsforbruk per år per løpemeter tunnel (antatt samme som for veg i dagen)

$L_t$ : tunnallengde (m)

25: analyseperiode

Elektrisitetsforbruk til ventilasjon av oversjøisk tunnel,  $EL_{\text{vent oversj tunnel}}$ :

$$EL_{\text{vent oversj tunnel}} [\text{kWh}] = 7,5 * \text{ÅDT} * (L_t/1000)^2 * 25$$

ÅDT: årsgjennsnittstrafikk, legges inn av bruker i EFFEKT

$L_t/1000$ : tunnallengde i km ( $L_t$  er tunnallengde i meter)

25: analyseperiode

Elektrisitetsforbruk til ventilasjon av undersjøisk tunnel,  $EL_{\text{vent undersj tunnel}}$ :

$$EL_{\text{vent undersj tunnel}} [\text{kWh}] = 15,5 * \text{ÅDT} * (L_t/1000)^2 * 25$$

ÅDT: årsgjennsnittstrafikk, legges inn av bruker i EFFEKT

$L_t/1000$ : tunnallengde i km

25: analyseperiode

Elektrisitetsforbruk til pumper i undersjøisk tunnel,  $EL_{\text{pump undersj tunnel}}$ :

$$EL_{\text{pump undersj tunnel}} [\text{kWh}] = 18 \text{ kWh}/(\text{år} * \text{lm}) * L_t * 25$$

$18 \text{ kWh}/\text{år} * \text{lm}$ : elektrisitetsforbruk per år per løpemeter undersjøisk tunnel

$L_t$ : tunnallengde (m)

25: analyseperiode



## 4 Bruer

### 4.1 Bygging

For bruer skal det legges inn et nytt valg i EFFEKT; Type bru: Stål eller Betong.

Antall m<sup>3</sup> betong i betongbru, BE<sub>betongbru</sub>:

$$\mathbf{BE_{betongbru} = (1,31 \text{ m}^3/\text{m}^2 * A_{bru}) * 25/100}$$

1,31: beregnet gjennomsnittlig mengde m<sup>3</sup> betong i betongruer per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate

A<sub>bru</sub>: effektivt overflateareal for brua [m<sup>2</sup>] (legges inn i EFFEKT under lenkedata, vedlikehold)

Antall tonn armering i betongbru, AR<sub>betongbru</sub>:

$$\mathbf{AR_{betongbru} = (0,22 \text{ tonn/m}^2 * A_{bru}) * 25/100}$$

0,22: beregnet gjennomsnittlig mengde tonn armering i betongruer per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate

Antall tonn stål i stålbru, ST<sub>stålbru</sub>:

$$\mathbf{ST_{stålbru} = (0,22 \text{ tonn/m}^2 * A_{bru}) * 25/100}$$

0,22: beregnet gjennomsnittlig mengde tonn stål i stålruer per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate

Antall m<sup>3</sup> betong i stålbru, BE<sub>stålbru</sub>:

$$\mathbf{BE_{stålbru} = (0,71 \text{ m}^3/\text{m}^2 * A_{bru}) * 25/100}$$

0,71: beregnet gjennomsnittlig mengde m<sup>3</sup> betong i stålruer per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate

Antall tonn armering i stålbru, AR<sub>stålbru</sub>:

$$\mathbf{AR_{stålbru} = (0,11 \text{ tonn/m}^2 * A_{bru}) * 25/100}$$

0,11: beregnet gjennomsnittlig mengde tonn armering i betongruer per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate

Antall m<sup>2</sup> asfaltmembran i betong- og/eller stålbru, ASM<sub>bru</sub>:

$$\mathbf{ASM_{bru} = A_{bru} * 25/100}$$

Tabell 5: materialmengder per m<sup>2</sup> effektiv bruoverflate for betong- og stålruer

Material	Enhet	Betongbru	Stålbru
Betong	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>	1,31	0,71
Stål	tonn / m <sup>2</sup>	0,00	0,22
Armering	tonn / m <sup>2</sup>	0,22	0,11
Asfaltmembran	m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup>	1,00	1,00

## 4.2 Drift og vedlikehold

Ingenting er inkludert for bruer i drift- og vedlikeholdsfasen. Reasfaltering og belysning på brua blir inkludert ved at lengde på vegprosjektet inkluderer strekk over eventuelle bruer.

# 5 Ferger

## 5.1 Bygging

Materialforbruk i bygging av fergene er gitt i Tabell 6. Ligninger for beregninger av materialforbruk i fergene er ikke gitt, da dette kan ses direkte i tabellen, bortsett fra justering for levetid. Dette innebærer at materialmengdene for den eller de relevante fergene må multipliseres med faktoren 25/50 (levetid på ferger er antatt 50 år).

Tabell 6: Materialforbruk i fergekonstruksjoner

Fergetype	PBE	ST <sub>ferge</sub> Stål [tonn]	AL <sub>ferge</sub> Aluminium [tonn]	MA <sub>ferge</sub> Maling [tonn]	KO <sub>ferge</sub> Kobber [tonn]	PL <sub>ferge</sub> Plast [tonn]
Kabelferge	20	232	0	0	2,5	2,5
Pendelferge	35	560	1	1	7,5	7,5
Pendelferge	50	762	1	1	11,5	11,5
Pendelferge	100	1146	1	1	19	19
Pendelferge	112	1343	2	2	42	42
Pendelferge	120	1583	2	2	28,5	28,5
Pendelferge	150	1607	2	2	27	27
Pendelferge	200	2999	4	4	38,5	38,5

## 5.2 Drift og vedlikehold

Forbruk av maling i vedlikehold av fergene, MA<sub>vedl ferge</sub>:

$$MA_{vedl ferge} = (MA_{ferge} * 12)$$

MA<sub>ferge</sub>: opprinnelig mengde maling benyttet

12 = antall vedlikeholdsmalinger gjennom analyseperioden

## 6 Totalt materialforbruk

Tabell 7 viser faktorene for materialbruk samlet. Alle faktorer for ulike typer bruer og tunneler er inkludert i tabellen, men det vil selvfølgelig variere hvilke av disse som inngår i et vegprosjekt.

Tabell 7: Summering av totalt materialforbruk

Material	Enhet	Total	Faktorer
Asfalt	tonn	AS	$AS_{veg} + AS_{vedl\ veg}$
Pukk	tonn	PU	$PU_{veg}$
Asfaltert grus	tonn	ASG	$ASG_{veg}$
Sprengstein	tonn	SP	$SP_{veg}$
Asfaltmembran	kg	ASM	$ASM_{bru}$
Stål	tonn	ST	$ST_{rekkverk} + ST_{tunnel} + ST_{stålbru} + ST_{ferge}$
Betong	m <sup>3</sup>	BE	$BE_{tunnel} + BE_{portal} + BE_{betongbru} + BE_{stålbru}$
Armering	tonn	AR	$AR_{portal} + AR_{betongbru} + AR_{stålbru}$
PE-skum	kg	PE	$PE_{tunnel}$
Sprengstoff	kg	SS	$SS_{veg} + SS_{tunnel}$
Aluminium	tonn	AL	$AL_{ferge}$
Maling	tonn	MA	$MA_{ferge} + MA_{vedl\ ferge}$
Kobber	tonn	KO	$KO_{ferge}$
Plast	tonn	PL	$PL_{ferge}$
Transportarbeid	tkm	TR	$TR_{veg} + TR_{tunnel}$
Diesel, anleggsmaskineri	l	DI	$DI_{veg}$
Elektrisitet	kWh	EL	$EL_{lys, veg\ i\ dagen} + EL_{driving} + EL_{lys\ tunnel} + EL_{vent\ oversj\ tunnel} + EL_{vent\ undersj\ tunnel} + EL_{pump\ oversj\ tunnel} + EL_{pump\ underrsj\ tunnel}$

Faktorene for totalforbruk vil videre multipliseres med koeffisienter for energiforbruk og klimagassutslipp. Disse faktorene er gitt i Vedlegg 2.



## Koeffisienter for energibruk og klimagassutslipp

Tabell 1: Koeffisienter for energibruk

Material	Enhet	Ikke-fornybar		Fornybar			Totalt [MJ]
		Fossil [MJ]	Kjerne- kraft [MJ]	Vann- kraft [MJ]	Bio- masse [MJ]	Vind, sol, geo [MJ]	
<b>Asfalt</b>	tonn	2 990	123	36,7	9,11	1,44	<b>3 160</b>
<b>Pukk</b>	tonn	34,1	5,45	32,5	1,17	0,252	<b>73,5</b>
<b>Asfaltert grus</b>	tonn	2 740	120	36,4	9	1,38	<b>2 907</b>
<b>Sprengstein</b>	tonn	21,9	1,49	0,849	0,436	0,013	<b>24,7</b>
<b>Asfaltmembran</b>	Kg	6,53	0,156	0,142	0,07	0,0022	<b>6,9</b>
<b>Stål</b>	tonn	22 300	2 880	1 300	400	55,2	<b>26 935</b>
<b>Betong</b>	m <sup>3</sup>	198	55,7	19,7	4,12	0,483	<b>278,0</b>
<b>Armering</b>	tonn	12 600	2 000	1 090	410	40,5	<b>16 141</b>
<b>PE-skum</b>	kg	76,3	9,73	2,58	0,967	0,0475	<b>89,6</b>
<b>Sprengstoff</b>	kg	22,9	3,01	2,21	0,948	0,0277	<b>29,1</b>
<b>Aluminium</b>	tonn	90 151	22 777	22 875	631	77	<b>136 511</b>
<b>Maling</b>	tonn	71 277	6 380	907	4 148	109	<b>82 821</b>
<b>Kobber</b>	tonn	20 194	37 234	9 030	20 394	227	<b>87 078</b>
<b>Plast</b>	tonn	76 431	7 065	843	949	41	<b>85 329</b>
<b>Transportarbeid</b>	tkm	1,79	0,0236	0,00312	0,00086	0,00544	<b>1,8</b>
<b>Diesel, anleggsm.</b>	l	47,5	0,286	0,0856	0,0321	0,00544	<b>47,9</b>
<b>Elektrisitet</b>	kWh	2,54	2,94	2,28	0,8	0,065	<b>8,6</b>

Tabell 2: Koeffisienter for klimagassutslipp

<b>Material</b>	<b>Enhet</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>- ekvivalenter</b>
<b>Asfalt</b>	tonn	30,60
<b>Pukk</b>	tonn	2,39
<b>Asfaltert grus</b>	tonn	28,50
<b>Sprengstein</b>	tonn	1,80
<b>Asfaltmembran</b>	kg	0,21
<b>Stål</b>	tonn	1 610,00
<b>Betong</b>	m <sup>3</sup>	236,00
<b>Armering</b>	tonn	837,00
<b>PE-skum</b>	kg	2,47
<b>Sprengstoff</b>	kg	2,38
<b>Aluminium</b>	tonn	7 033
<b>Maling</b>	tonn	2 841,00
<b>Kobber</b>	tonn	1 693,00
<b>Plast</b>	tonn	2 264,00
<b>Transportarbeid</b>	tkm	0,13
<b>Diesel, anleggsmaskineri</b>	l	3,19
<b>Elektrisitet</b>	kWh	0,21





**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Boks 8142 Dep.  
N-0033 Oslo  
Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN: 1890-2472