

Statens Vegvesen, Region Midt  
Tidligfase klimautredning for ny E39

Utgave: Endelig versjon

## Dokumentinformasjon

---

Oppdragsgiver:	Oppdrag: Statens Vegvesen, Region Midt
Rapporttittel:	Tidligfase klimautredning for ny E39
Utgave / dato:	Endelig versjon / 22.04.2015
Arkivreferanse:	Arkiv: -
Oppdrag:	Oppdrag: 537616 – Tidligfase klimautredning for ny E39
Oppdragsleder:	Oppdrag: Håvard Bergsdal
Fag:	Oppdrag: Energi og miljø
Tema:	-
Skrevet av:	Håvard Bergsdal
Kvalitetskontroll:	Johan Berg Pettersen
Asplan Viak AS	

---

## Forord

Asplan Viak AS har vært engasjert av Statens Vegvesen, Region Midt for å gjøre en tidligfasevurdering av klimaeffektene av bygging, drift og vedlikehold av en mulig ny ferjefri E39 og de enkelte delstrekninger. Omfanget er begrenset til utslipp knyttet til infrastrukturen, og direkteutslipp fra transport og eventuell overføring av trafikk er ikke behandlet her.

Inge Alsaker har vært kontaktperson for oppdraget hos Statens Vegvesen.

Håvard Bergsdal har vært oppdragsleder hos Asplan Viak AS.

Trondheim, 22.04.2015

Håvard Bergsdal  
Oppdragsleder

Johan Berg Pettersen  
Kvalitetssikrer

## Innhold

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>4</b>
1.1	BAKGRUNN OG OMFANG .....	4
<b>2</b>	<b>FORUTSETNINGER FOR KLIMABUDSJETT</b> .....	<b>5</b>
2.1	BAKGRUNNSKILDER OG REFERANSEDOKUMENTER .....	5
2.2	FORUTSETNINGER OG TILPASNING AV INVENTAR .....	6
<b>3</b>	<b>ALTERNATIVER FOR E39</b> .....	<b>9</b>
3.1	NULLALTERNATIVET .....	9
3.2	NY FERJEFRI E39 .....	11
<b>4</b>	<b>RESULTATER OG SAMMENSTILLING</b> .....	<b>12</b>
4.1	NULLALTERNATIVET .....	12
4.2	UTBYGGING FOR NY E39 .....	13
4.3	D&V FOR NY E39 .....	14
4.4	TOTALE RESULTATER FOR NY E39 .....	15
4.5	NULLALTERNATIV VS. NY E39 .....	16
<b>5</b>	<b>DISKUSJON OG USIKKERHET</b> .....	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>21</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn og omfang

I forbindelse med utredning av en mulig ny trasé for E39 Kristiansand – Trondheim har Statens Vegvesen ønsket en forenklet vurdering av effektene av bygging, drift og vedlikehold av ny infrastruktur med tanke på klimagassutslipp. Det er gjort en samlet vurdering av hele prosjektet samt av prosjektets delstrekninger. Omfanget er begrenset til infrastrukturen siden Statens Vegvesen selv vil stå for utslippsberegninger for transport på veien, overføring av trafikk og effekten av nye reisemønstre.

Denne rapporten beskriver resultatene fra et klimabudsjett for ny E39 og dets hoveddelstrekninger:

- Kristiansand – Stavanger
- Stavanger – Bergen
- Bergen – Ålesund
- Ålesund – Molde
- Molde – Trondheim

Klimabudsjettet er basert på livsløpsmetodikk for beregning av utslipp fra produksjon av innsatsfaktorer (materialer og energi) for bygging, vedlikehold og drift av infrastrukturen, samt direkteutslipp fra de samme aktivitetene. Formålet med klimabudsjettet er å anslå utslipp forbundet med utbygging og påfølgende drift av en ny ferjefri E39 mellom Kristiansand og Trondheim. Klimabudsjettet skiller mellom ulike typer infrastruktur som veg i dagn, tunnel og bro, og i tillegg til å inkludere anslag på utslipp forbundet med foreslåtte fjordkryssingskonsepter fra en tidligere gjennomført konseptvalgutredning. Det skilles også mellom 2- og 4-feltsvei for alle typer infrastruktur.

For fjordkryssingskonseptene som er av en slik type at de anses som individuelle spesialkonstruksjoner er det modellert hengebro, flytebro og undersjøisk tunnel.

I tillegg til klimabudsjett for en ny ferjefri E39 er det utviklet et forenklet klimabudsjett for et referansescenario som representerer en videreføring av dagens E39 i form av drift og vedlikehold, og uten ytterligere utbygging. Dette scenarioet inkluderer ferjedriften på alle eksisterende fjordkryssinger siden dette anses som en del av infrastrukturen.

Klimabudsjettet har hatt et begrenset omfang og resultatene er i hovedsak basert på eksisterende inventarbeskrivelser, men med tilpasninger og utvidelser.

En eventuell utbygging av en ny ferjefri E39 representerer en stor investering i infrastruktur med lang levetid. I klimabudsjettet for den norske Høyhastighetsutredningen for jernbane ble det lagt til grunn en beregningsperiode på 60 år. Tilsvarende beregningsperiode er lagt til grunn i klimabudsjettet for ny E39.

## 2 Forutsetninger for klimabudsjett

### 2.1 Bakgrunnskilder og referansedokumenter

Det har blitt utarbeidet miljø- og klimabudsjett for flere vegprosjekter av ulikt omfang og for ulike planfaser i de senere årene, som nye parseller med ulike typer infrastruktur, utvidelse av eksisterende vei, enkeltstående konstruksjoner etc. I tillegg ble det for noen år siden utviklet en egen klimamodul i EFFEKT-verktøyet til Statens Vegvesen for nytte-kostnadsanalyser av veg- og trafikktiltak [1], og nye verktøy er også under utvikling.

Klimabudsjettet for ny E39 baserer seg i hovedsak på de følgende kildene.

- **EFFEKT**

Klimamodulen i EFFEKT dekker både utbygging, drift og vedlikehold av veg i dagen, tunnel og broer. EFFEKT er tilpasset bruk i tidligfasevurderinger og tiltenkt å bidra med beslutningsstøtte i valg av trasé og utforming.

- **PhD-avhandling, Johanne Hammervold**

Johanne Hammervold har i sin nylig publiserte PhD-avhandling samlet data for prosjekterte mengder innsatsfaktorer for et stort antall vegprosjekter som omfatter veg i dagen, tunnel og bro [2]. Informasjon er samlet inn for prosjekterte utbygginger og befinner seg derfor nærmere byggefasen enn EFFEKT.

- **MSc-avhandling, Ole Magnus Kålås Iversen<sup>1</sup>**

En MSc-avhandling fra 2014 har utarbeidet klimabudsjett for foreslåtte fjordkryssingskonsepter for ferjefri E39, inkludert hengebro, flytebro og neddykket rørtunnel [3]. Oppgaven inkluderer bygging, drift og vedlikehold av fjordkryssingskonseptene.

- **Prosjektoppgave, Ole Magnus Kålås Iversen<sup>1</sup>**

I en prosjektoppgave som forprosjekt til MSc-oppgaven har Ole M. K. Iversen utført en livsløpsvurdering av en undersjøisk tunnel og utviklet en prosesskodebasert livsløpsmodell for vegtunneler [4]. Eksisterende Oslofjordforbindelse og prosjektert nytt løp er benyttet som underlag.

- **Klimarapport for Høyhastighetsutredningen**

I klimarapporten for den norske Høyhastighetsutredningen ble det utviklet modeller også for veginfrastruktur og vegtransport for å beregne alternativer og effekten av overføring mellom transportformer [5]. Dette er i hovedsak basert på EFFEKT-metodikken, men med enkelte tilpasninger som er relevante for E39-prosjektet.

- **Interne livsløpsdatabaser og prosjektbibliotek hos Asplan Viak (inkl. tidligere MiSA AS)**

Asplan Viak har et bredt bibliotek knyttet til transportinfrastruktur, inkludert for veg og ulike typer veginfrastruktur, og med både generiske og prosjektspesifikke data.

---

<sup>1</sup> Arbeidet er utført med veiledning fra forfatteren av denne rapporten.

## 2.2 Forutsetninger og tilpasning av inventar

Klimabudsjettet for ny E39 skal i første rekke angi størrelsesforhold for utbyggingen totalt, for ulike delstrekninger og for ulike typer veginfrastruktur og fjordkryssingskonsepter. Det er likevel gjort ulike valg og tilpasninger for å representere en faktisk utbygging best mulig. Det gis her en kort oversikt over de viktigste valgene og tilpasningene som er gjort. En detaljert beskrivelse og analyse ligger utenfor denne rapportens omfang og det henvises til oppgitte referanser for ytterligere detaljer.

Følgende forutsetninger er lagt til grunn for alle delstrekningene i ny E39:

- Alle parseller/delstrekninger antatt som komplett nye traséer. Dvs. at det er ikke lagt til grunn utvidelser eller oppgradering av eksisterende veg.
- Infrastruktur er modellert som dimensjoneringsklasse H5 (2-felts vei) og H8 (4-felt). Kravene til dimensjoneringsklassene er vist i tabell 2 under.
- Fjordkryssinger er modellert basert på konseptvalgutredning fra Statens Vegvesen og tilhørende dokumentasjon fra prosjektering/beskrivelse av disse fra entreprenørene.
- Beregningsperiode for drift og vedlikehold (D&V) er satt til 60 år. Levetiden til flere av infrastrukturelementene, som f.eks. fjordkryssingskonsepter, tunneler m.fl., kan forventes å være lengre enn beregningsperioden. Utslipp fra bygging av disse er telt med i sin helhet.

### 2.2.1 Infrastrukturtyper

I henhold til spesifikasjon fra Statens Vegvesen inngår vegelementene som er angitt i Tabell 1.

Vegelement	Dimensjoneringsklasse	Inventarkilde
Veg i dagen	H5 og H8	Utbygging: PhD, Hammervold [2] Vedlikehold: EFFEKT [1]
Tunnel	H5 og H8	Utbygging: PhD, Hammervold [2] Vedlikehold: EFFEKT [1]
Bro	H5 og H8	Utbygging: PhD, Hammervold [2] Vedlikehold: EFFEKT [1]
<b>Fjordkryssingskonsepter</b>		
Hengebro	H5 og H8	Utbygging: MSc, Iversen [3] Vedlikehold: EFFEKT [1]
Flytebro	H5 og H8	Utbygging: MSc, Iversen [3] Vedlikehold: EFFEKT [1]
Undersjøisk tunnel	H8	Utbygging: Prosjekt, Iversen [4] Vedlikehold: EFFEKT [1]

Tabell 1: Vegelementer som inngår i klimabudsjettet for ny E39.

Ny E39 er spesifisert som bestående av strekninger med dimensjoneringsklasse H5 og H8. En oversikt over de viktigste karakteristikkene er gitt i Tabell 2. Mer utførlig beskrivelse finnes i Statens Vegvesens Håndbok N100 [6].

Beskrivelse	H5	H8
Kjørefelt	2-felt	4-felt
ÅDT	6-12.000	12-20.000
Fartsgrense	90 km/t	100 km/t

Bredde	12,5 m	20 m
Midtrekkverk	1 stk	2 stk

*Tabell 2: Karakteristikk for dimensjoneringsklasse H5 og H8.*

Som vist i oversikten i tabellen er ny E39 dimensjonert for høy fartsgrense og med god bredde i form av kjørefelt og skuldre, samt fysisk avskilt med midtrekkverk. Valg og tilpasninger av inventar er gjort med utgangspunkt i å representere de fysiske forholdene beskrevet i Tabell 2 best mulig.

### 2.2.2 Utbygging

Som vist i Tabell 1 er datagrunnlag fra Hammervolds PhD lagt til grunn for å estimere utslipp fra byggefasen for de tre standard vegelementene veg i dagen, tunnel og bro. Datagrunnlag fra PhDen er foretrukket av flere årsaker. I sin PhD har Hammervold samlet tall fra spesifikke prosjekter. Resultatene fra en sammenligning med tilsvarende prosjekter modellert i EFFEKT-verktøyet viser at EFFEKT i de fleste tilfeller gir lavere utslippsresultater, og i mange tilfeller betydelig lavere [2].

En tilsvarende konklusjon har kommet frem i en MSc-oppgave fra 2013 [7]. Her ble en utvidelse fra to til fire felt på en delstrekning av E6 og en ny 4-felts strekning modellert med rammeverk for klimabudsjett basert på Jernbaneverkets metodikk og med EFFEKT. Det konkluderes her med at beregningsmetodikken fra EFFEKT gir vesentlig lavere utslipp og representerer en underestimert ressursbruk og tilhørende utslipp.

Modellering i EFFEKT kontra Hammervold gir følgende forskjeller for de elementene som er benyttet som underlag i videre beregninger [2]:

- *Veg i dagen:* Utslipp beregnet med EFFEKT mellom ca. 25% og 40% av utslipp beregnet fra prosjekteringsdata.
- *Tunnel:* Utslipp beregnet med EFFEKT mellom ca. 60% og 80% av utslipp beregnet fra prosjekteringsdata.
- *Bro:* Utslipp beregnet med EFFEKT mellom ca. 30% og 95% av utslipp beregnet fra prosjekteringsdata.

Med bakgrunn i dette og et valg om å prioritere konservative anslag, er det valgt å benytte datagrunnlag fra Hammervolds PhD-avhandling. Utvalget av prosjekter er forholdsvis bredt, og ikke alle er relevante for dimensjoneringsklassene angitt i Tabell 2. I tillegg vil det være betydelige forskjeller mellom prosjekter avhengig av lokale forhold. For dagstrekninger vil det være varierende grunnforhold, topografi etc., for tunnel vil sikringsbehov ha stor betydning, og for broer vil antall pilarer og høyde være viktige variabler.

Nedenfor er det gitt en oversikt over de viktigste antagelsene for de ulike vegelementene i utbyggingsfasen.

- *Veg i dagen:* Både H5 og H8 er modellert med representative prosjekteringstall fra Hammervolds PhD-avhandling.
- *Tunnel:* Alle tunneler er modellert som 2-feltstunneler. H8 er modellert som 2 x H5, dvs. som to separate 2-felts tunnellop med ett løp i hver retning.
- *Bro:* Alle broer er modellert som enkeltstående 2-feltsbroer. H8 er modellert som 2 x H5, dvs. som to separate 2-feltsbroer med en bro i hver retning.



- *Fjordkryssing – Hengebro:* Inventar fra [3] representerer 4-feltsbro, dvs. tilsvarende H8. Inventar for en 2-feltsversjon er antatt som H8/1,5.
- *Fjordkryssing – Flytebro:* Inventar fra [3] representerer 2-feltsbro, dvs. tilsvarende H5. Inventar for en 4-feltsversjon er antatt som 2 x H5.
- *Fjordkryssing – Undersjøisk tunnel:* Inventar fra [4] representerer 4-feltstunnel. Beskrivelsen av ny E39 har ingen delstrekninger med 2-felts undersjøisk tunnel.

Datagrunnlaget for tunnel er basert på tunnelprofil T9,5, som tilsvarer tunnelklasse B. Statens Vegvesens Håndbok N500 spesifiserer tunnelklasse C eller D for en ÅDT tilsvarende H5 og tunnelprofil T10,5 [8]. Det er derfor gjort en oppskalering av inventaret for tunnel. Nytt inventar er skalert tilsvarende tunnelprofil T14. Skaleringen er gjort basert på forholdet mellom arealet av normalprofilen for de to tunnelprofilene. Følgende er lagt til grunn for denne tilpasningen:

- En eventuell ny E39 vil bygges en stund frem i tid og tilsier en konservativ tilpasning siden det kan forventes økte krav til utforming.
- Det kan forventes strengere krav til sikring for fremtidig tunnelkonstruksjon i form av utstøping eller betongelementer. Innsatsfaktorer til sikring utgjør de viktigste postene i klimabudsjett for tunnel.

For fjordkryssing med undersjøisk tunnel er det benyttet resultater for et nytt prosjektert tunnellop for Oslofjordforbindelsen. Det foreligger også resultater basert på eksisterende tunnellop, men nytt prosjektert tunnellop er foretrukket siden det er mer representativt for dagens og fremtidig konstruksjon. Det prosjekterte tunnellopet har betongelementer for hele buelengden.

### 2.2.3 Drift og vedlikehold

Vedlikehold er i hovedsak basert på beregningsmetodikken fra EFFEKT i mangel av gode erfaringstall. For de ulike infrastrukturtypene er følgende inkludert:

#### Veg i dagen

- Reasfaltering
- Belysning
- Rekkverk

#### Tunnel

- Reasfaltering
- Belysning
- Rekkverk
- Ventilasjon

#### Undersjøisk tunnel

- Reasfaltering
- Belysning
- Rekkverk
- Ventilasjon
- Pumper

### Broer og fjordkryssinger

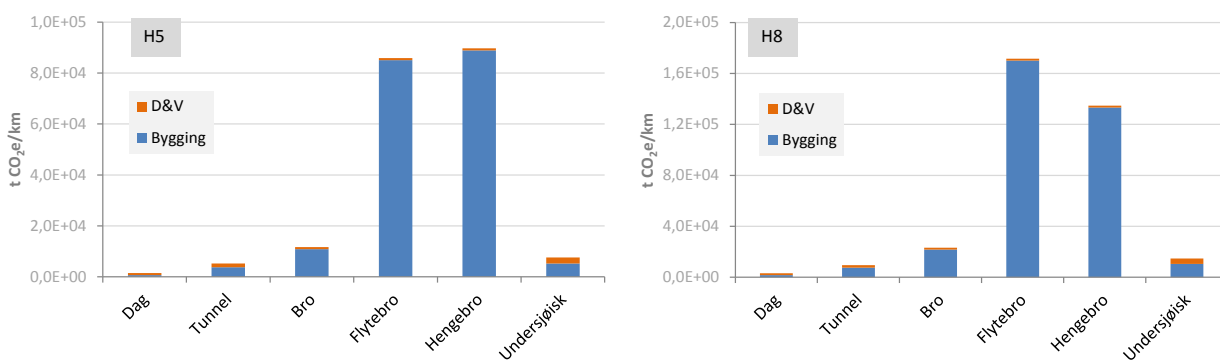
- Modellert tilsvarende som veg i dagen.

For ventilasjon og pumper i tunneler vil energiforbruket variere med lengden på tunnelen og trafikkmengden. For resultatene er det antatt ÅDT på 9.000 og 16.000 for hhv. H5 og H8, og en standard tunnellengde på 1 km. Utslipp fra elektrisitetsproduksjon er beregnet basert på nordisk strømmiks.

Veg i dagen er forventet å ha en kortere levetid enn andre infrastrukturtyper. Det er benyttet en antagelse om levetid på 40 år for dagstrekninger, og derfor lagt til en halv ny utbygging for en beregningsperiode på 60 år.

#### 2.2.4 Infrastrukturtyper

Figur 1 viser totale resultater per km av de ulike infrastrukturtypene for hhv. H5 (2-felts vei) og H8 (4 felt). Det er skilt mellom utslipp knyttet til utbygging og utslipp knyttet til drift og vedlikehold (D&V) gjennom beregningsperioden.



Figur 1: Utslippstall og fordeling mellom utbygging og D&V.

Tilsvarende som i andre studier viser resultatene for de ulike infrastrukturbitene betydelig forskjell mellom standardelementene av veg i dagen, tunnel og bro. Søylene for fjordkryssingskonseptene med bro viser at disse spesialkonstruksjonene er svært mye mer utslippsintensive enn standard infrastrukturelementer grunnet de store materialmengdene som kreves. Undersjøisk tunnel befinner seg i samme størrelsesorden som tunnel og bro.

Den høye utslippsintensiteten for hengebro og flytebro er også reflektert i forholdet mellom utbygging og vedlikehold. Mens det for veg i dagen fordeler seg omtrent likt mellom utbygging og D&V over 60 år, utgjør D&V kun omtrent 1% for fjordkryssingskonseptene med bro. For undersjøisk tunnel er bidraget fra D&V på omtrent 30%.

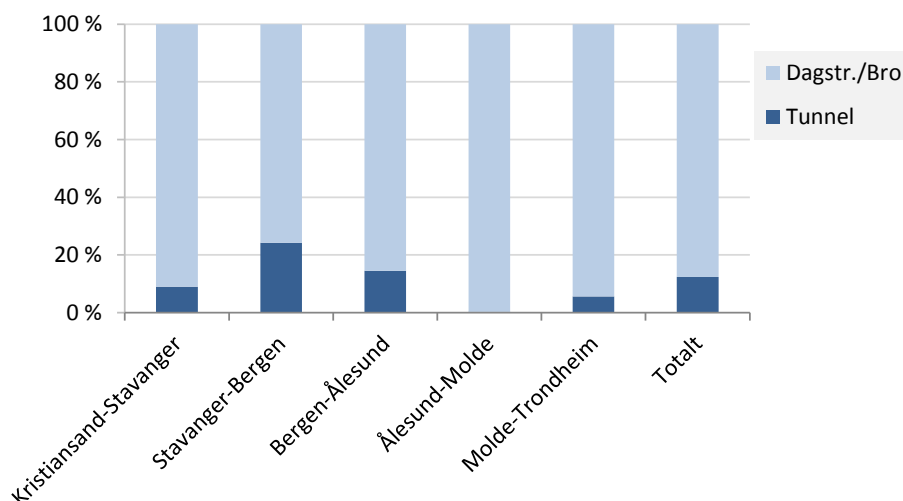
## 3 Alternativer for E39

### 3.1 Nullalternativet

Nullalternativet er definert som en videreføring av eksisterende trasé og ferjeforbindelser. Det er ikke lagt til grunn oppdateringer i form av utvidelser av eksisterende vei eller nye delstrekninger. Kun

vedlikehold og ferjedrift er inkludert. Vanlig vedlikehold som beskrevet i delkapittel 2.2.3 vil underestimere det faktiske vedlikeholdsbehovet, og det er derfor lagt inn en skjønsmessig økning på 50% for hele perioden for å kompensere for økt vedlikeholdsbehov ved aldrende veganlegg og tilhørende mindre utbedringer og oppgraderinger.

Strekningssammensetning for eksisterende E39 er vist i Figur 2. Andelen tunnel varierer sterkt fra 0 for delstrekningen Ålesund-Molde til nesten 25% for Stavanger til Bergen. Drift og vedlikehold av tunnelstrekninger har høyere utslippsintensitet som følge av ventilasjonsbehov.



Figur 2: Infrastruktursammensetning for eksisterende E39.

I tillegg til utslipp fra videre drift og vedlikehold av eksisterende E39 må klimabudsjettet for nullalternativet inkludere drift av dagens ferjestrekninger. En oversikt over disse er vist i Tabell 3.

Ferjesamband	Lengde [km]	PBE/dag	PBE-km/år	Delstrekning
Boknafjorden	9,2	6 605	22,2 mill	Stavanger-Bergen
Bjørnafjorden	21,4	4 548	35,5 mill	Stavanger-Bergen
Sognefjorden	5,6	2 633	5,38 mill	Bergen-Ålesund
Nordfjorden	2	2 230	1,63 mill	Bergen-Ålesund
Voldafjorden	3,3	1 970	2,37 mill	Bergen-Ålesund
Storfjorden	4,3	2 745	4,31 mill	Bergen-Ålesund
Moldefjorden	11,5	3 871	16,2 mill	Ålesund-Molde
Halsafjorden	5,6	1 560	3,19 mill	Molde-Trondheim
<b>Totalt</b>	<b>62,9</b>	<b>26 162</b>	<b>90,8 mill</b>	

Tabell 3: Ferjestrekninger og trafikk på eksisterende E39 (2011-tall).

Informasjon om trafikkgrunnlag er samlet av Iversen [3], og basert på innhentet statistikk fra Statens Vegvesen for år 2011 [9]. Statistikken viser at trafikkmengden varierer fra 1 560 PBE/dag (personbilekvivalenter/dag) for Halsafjorden og til 6 605 PBE/dag for Boknafjorden.

De ulike ferjesambandenes tilhørighet er vist i kolonnen ytterst til høyre og viser at fire av åtte samband er tilknyttet delstrekningen fra Bergen til Ålesund. Andelen av transporten på disse fire sambandene utgjør likevel kun 15% av totalen for alle ferjesambandene på dagens E39, målt i antall PBE-km. Dette skyldes at ferjesambandene er forholdsvis korte og med lave trafikkmengder. Delstrekningen Stavanger-

Bergen har begge de to største ferjesambandene målt i antall PBE-km, og utgjør til sammen nesten 64% av totalt antall PBE-km. Ferjesambandene er både lange og med stor trafikkmengde.

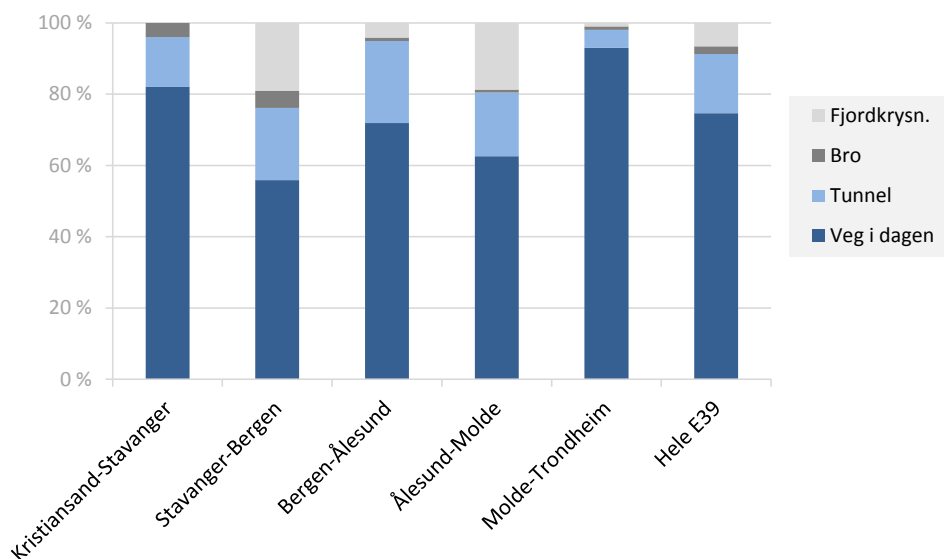
### 3.2 Ny ferjefri E39

Tidligfase klimabudsjett er utarbeidet for fem ulike delstrekninger for ny E39. de viktigste forutsetningene og antagelsene er beskrevet i tidligere kapitler. Tabell 4 viser en oversikt over sammensetningen av ulike infrastrukturtyper for de enkelte delstrekningene for ny E39.

Delstrekning	Lengde [km]	Dimensj. klasse	Veg i dagen [km]	Tunnel [km]	Bro [km]	Hengebro [km]	Flytebro [km]	Undersjøisk tunnel [km]
Kristiansand-Stavanger	165	H8	135,3	23,1	6,6	-	-	-
Stavanger-Bergen	164	H8	91,6	33,2	8	1,2	5	25
Bergen-Ålesund	319	H5	229,4	73,4	3,1	5,7	7,5	-
Ålesund-Molde	79	H8	49,4	14,1	0,6	1,8	-	13
Molde-Trondheim	202	H5	188	10	2	2	-	-
<b>Totalt</b>	<b>929</b>	<b>-</b>	<b>693,7</b>	<b>153,8</b>	<b>20,3</b>	<b>10,7</b>	<b>12,5</b>	<b>38</b>

Tabell 4: Sammensetning av delstrekninger for ny E39. H5 er 2-felts vei; H8 er 4 felt.

Figur 3 viser en grafisk fremstilling av sammensetningen som er angitt i tabellen ovenfor.



Figur 3: Sammensetning av delstrekninger for ny E39.

Oversikten viser stor variasjon i både lengde og sammensetning av de ulike delstrekningene. Delstrekningen Kristiansand-Stavanger har ingen fjordkryssingskonsepter og består av 4-feltsvei med dimensjoneringsklasse H8 og mer enn 80% dagstrekning. De fleste delstrekninger har en tunnelandel på 15-20%. Den høyeste andel veg i dagen har Molde-Trondheim, og strekingen er også 2-feltsvei med

dimensjoneringsklasse H5. De mest kompliserte delstrekningene er Stavanger til Bergen og Ålesund til Molde, som begge har omtrent 20% av distansen som fjordkryssing i form av nye konsepter eller undersjøisk tunnel.

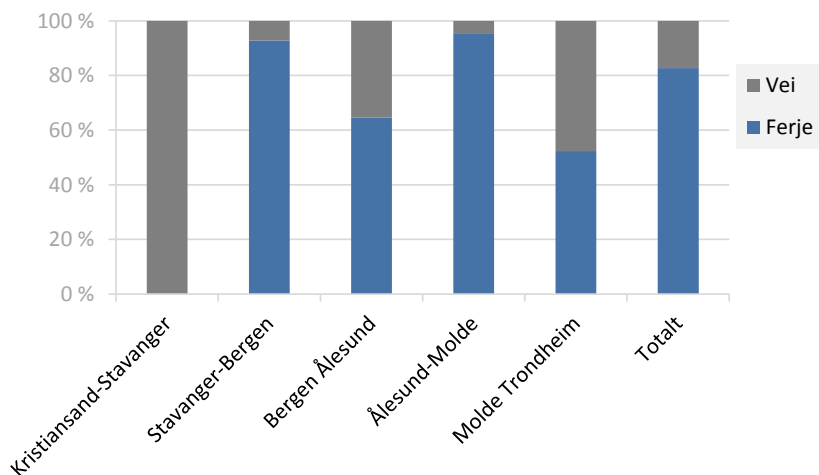
## 4 Resultater og sammenstilling

### 4.1 Nullalternativet

Iversen har i sin MSc-avhandling sammenstilt informasjon fra Sjøfartsdirektoratet [10] om utslipp fra innenriks ferjetrafikk med trafikkstatistikken og beregnet en faktor for klimagassutslipp per PBE-km, dvs. utslipp for en PBE transportert 1 km. Faktoren tilsvarer et utslipp på 1,85 kg CO<sub>2</sub>e/PBE-km. Beregningen kan sies å representere et nasjonalt snitt siden det er basert på samlet statistikk for innenriks ferjedrift. I en tidligere studie er utslipp fra 1 km transport med en ferje med kapasitet på 150 PBE estimert til 75 kg CO<sub>2</sub>e/km [11]. Forskjellen mellom disse to tallene er betydelig om man antar at ferjen modellert med kapasitet på 150 PBE har 100% belegg. I de fleste tilfeller vil derimot belegget være betydelig lavere. Hvilken faktor som representerer faktiske utslipp per PBE-km vil variere mellom ulike ferjesamband og ellers avhenge av ferjetype og alder, og av faktorer som bestemmer utnyttelsen av ferjene i form av belegg. En kapasitetsutnyttelse ned mot en tredjedel vil gjøre de to utslippsfaktorene forholdsvis like.

I videre resultater er faktoren på 1,85 kg CO<sub>2</sub>e/PBE-km benyttet siden den er basert på nasjonal statistikk og skal benyttes for ulike strekninger. En mer presis beregning bør ta hensyn til spesifikke transporttall og ferjetyper for de enkelte ferjesambandene.

Utslippene fra ferjedrift har stor betydning for de totale utslippsresultatene for nullalternativet. Figur 4 viser fordelingen mellom D&V av vegstrekningene og ferjedriften for de ulike delstrekningene og for hele E39.



Figur 4: Utslippsfordeling mellom D&V av veg og ferjedrift for eksisterende E39 med beregningsperiode 60 år.

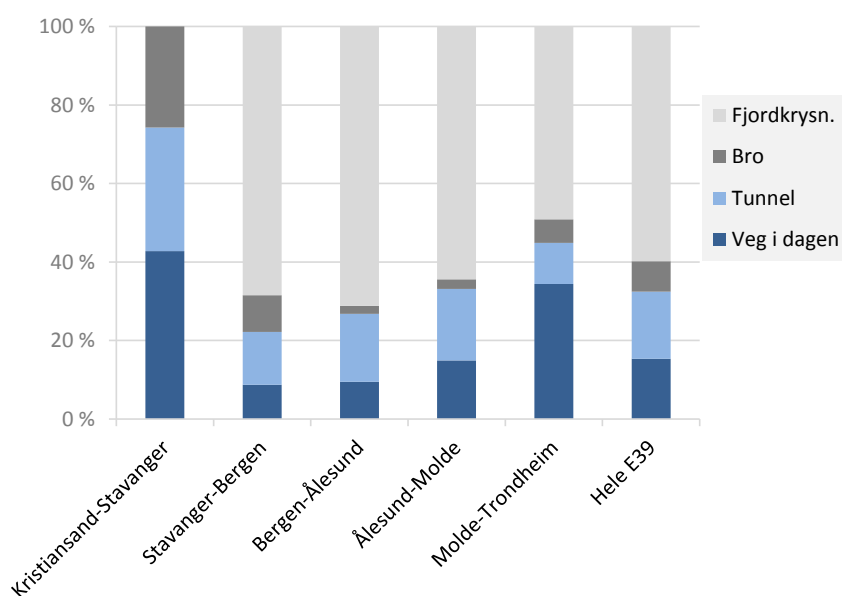
Resultatene indikerer at ferjedriften utgjør en betydelig del av totalutslippet for en beregningsperiode på 60 år. Resultatene må behandles som en indikasjon siden det knyttet betydelig usikkerhet til flere avgjørende faktorer. Som allerede diskutert er det usikkerhet knyttet til kapasitetsutnyttelse og

teknologi. For en beregningsperiode på 60 vil man kunne forvente en viss teknologiforbedring som reduserer utslippet per transportenhet, samtidig som trafikkmengdene vil endres og antakeligvis øke.

Resultatene i Figur 4 er basert på konstant utslippsfaktor for ferjedrift og uendret trafikkmengde gjennom hele beregningsperioden. Teknologiforbedring/-endring kan forventes å gi utslippsreduksjoner, mens økt trafikkmengde kan forventes å gi motsatt effekt. Det ligger utenfor denne rapportens omfang å utvikle scenarier for teknologi og trafikk, og med to faktorer som virker i motsatt retning er det valgt å legge til grunn konstant utslippsfaktor.

## 4.2 Utbygging for ny E39

Bakgrunnen for utarbeidelse av klimabudsjett for ny E39 er gitt av beskrivelsen av den fysiske infrastrukturens sammensetningen i Tabell 4 og utslippsprofilene for de enkelte infrastrukturtypene. Figur 5 viser klimabudsjettresultater for utbygging av delstrekninger samt totalt for hele E39.



Figur 5: Utslippsfordeling fra utbygging av delstrekninger.

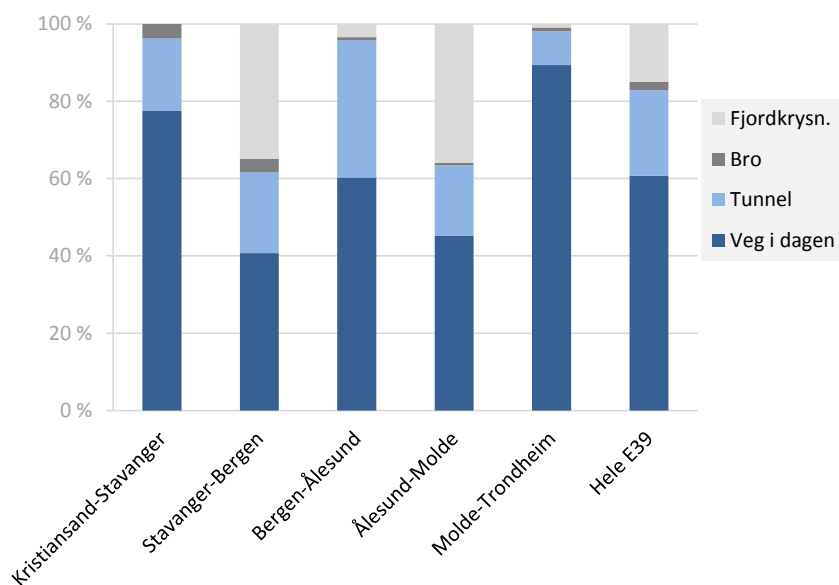
Resultatene for utbyggingsfasen reflekterer den store forskjellen mellom standardtyper av infrastruktur og de foreslåtte fjordkryssingskonseptene av mer ekstrem karakter. Sammenholdt med oversikten over strekningssammensetning i Figur 3 kommer betydningen av fjordkryssingene spesielt klart frem. For delstrekningen Bergen-Ålesund utgjør fjordkryssingene i overkant av 70% av klimautslippene fra utbyggingen, og for Stavanger-Bergen er tilsvarende tall i underkant av 70%. Samtidig utgjør fjordkryssingene kun henholdsvis litt over 4% og 19% av den samlede lengden. Andelen av utslippene varierer fra omtrent 50% og til drøyt 70% for alle delstrekninger som inkluderer ett eller flere fjordkryssingskonsepter. Totalt for hele E39 utgjør fjordkryssingene 60% av utslippene i klimabudsjettet.

For de delene av delstrekningene som består av standard infrastrukturtyper i form av veg i dagen, tunnel og bro, utgjør de to førstnevnte omtrent like store andeler for hele E39.

Normalisert til utslipp per km er Stavanger-Bergen mest utslippsintensive, fulgt av Ålesund-Molde, mens delstrekningen fra Molde til Trondheim har den laveste utslippsintensiteten.

### 4.3 D&V for ny E39

Bidraget fra drift og vedlikehold av ny infrastruktur viser mindre dramatiske forskjeller enn for utbyggingsfasen. For veg i dagen, bro og fjordkryssing er det som tidligere beskrevet inkludert drift og vedlikehold i henhold til EFFEKT-metodikken, og dette dekker reasfaltering, belysning og rekkverk, mens vedlikehold av selve brokonstruksjonen ikke er estimert. For tunnel er det i tillegg inkludert et energibehov for ventilasjon og for pumper (undersjøisk tunnel). I Figur 6 vises resultater for drift og vedlikehold av de ulike delstrekningene for hele beregningsperioden på 60 år.



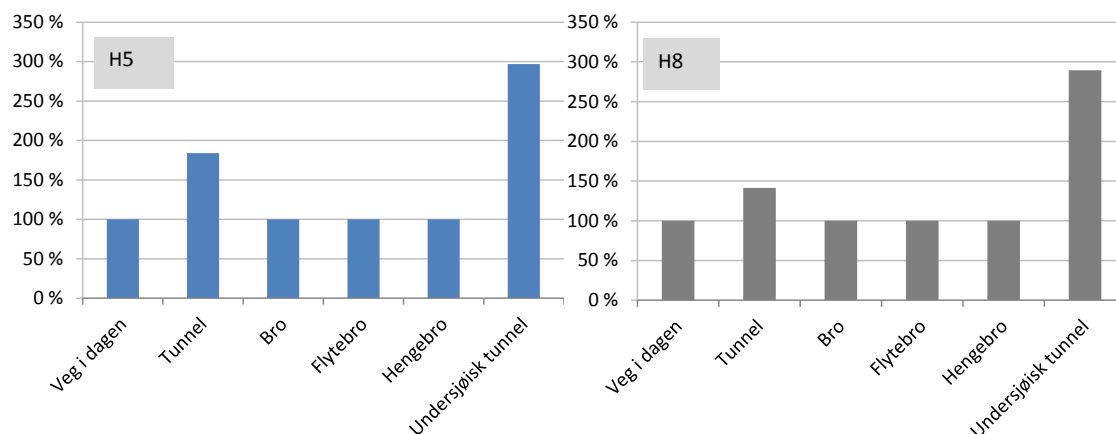
Figur 6: Utslippsfordeling fra drift og vedlikehold av delstrekninger.

Utslippsberegningene for delstrekningene viser at andelen av de ulike infrastrukturtypene er viktigere for drift og vedlikehold siden forskjellene i utslippsintensitet for disse er mindre enn hva som er tilfelle for utbyggingsfasen. Veg i dagen utgjør den største andelen av lengden for alle delstrekningene, og dette reflekteres i utslippsberegningene. Veg i dagen utgjør mellom 40% og 90% av totalen for drift og vedlikehold, og omtrent 60% for hele E39.

For delstrekningen Ålesund-Molde har fjordkryssing en andel på nesten 40% av klimagassutslippene. Dette skyldes at nesten 20% av delstrekningen består av undersjøisk tunnel som også har den høyeste utslippsintensiteten for drift og vedlikehold.

Normaliserte resultater per km for delstrekningene viser at Ålesund-Molde og Stavanger-Bergen har den høyeste utslippsintensiteten for drift og vedlikehold.

Figur 7 viser en oversikt over relativ utslippsintensitet per infrastrukturtype for drift og vedlikehold, med veg i dagen som referansepunkt. Som beskrevet i 2.2.3 er det antatt tilsvarende vedlikehold for veg i dagen og bro.



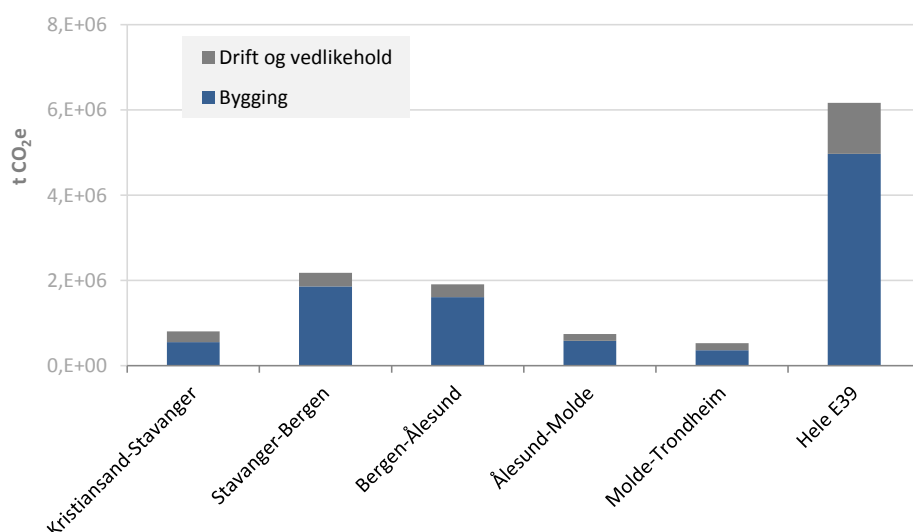
Figur 7: Relativ utslippsintensitet for drift og vedlikehold per km av ulike infrastrukturtyper.

Forskjellen i utslipp er i hovedsak knyttet til driftsfasen for tunneler, hvor ventilasjon er inkludert for vanlig tunnel og undersjøisk tunnel, og hvor undersjøisk tunnel i tillegg har et energibehov knyttet til drift av pumper. Energibehovet per km avhenger av tunnellengde og trafikkmengde i ÅDT. For resultatene i denne analysen er det lagt til grunn energibehov for 1 km tunnel.

De relative størrelsene for utslipp fra drift og vedlikehold viser betydelig høyere verdier for tunnel generelt, og for undersjøisk tunnel spesielt. Undersjøisk tunnel ligger nesten tre ganger så høyt relativt til veg i dag. Undersjøisk tunnel gir naturlig nok også høyere utslippsintensitet enn vanlig tunnel, og ligger omtrent dobbelt så høyt for H8-dimensjonering og 1,6 ganger høyere for dimensjoneringsklasse H5. Resultatene for energibruk er basert på EFFEKT og bør anses som estimater. Utslippsintensiteten vil også avhenge av hvilken utslippsfaktor som benyttes for elektrisitetsproduksjonen.

#### 4.4 Totale resultater for ny E39

Klimabudsjettresultater for hele E39 og de ulike delstrekningene er presentert i Figur 8. Resultatene omfatter utbygging, drift og vedlikehold for hele beregningsperioden på 60 år.



Figur 8: Totale klimabudsjettresultater for ny E39 – utbygging og D&V for 60 år.



Resultatene fra klimabudsjettet viser at de to delstrekningene som inneholder fjordkryssingskonsepter i form av både hengebro og flytebro har de høyeste totale utslippene, og hovedsakelig som følge av utslipp fra utbyggingsfasen. Stavanger-Bergen har de høyeste utslippene, men Bergen-Ålesund har nesten like høye selv om lengden på denne delstrekningen er omtrent dobbelt så stor. Dette skyldes en blanding av at fjordkryssingene for Bergen-Ålesund er lengre, og ikke minst at Stavanger-Bergen er definert som 4-feltsvei, mens Bergen-Ålesund er 2-feltsvei.

Den lengste og den korteste av delstrekningene er de to delstrekningene som har lavest utslipp, og demonstrerer dermed at infrastrukturens sammensetningen er vel så viktig som lengden på delstrekningen. Molde-Trondheim er den lengste delstrekningen med drøyt 200 km, mens Ålesund-Molde er knappe 80 km. Molde-Trondheim har det laveste utslippstallet av alle delstrekningene pga. at den er definert som 2-feltsvei, og i tillegg har den høyeste andelen av veg i dagen, som vist i Figur 3.

Figur 8 viser også fordelingen av utslipp mellom utbygging og D&V for de ulike delstrekningene gjennom hele beregningsperioden. Utslippsfordelingen viser at 80% av utslippene gjennom beregningsperioden kommer fra utbyggingsfasen. For delstrekningene med større andel fjordkryssing, tunnel og bro, er ennå mer av utslippene forbundet med utbygging. For alle delstrekningene utgjør utbygging minst 2/3 av totalutslippene. Som nevnt innledningsvis utslipp fra utbygging telt med i sin helhet i klimabudsjettets beregningsperiode på 60 år. Tunneler, broer og fjordkryssinger kan alle forventes å bli bygget med en levetid utover dette, og utbyggingens andel av totalutslippene vil være lavere dersom beregningsperioden settes lik levetiden til disse konstruksjonene.

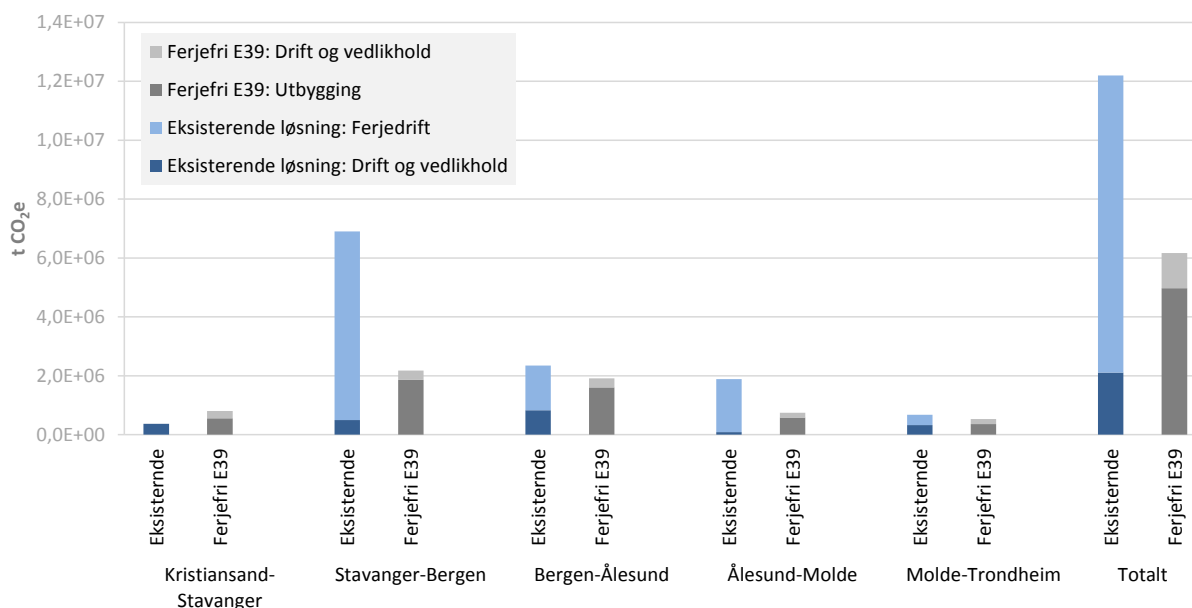
#### 4.5 Nullalternativ vs. ny E39

Det er estimert et klimabudsjett for fortsettelse av dagens situasjon og dagens E39 (nullalternativet) og et alternativ med ny E39. Resultatene er sammenstilt for totalt klimabudsjett for de to alternativene i Tabell 5 og Figur 9. Resultater for nullalternativet er fordelt på ferjedrift og videre vegvedlikehold av eksisterende E39, mens det for ny E39 skiller mellom utbygging og drift og vedlikehold.

Sammenstilling (60 år)	Nullalternativ (eksisterende E39)			Ny E39		
	D&V, veg [t CO <sub>2</sub> e]	Ferjedrift [t CO <sub>2</sub> e]	Totalt [t CO <sub>2</sub> e]	Bygging [t CO <sub>2</sub> e]	D&V [t CO <sub>2</sub> e]	Totalt [t CO <sub>2</sub> e]
Kristiansand-Stavanger	0,37 mill	-	0,37 mill	0,56 mill	0,25 mill	0,81 mill
Stavanger-Bergen	0,50 mill	6,4 mill	6,9 mill	1,8 mill	0,32 mill	2,2 mill
Bergen-Ålesund	0,83 mill	1,5 mill	2,3 mill	1,6 mill	0,30 mill	1,9 mill
Ålesund-Molde	0,87 mill	1,8 mill	1,9 mill	0,59 mill	0,16 mill	0,74 mill
Molde-Trondheim	0,32 mill	0,35 mill	0,68 mill	0,36 mill	0,17 mill	0,53 mill
<b>Totalt</b>	<b>2,11 mill.</b>	<b>10,1 mill.</b>	<b>12,2 mill.</b>	<b>4,97 mill.</b>	<b>1,20 mill.</b>	<b>6,17 mill.</b>

Tabell 5: Resultatsammenstilling – nullalternativ vs. ny E39.

Resultatene presentert i Tabell 5 estimerer klimagassutslippene fra utbygging av ny E39 til i underkant av 5 mill. tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dette tilsvarer nesten halvparten av alle utslipp fra vegtrafikken i 2013, og over 9% av samlede nasjonale klimagassutslipp fra Norge samme år.



Figur 9: Resultatsammenstilling – nullalternativ vs. ny E39.

Totale resultater for hele E39 indikerer at en videreføring av dagens situasjon med eksisterende E39 og tilhørende ferjesamband medfører betydelig større klimagassutslipp enn alternativet med ny E39. Alternativet med ny E39 gir i overkant av 50% av utslippene fra nullalternativet gjennom beregningsperiodens 60 år.

For de enkelte delstrekningene er bildet mer nyansert, med store forskjeller mellom delstrekningene.

- Kristiansand-Stavanger, utslipp fra ny E39 mer enn dobbelt så store som nullalternativet.
- Stavanger-Bergen, utslippene fra ny E39 rundt en tredjedel sammenlignet med nullalternativet.
- Bergen-Ålesund, rundt 80% av utslippene for ferjefri strekning relativt til nullalternativet.
- Ålesund-Molde, rundt 40% av utslippene for ferjefri strekning relativt til nullalternativet.
- Molde-Trondheim, rundt 80% av utslippene for ny utbygging i forhold til nullalternativet.

Den viktigste årsaken til forskjellene er knyttet til ferjesambandene og eventuelle nye fjordkryssingsløsninger for disse. For delstrekningen Kristiansand-Stavanger er det ingen fjordkryssinger og derfor heller ingen utslipp fra ferjetransport. En utbygging av ny 4-feltsvei gir dermed betydelig høyere utslipp enn nullalternativets videreføring av eksisterende veg. Som vist i Tabell 3 har delstrekningen mellom Stavanger og Bergen nesten 64% av antallet PBE-km for hele E39, og får dermed høye utslipp i nullalternativet. Men fjordkryssing for de samme sambandene gir også betydelige utslipp i alternativet med ny E39 som følge av store utslippsintensive konstruksjoner. Delstrekningen Ålesund-Molde har den tredje største andelen av ferjetrafikken målt i PBE-km, og dette gir også utslag i forholdet med nullalternativet og ny E39.

## 5 Diskusjon og usikkerhet

Klimabudsjettet for en tidligfasevurdering av ny E39 slik den er definert i Tabell 4 viser at den største delen av utslippene for ferjefri forbindelse er knyttet til utbyggingsfasen. Videre dominerer

fjordkryssingskonseptene utslippene fra utbyggingsfasen for de delstrekninger som har dette, og i hovedsak for henge- og flytebro.

### **Fjordkryssingskonsepter**

Fjordkryssingskonseptene er ekstreme konstruksjoner som er vesentlig mer materialintensive per km enn vanlige veginfrastruktur. Materialinnsatsen og utslippene er i hovedsak knyttet til produksjon av betong og stål. Bergsdal et al. modellerte utslipp fra foreslått fjordkryssing med neddykket rørtunnel for Sognefjorden og fant en utslippsintensitet 116 ganger større enn for en 2-felts dagstrekning over en beregningsperiode på 100 [11]. Iversen estimerte tilsvarende forhold til 145 ganger større enn 2-felts dagstrekning [3]. Konseptet med rørtunnel [12] er ikke benyttet i dette klimabudsjetten, men Iversen fant i sin MSc-oppgave høye tall også for hengebro og flytebro, som ble anslått til 131 og 85 ganger høyere enn vanlig dagstrekning [3].

Fjordkryssingskonseptene er nettopp konsepter og bygger ikke på empiriske tall fra eksisterende konstruksjoner. De er prosjektert som konsepter og med det som må antas å være betydelig usikkerhet knyttet til endelige materialmengder for en ferdig prosjektert løsning. De er også utviklet med tanke på å undersøke om de er mulige å konstruere, og er derfor ikke optimalisert med tanke på materialbruk og kostnader. Det kan argumenteres for at endelige konstruksjoner vil ha lavere utslippsintensitet, men størrelsesforholdet indikerer uansett vesentlig høyere utslippsintensitet enn konvensjonell infrastruktur-løsninger.

### **Konvensjonell infrastruktur**

Med konvensjonell infrastruktur menes vegelementer som veg i dagen, tunnel og bro som ikke krever konseptutvikling tilsvarende det som er tilfellet for fjordkryssingene eller med betydelig mer krevende prosjektering enn det som er vanlig for dagens vegutbygging. For konvensjonelle infrastrukturelementer hvor er det benyttet tallgrunnlag fra prosjekteringsfasen til faktiske prosjekter, som beskrevet tidligere. Disse ligger høyere i utslippsintensitet enn estimerer fra EFFEKT-verktøyet. Det er likevel usikkerhet knyttet til lokale forhold og det kan forventes betydelig variasjon mellom ulike prosjekter.

En studie fra NTNU for standard norsk vegtunnel med profil T9,5 har estimert en utslippsintensitet for tunnel på omtrent det dobbelte av hva som er benyttet i dette klimabudsjetten for E39 [13], men som igjen er betydelig høyere enn hva som ligger til grunn i EFFEKT. Dette viser store forskjeller avhengig av hva som legges til grunn for beregningene med tanke på omfang og detaljering. Tilsvarende konklusjoner ble trukket i en studie utført på oppdrag fra Jernbaneverket, hvor klimaberegningsmetodikken fra Høyhastighetsutredningen ble sammenholdt med en tilpasset versjon av EFFEKT-metodikken og viste langt lavere utslipp beregnet med sistnevnte [14].

For bro vil det være store forskjeller avhengig av antall pilerer, høyde etc. Utslippsintensiteten som er benyttet for bro i klimabudsjetten er betydelig høyere enn i EFFEKT, men omtrent 75% av utslippsintensiteten som er funnet i en MSc-avhandling fra NTNU for en norsk bro med fire felt [15].

### **Ferjedrift**

Relativt til nullalternativet for videre drift og vedlikehold av eksisterende E39 har utbygging av ny E39 vesentlig lavere klimagassutslipp. Den viktigste årsaken til dette er de store estimerte utslippene fra fortsatt ferjedrift på alle eksisterende ferjesamband. Utslippsintensiteten er basert på nasjonal statistikk. De faktiske utslippene vil variere betydelig for ulike ferjesamband, men ikke minst vil faktorer knyttet til kapasitetsutnyttelsen være avgjørende. Kapasitetsutnyttelsen påvirker utslippsintensiteten

direkte og vil kunne skifte resultater og konklusjoner betydelig. Utslippsintensiteten til ferjetransport representerer en av de største usikkerhetskildene i klimabudsjettet for nullalternativet med eksisterende E39, og vurderingene av den relative forskjellen mellom nullalternativet og ny E39 er svært sensitiv for denne parameteren.

I tillegg til kapasitetsutnyttelse er antagelser knyttet til teknologi og trafikkmengder avgjørende for estimerte utslipp fra ferjetransport. Man kan forvente en forbedring i teknologi som medfører lavere utslipp fra drift innenfor beregningsperiodens 60 år. Samtidig kan man forvente en økning i trafikkmengden. En grov antagelse er lagt til grunn i denne rapporten hvor begge disse er beholdt konstant tilsvarende dagens situasjon. Dersom en trafikkøkning medfører økt kapasitetsutnyttelse på eksisterende ferjer uten å øke antallet avganger vil det bidra til en lavere utslippsintensitet per PBE-km. Ved eventuelt videre vurderinger av et nullalternativ vs. ny E39 anbefales det å se særskilt på utslipp knyttet til drift av ferje.

### **Utvidelse av veg**

Klimabudsjettet for ny E39 legger til grunn komplett nye traséer for alle delstrekningene. Et mulig alternativ for enkelte parseller vil være en utvidelse av eksisterende veg. En MSc-avhandling har undersøkt utbygging av ny 4-feltsveg vs. utvidelse fra to til fire felt basert på prosjektspesifikke mengdeberegninger [7]. Funnene herfra viser betydelig lavere utslipp for et alternativ med utvidelse, og utgjør omtrent 60% av utslippene i forhold til utbygging av helt ny trasé. For de fleste innsatsfaktorene er mengdene mindre ved en vegutvidelse, men de viktigste reduksjonene for klimagassutslipp er knyttet til redusert innsats av sprenging, masseforflytting, asfalt og stål.

Resultatene er basert på et spesifikt prosjekt for E6, og det konkluderes med at en generell forskjell mellom utvidelse og ny utbygging kan forventes å være mindre enn det som er funnet i studien pga. prosjektspesifikke forhold. Reduksjonen på 40% anses derfor som optimistisk med tanke på generell anvendelse av resultatene.

### **Helhetlig transportplanlegging**

Resultatene fra klimabudsjettet for ny og eksisterende E39 er begrenset til infrastrukturrelaterte utslipp, men dette må ses i sammenheng med utslippene fra trafikk. Ikke bare på basis av utslipp per kilometer med infrastruktur og transport, men med tanke på helhetlige transportløsninger. Utslippene fra de foreslåtte fjordkryssingskonseptene er svært høye sammenlignet med konvensjonell infrastruktur, men de må vurderes ut fra hva de erstatter.

En fjordkryssing, i likhet med konvensjonelle tunneler og broer, reduserer transportdistanse og kjøretid, og må derfor ikke kun vurderes ut fra hvilken type infrastruktur som erstattes, men også ut fra hvor mye trafikk og tilhørende utslipp som reduseres som følge av en utbygging. Konklusjonen avhenger av den reduserte kjørelengden, men ved å krysse over en fjord fremfor å kjøre rundt kan man redusere kjørelengden med mange kilometer. En effekt av dette er reduserte transportutslipp som gir betydelige utslippsreduksjoner gjennom en beregningsperiode på 60 år eller gjennom konstruksjonens levetid. I en forenklet analyse for et konsept for neddykket rørbro ble utslippene sammenstilt med direkteutslipp fra vegtrafikk for en gitt ÅDT på 5 000 i 100 år vs. bygging og D&V for rørtunnelen. For rørtunnelen er det beregnet svært høye utslipp, og høyere enn konseptene i denne rapporten, men ved å redusere kjøredistansen med omtrent 4-5 km ville klimabudsjettet bli lavere for alternativet med rørtunnel [11].

De foreslåtte fjordkryssingskonseptene representerer ekstreme konstruksjoner og krever material- og ressursbruk som medfører svært store klimafotavtrykk. Ut fra en klimamessig vurdering må en slik konstruksjon resultere i en reduksjon i kjøredistanse for å gi en positiv effekt på totale klimagassutslipp. Ved reduksjon i kjøredistanse kan utslippene knyttet til bygging betales tilbake i form av reduserte direkteutslipp fra transport over tid. Tilbakebetalingstiden avhenger av bl. a. type konstruksjon, hvor mye kjøredistansen reduseres med og trafikkmengden på strekningen. På tilsvarende måte må også ferjetrafikk ses i sammenheng med transportutslippene den erstatter som følge av redusert kjøredistanse.

Det ligger utenfor omfanget av denne rapporten å inkludere direkteutslipp fra transport og endringer som følge av trasévalg, overført trafikk etc. Effekten av dette vil likevel være betydelig, og utbygging/ending av trasé må ses i sammenheng med endringer i distanse og tilhørende endring i direkteutslipp fra transport over tid.

### **Helhetlig miljøvurdering og funksjon**

I livsløpsvurderinger av miljøprestasjon benyttes det et begrep som heter "funksjonell enhet". For å gjøre en korrekt og rettferdig sammenligning av to alternativer skal begge oppfylle de samme funksjonelle krav. Resultatene i dette klimabudsjettet er basert på to alternativer som begge vil fylle funksjonen å tilby veginfrastruktur fra Kristiansand til Trondheim. Derimot er det betydelige forskjeller i hvordan dette oppfylles for nullalternativet og en ny E39. Klimabudsjettet tar ikke hensyn til forskjeller i teknisk standard, økonomi og andre faktorer som vil være en del av et fullstendig beslutningsgrunnlag. Ved vurdering av de to alternativene i klimabudsjettet må både usikkerhet i datagrunnlaget samt forskjellen i funksjon tas med i vurderingen.

### **Prioriteringer for videre arbeid**

Eventuelt videre utredning og analyse bør fokusere på følgende områder med stor usikkerhet og/eller hvor resultatene er sensitive for antagelsene.

- *Helhetlig vurdering av transportløsning:* Ved vurdering av utslipp knyttet til valg av infrastrukturløsning må et samlet beslutningsgrunnlag også inkludere effekten av økte/reduerte utslipp fra transport som følge endret kjøredistanse, i tillegg til de infrastrukturrelaterte utslippene.
- *Fjordkryssingskonsepter:* De foreslåtte konseptene for fjordkryssing er utviklet for å vurdere hvorvidt de er praktisk gjennomførbare. Videre detaljering og prosjektering kan gi reduserte utslipp i et klimabudsjett som følge av optimalisering av design og materialbruk, samtidig som høyere detaljeringsnivå kan virke motsatt vei ved at flere faktorer telles med i budsjettet.
- *Ferjedrift:* Ved vurdering av alternativer med ferjedrift bør utslippsfaktorer og forhold som påvirker dette undersøkes nærmere. Dette gjelder både teknologi og forhold knyttet til driften i form av kapasitetsutnyttelse/belegg, antall avganger, total trafikkmengde etc. Forskjeller mellom spesifikke ferjesamband kan avvike betydelig fra nasjonale gjennomsnittstall benyttet i denne rapporten og ha stor betydning for konklusjonene.

## 6 Referanser

- [1] Vegdirektoratet, "Dokumentasjon av beregningsmoduler i EFFEKT 6," Vegdirektoratet, Utbyggingsavdelingen, Transportanalyseseksjonen, 2008.
- [2] J. Hammervold, "Towards greener road infrastructure - Life cycle assessment of case studies and recommendations for impact reductions and planning of road infrastructure," NTNU, 2014.
- [3] O. M. K. Iversen, "Early-phase life cycle assessment of new concepts for fjord crossings along coastal highway route E39," NTNU, 2014.
- [4] O. M. K. Iversen, "Livssyklusanalyse av undersjøisk tunnel og alternativ fjordkryssing," 2013.
- [5] H. Bergsdal, J. Pettersen, C. Solli, C. Hung, C. Grossrieder, and J. Hammervold, "Environmental analysis - Climate," MiSA AS, for Jernbaneverket, Trondheim, Norway, 2012.
- [6] Statens Vegvesen, "Håndbok N100 - Veg- og gateutforming," 2014.
- [7] M. S. Fuglseth, "Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorvei," NTNU, 2013.
- [8] Statens Vegvesen, "Håndbok N500 - Vegtunneler," 2014.
- [9] Statens Vegvesen, "Ferjestatistikk 2011," 2012.
- [10] Sjøfartsdirektoratet, "Miljørapport for innenriks ferjetrafikk 2011," 2012.
- [11] H. Bergsdal, J. B. Pettersen, J. Hammervold, and S. A. Haugerud, "Environmental footprint in early planning of coastal road sections," 2013.
- [12] A. Fjeld, "Feasibility study for crossing the Sognefjord - Submerged Floating Tunnel," Reinertsen Olav Olsen Group, 2012.
- [13] L. Huang, R. A. Bohne, A. Bruland, P. D. Jakobsen, and J. Lohne, "Life cycle assessment of Norwegian road tunnel," *Build. Components Build.*, no. 20, pp. 174–184, 2015.
- [14] H. Bergsdal, "Sammenstilling av beregningsmetodikk for klimagassutslipp for jernbaneinfrastruktur i Høyhastighetsutredningen og NTP-prosjekter," 2012.
- [15] T. Dequidt, "Life cycle assessment of a Norwegian bridge," NTNU, 2012.