



Studie

Beregning av klimagassutslipp for fast samband kontra ferjedrift



FORORD

Det skjer en rivende teknologiutvikling på områder knyttet til den infrastruktur vi skal ha i landet de neste 100 årene. Utviklingen av batteri- og ladeteknologi gjør at en stadig økende andel av transport både til lands og på sjøen drives av elektrisitet. Automatisert bruproduksjon med roboter og laser- og laserhybridsveising muliggjør lokal produksjon med svært lav energibruk, til lavere pris, og med høyere kvalitet enn man oppnår med manuell sveising og bruproduksjon i lavkostland.

Mens levetiden på ei ferje kan være 20–30 år, er den planlagte levetida til de nye store konstruksjonene langs E39 over 100 år. I de formelle planprosessene for de enkelte plan- og utbyggingsprosjektene ser man normalt kun på en levetid på 40 år. Finansdepartementets rundskriv R-109 sier at en samfunnsøkonomisk analyse så langt som mulig skal fange opp alle relevante virkninger av tiltaket i hele dets levetid, og at levetiden som benyttes i analysen av investeringsprosjekter må reflektere den perioden tiltaket som analyseres faktisk vil være i bruk eller yte en samfunnstjeneste. I de samfunnsøkonomiske analysene benyttes normalt 75 års levetid.

Mangel på kunnskap om energibruk og utslipp i hele prosjektets levetid knyttet til produksjon og drift av ferjer, og utbygging og drift av bru og veg, medfører usikkerhet. Når vi skal ta beslutninger om valg av teknologi for å krysse en fjord, et sund eller lignende, må vi derfor tenke langsiktig, og redusere usikkerheten så mye som mulig.

Statens vegvesen fikk i 2009 i oppdrag å utrede en ferjefri E39 mellom Trondheim og Kristiansand. I 2013 ble Ferjefri E39 omtalt i NTP for første gang (NTP 2014 – 2023). Vi har til nå ikke klart å svare tilfredsstillende på spørsmål om hvordan utslippene vil være i hele den 100 år lange levetiden til de store konstruksjonene, nettopp fordi disse beregningene ikke er gjort tidligere. Vi arbeider systematisk for å nå toppmålene våre, herunder målet om effektiv bruk av ny teknologi for å få mer for pengene, men også for å bidra til oppfylling av Norges klima og miljømål. Det er derfor viktig for oss å få mer kunnskap om klimautslipp knyttet til ulike teknologier i hele livsløpet.

Vi vil understreke at dette arbeidet nettopp ikke er en del av det formelle planarbeidet som foregår i planprosjektet Stord–Os, men en separat teknisk vurdering gjennomført av Ferjefri E39-prosjektet i Teknologi & Utviklingsstaben i Divisjon Utbygging. For å få den kunnskap som etterspørres har vi etter beste evne systematisert data og informasjon vi har fått gjennom de siste års teknologiske

utvikling, og benyttet denne for å beregne utslipp ved ulike teknologiske løsninger på fjordkryssinger over 100 år.

Målsettingen med denne rapporten er, på et grovt nivå, å sammenligne utslipp for en fast forbindelse med bru over en fjord, kontra et ferjesamband. Som eksempel er det her gjort beregninger for prosjektet E39 Stord – Os (Hordfast), men metoden er overførbart til andre prosjekter med store konstruksjoner hvor levetiden er svært lang.

Arbeidet er gjennomført med en arbeidsgruppe bestående av Cato Dørum, Elisabet Sedberg Hjorteland og Tore Askeland (alle Statens vegvesen), Inge Alsaker (SVV/ deretter pensjonist og frittstående konsulent) og Tore Roppen (Prodtex AS).

Bergen, 06. mars 2022

Kjell Inge Davik
Direktør Utbygging

Innhold

FORORD	1
SAMMENDRAG	5
1 INNLEDNING.....	7
1.1 Generelt om rapporten	7
1.2 Formål og avgrensninger.....	7
2 DEFINISJONER OG FORUTSETNINGER	7
2.1 Generelt.....	7
2.2 Definisjoner	8
2.3 Forutsetninger	9
3 TRAFIKKUTVIKLING.....	11
3.1 Generelt.....	11
3.2 Trafikk og trafikkarbeid Stord – Os.....	13
4 FERJER.....	16
4.1 Produksjon av ferjer	16
4.2 Drift/vedlikehold av ferjer	17
5 BRUER	17
5.1 Produksjon og drift og vedlikehold av bruer	17
6 BYGGING AV VEG.....	19
6.1 Arealbeslag.....	19
6.2 Tunneler	19
6.3 Bruer	19
6.4 Veg i dagen.....	20
6.5 Beregninger.....	20
6.5. Totalutslipp drift og vedlikehold av veg i dagen, ny trasé	21
6.6. Drift og vedlikehold av 0-alternativet.....	21
7 UTSLIPP FRA ENERGIBRUK FOR MERTRAFIKK OG DRIFT AV FERJER	21
7.1 Generelt om energibruk og utslipp av CO ₂ -ekv.....	21
7.2 Medgått energiforbruk for drift av ferjer	22
7.3 Anslag for utslipp fra medgått energiforbruk for mertrafikk ved bygging av fast samband .	23
7.4. Omregning av energiforbruk for ferjer og mertrafikk til utslipp av CO ₂ -ekvivalenter	23
8 ANDRE EFFEKTER.....	24
8.1 Flytrafikk.....	24
9 FØLSOMHETS BETRAKTNINGER	26

9.1	Faktorer som ikke er tatt med i beregningene.....	26
9.2	Faktorer som kan være under-/overestimert i beregningene.....	28
10	OPPSUMMERTE RESULTAT.....	29
11	VEDLEGG, KILDER OG REFERANSER.....	31
11.1	Vedlegg.....	31
11.2	Referanser.....	31
11.3	Kilder.....	32

SAMMENDRAG

Denne studien har med utgangspunkt i prosjektet E39 Stord – Os, sett på utslipp av klimagasser når en erstatter ferjesamband med fast vegsamband, i hele bruas levetid (100+ år).

I Statens vegvesen skal det i det formelle planarbeidet gjøre utslippsberegninger for alle kommunedelplaner og reguleringsplaner av større omfang. Dette skal gjøres med de standardiserte verktøyene EFFEKT og VegLCA og gjøres også gjennom reguleringsplanarbeidet for Hordfast. En vil da ha vesentlig bedre datagrunnlag, samtidig som en del parametere (f.eks. levetid) er forskjellig.

Den metoden som er benyttet i denne studien, er ikke ment som en erstatning for slike beregninger, men som et supplement som gir ny kunnskap om netto utslipp fra ferjeavløsningsprosjekt.

For prosjektet Stord – Os (Hordfast) gir studien et anslag på utslipp ved:

- 0-alternativ og fortsatt ferjedrift og drift av dagens vegnett i 100 år
- Bygging av Hordfast og endret trafikkmønster i samme tidsperiode

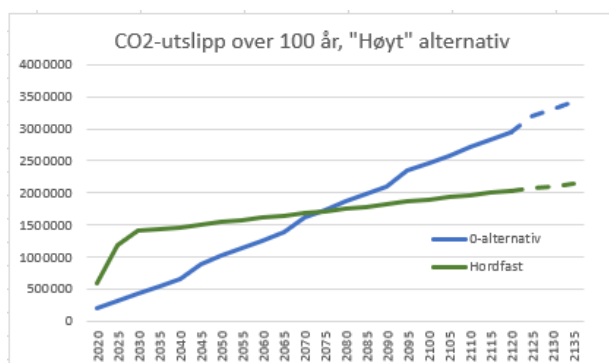
Beregningene er gjort på et grovt nivå med utgangspunkt i den vedtatte traséen i kommunedelplanen og mengder fra de siste anslagsberegninger som er gjort. Utslipp over en så lang periode som 100 år kan ikke gjøres på et eksakt nivå, og er derfor satt opp med et høyt/lavt-anslag for en rekke parametere. Dette gir et spenn i beregningene og resultatet vil vi anta vil ligge en plass mellom ytterpunktene både for 0-alternativet og for bygging av Hordfast.

	Høyt anslag (tonn CO ₂ -ekv.)	Lavt anslag (tonn CO ₂ -ekv.)
0-alternativ med fortsatt ferjedrift	2.945.000	1.638.000
Bygging av Hordfast	2.035.000	1.122.000

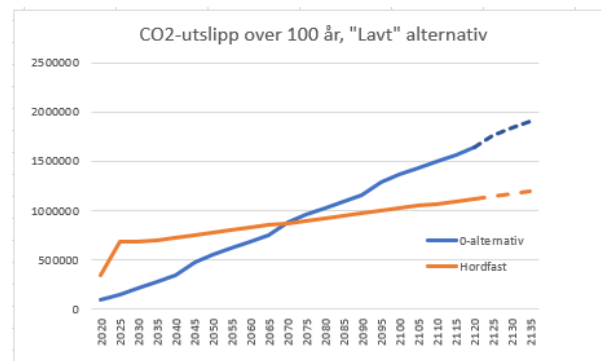
Tabell 1: Høyt/lavt-anslag for utslipp over en 100-årsperiode for 0-alternativ (fortsatt ferjedrift) og bygging av fast samband (Hordfast)

For 0-alternativet er energibruken ved drift av ferjene viktig for utslippsberegningene, men også bygging av ferjene i hundreårs-perioden er viktig. For Hordfast gir byggeperioden inklusive arealbruk de største bidragene til utslippene. I tillegg er det en del utslipp fra drift og vedlikehold og fra den økte trafikken. Bygging av Hordfast gir størst utslipp i byggeperioden for deretter å flate ut, mens 0-alternativet har jevn vekst i det akkumulerte utslippet over hele beregningsperioden.

Selv om det er stort spenn i resultatene fra beregningene, mener vi at det er en del viktige



Figur 2: Akkumulert CO₂-utslipp ved "høyt" alternativ



Figur 1: Akkumulert CO₂-utslipp ved "lavt" alternativ

konklusjoner som kan trekkes av resultatene:

- Det er svært sannsynlig at bygging av E39 Stord – Os, hvor ferje erstattes av bru og ny veg, gir en nedgang i utslipp av CO₂-ekv, sett over en hundreårsperiode. Dette er i motsetning til de fleste nye veganlegg som vanligvis gir økte utslipp av CO₂-ekv.
- Trafikk*arbeidet* i modellområdet (omfatter Rogaland og Vestland fylkeskommuner) er tilnærmet konstant etter åpning av Stord – Os så lenge det er bompenger lik dagens ferjetakster + 40 % på strekningen. Dette til tross for at E39-trafikken på strekningen vil øke med over 80 % ved fast samband (fra ca. 3.200 (2030) til litt under 6.000 (2030)). Når bompengene er nedbetalt, vil en få en ytterligere økning på 40 – 50 %, og da vil også trafikkarbeidet totalt i modellområdet øke litt (ca. 1 %).
- Ved å optimalisere både produksjon av stål, og måten en bygger på, samt ha korte transportavstander, kan utslipp både fra bygging av ferjer og bygging av brukonstruksjonene mer enn halveres. For at en skal greie dette, må det settes inn krav og økonomiske evalueringsmekanismer i anbudene som gjør det mulig å velge produksjonsmetoder som gir lavt utslipp. En må regne med at en slik reduksjon av utslippene vil kunne føre til høyere kostnad enn tilsvarende kjøp i dagens marked.
- Arealbeslaget av dyrket mark, skog og myr som går med ved bygging av veg i dagen på strekningen vil gå gjennom to faser: Under bygging vil arealbeslaget være størst. Deretter vil en del av brukt areal bli tilbakeført til dyrket mark eller skog. CO₂-opptak som over tid vil bli tatt opp fra tilbakeført areal er ikke tatt med i beregningene.

1 INNLEDNING

1.1 Generelt om studien

Beregningene som er gjort i denne studien er en teoretisk beregning som ser på utslipp i et hundreårs-perspektiv der en forutsetter at Stord – Os er ferdig bygget i 2020. Selv om dette åpenbart er feil, er det gjort slik siden de verdier som er benyttet for bygging av ferjer, bruer og veg er basert på erfaringstall fra realiserte prosjekt. Beregning av utslipp er et bevegelig mål, og det er sannsynlig at en del av de verdiene som er benyttet i denne studien (særlig for bygging av veg) vil være for høye i 2030. Samtidig er det trolig at CO₂-utslipp i 2030 vil ha et enda større fokus enn i dag.

Rapporten er en konkret beregning av utslipp av klimagasser med fortsatt ferjedrift og med bygging av fast samband på strekningen Stord – Os. Samtidig peker den mot en metode for hvordan man på et grovt nivå kan gjøre tilsvarende beregninger for andre ferjeavløsningsprosjekt.

1.2 Formål og avgrensninger

Et viktig formål med å gjennomføre slike beregninger som er gjort i denne studien, er å benytte resultatene til å optimalisere bygging med sikte på reduserte utslipp. Rapporten viser at det er store miljøgevinster å hente, både for bygging av bru og ferjer, ved å satse på lokal produksjon med lite frakt og på stål og arbeidsmetoder som er optimalisert i forhold til utslipp.

Dette vil trolig kunne gi noe økte kostnader, men regner en inn CO₂-avgifter som (i første omgang) er bebudet at de skal opp til 2000 kr. pr. tonn, kan det likevel vise seg å være gunstig. I tillegg til reduserte utslipp vil selvsagt slik produksjon ha fordeler for Norge i forhold til oppbygging av kompetanse og kapasitet innen «grønn» maritim industri. For å få det gjennomført, er det imidlertid viktig å ivareta dette aspektet i krav til utlysninger både innen ferjekontrakter og brubygging.

Siden beregning av utslipp over en så lang tidsperiode nødvendigvis er gjort på et grovt nivå, samtidig som det er kommunedelplan som er basis for de fleste mengdeanslag, er det en del avgrensninger som er gjort i hvilke faktorer som er beregnet. Som eksempel kan nevnes at det er ikke sett på utslipp i forbindelse med vedlikehold av ferjer. Det er heller ikke sett på spesifisering av ulike ståltyper i konstruksjonene eller bygging av Hordfast sin innflytelse på hurtigbåttrafikk eller flyruter ut over Stavanger – Bergen. En del av disse avgrensningene er tatt med i følsomhetsbetraktningene i kapittel 9., men totalt sett er det faktorer med relativt beskjedne utslipp i forhold til totalen som er utelatt fra beregningene.

2 DEFINISJONER OG FORUTSETNINGER

2.1 Generelt

Målsettingen med denne studien er, på et grovt nivå, å sammenligne utslipp for en fast forbindelse over en fjordkryssing kontra et ferjesamband. Som eksempel er det her gjort beregninger for prosjektet Stord – Os (Hordfast), men metoden kan relativt enkelt overføres til andre fjordkryssinger, og intensjonen er å gjøre et tilsvarende arbeid for andre fjordkryssinger langs E39, der faste forbindelser kan erstatte ferje.

Siden en fast forbindelse over en fjord har en svært lang levetid, vil en slik beregning nødvendigvis måtte inneholde en rekke forutsetninger. De viktigste forutsetningene er kort beskrevet i dette kapitlet.

For øvrig vil en finne mer detaljer i vedleggene og referansene. En beregning over en så lang tidshorison må nødvendigvis holdes på et grovt nivå og kan ikke betraktes som et eksakt resultat. Den vil likevel peke ut en sannsynlig retning for utslipp og energibruk både for et nullalternativ med fortsatt bruk av ferjer, og for en erstatning av ferjer med fast forbindelse.

For utslipp som blir generert ved realisering av prosjektet, er det benyttet CO₂-ekvivalenter som mål, siden det finnes relativt gode data for slike beregninger. Siden sammenligningen må referere seg til levetiden for brua, er det imidlertid svært vanskelig å si noe om utslipp fra trafikk og ferjer i hele denne perioden, med teknologi som vi alt i dag ser er i sterk endring. Det er derfor nyttet *energibruk* (kWh) som enhet for trafikken. I et sammenligningskapittel er det så en diskusjon om mulige spenn i sammenhengen mellom energibruk og CO₂-utslipp.

Det er viktig å presisere at vi i beregningene tar sikte på en total beregning av utslipp av klimagasser «fra vugge til grav», altså totale utslipp over hele levetiden til prosjektet, uavhengig av hvor utslippene oppstår geografisk. Det vil i praksis si at vi tar med utslipp i forbindelse med produksjon av bru, veg, ferje etc., inkl. utslipp i forbindelse med framstilling av nødvendige materialer (f.eks. stål til bru og ferje). Også destruksjon og resirkulering av stålmateriale til bru og ferje er tatt med i beregningene. Videre tar vi med utslipp i hele levetiden til prosjektet. Særlig for konstruksjonselement som bruer og ferjer vil det være stor forskjell i klimaavtrykk etter hvor de blir produsert og hvor de ulike elementene må fraktes. Også for drivstoff som bensin/diesel, hydrogen og elektrisitet er utslipp både til produksjon og framføring/transport av energien tatt med. Det er viktig å ha dette i mente når en holder utslippsverdiene som er brukt opp mot verdier fra andre kilder som ofte er beregnet på en mer begrenset del av livssyklusen.

For å tydeliggjøre konsekvensen av ulike måter å bygge både bru og ferje, har vi beregnet ytterpunkt-scenarier. Når vi presenterer beregninger for ulike scenarier, er det både for å tydeliggjøre denne forskjellen og for å vise hvor stor betydning den faktisk har for utslippene i byggefasen. Det kan selvsagt tenkes en rekke alternative produksjonsmåter som vil gi utslipp mellom disse scenariene.

2.2 Definisjoner

CO ₂ -ekv.	CO ₂ -ekvivalenter er et mål for effekten ulike klimagasser har på global oppvarming, omregnet til CO ₂ -effekt. Metan (CH ₄) har f.eks. en effekt på 25 ganger CO ₂ . (Noen steder i rapporten (særlig i tabeller) er benyttet betegnelsen «CO ₂ » i stedet for «CO ₂ -ekvivalenter» på grunn av plasshensyn)
EPD	Miljødeklarasjon (Environmental Product Declaration) som på en standardisert måte oppsummerer produktet sin påvirkning på miljøet, f.eks. utslipp av CO ₂ -ekvivalenter.
VegLCA	Beregningsmetode for beregning av utslipp fra bygging, vedlikehold og drift av veg (og jernbane). Verktøyet er utviklet av Asplan viak på oppdrag fra Statens vegvesen.
Elmiks	Uttrykket beskriver egentlig sammensetningen av produksjonskilder for elektrisk strøm hos en sluttbruker. En bruker også uttrykket «elmiks» om utslipp av CO ₂ -ekv. knyttet til den aktuelle sammensetningen av produksjonskilder for strømmen.
«Optimal stålmiks»	Dette er et uttrykk som er laget for denne rapporten og som beskriver en måte å produsere og bruke stål på med vesentlig lavere CO ₂ -avtrykk enn tradisjonell produksjon. Hva som konkret ligger i uttrykket er beskrevet i Vedlegg 1.

2.3 Forutsetninger

I den følgende tabellen er gitt en del sentrale verdier som er brukt i beregninger i studien.

I Vedlegg 1 er gitt en nærmere utdyping og begrunnelse for de verdiene som er valgt.

	Verdi	Merknad
Prosjekt lengde/levetid bru	100 år	Brua skal prosjekteres for 100-års dimensjonerende brukstid etter N400. Sammenligningsperioden i denne rapporten er satt lik dimensjonerende brukstid, men det er rimelig å anta at brua vil kunne bli brukt lenger enn det.
Levetid ferje	25 år	I praksis vil ferjene ofte skiftes ved ny kontrakt, ca. hvert tiende år. De vil imidlertid selvsagt kunne settes inn i et nytt samband. Trolig vil standarder for driftsmiddel (f.eks. el-lading) samt ulike krav ellers, gjøre at praktisk levetid i et norsk ferjesamband ikke vil være mer enn 25 år.
Energibruk el-bil pr. km (personbil)	0,20 kWh/km	Avhengig av vekt, teknologi, kjøring etc. ligger forbruket i dag på 0,16 - 0,25 kWh/km.
Energibruk diesel/-bensinbil kWh/km (personbil)	0,75 l/mil	Avhengig av vekt, teknologi, kjøring, veg, trafikk etc. ligger forbruket i dag på 0,4 - 1,0 l drivstoff pr. mil. 1 l diesel = 10,7 kWh og 1 l bensin = 9,7 kWh.
	0,70 kWh/km	
Energibruk diesel tungbil (gjennomsnitt er satt til 4,0 l /mil)	4,0 l/mil	Avhengig av vekt, teknologi, kjøring, veg, trafikk etc. ligger forbruket i dag på 4,5 - 5,5 l drivstoff pr. mil for et 40 tonnsgogt. For en lastebil med full last er tilsvarende på 3,0 - 3,5 l. 1 l diesel = 10,7 kWh
	4,3 kWh/km	
Energibruk tungbil el-/hydrogen	2,1 kWh/km	Det er lite erfaring med hydrogen og el. som drivstoff på tungbil. Vi har antatt en halvering av energibruken ved overgang til hydrogen/el. Energibruken er trolig noe høyere for hydrogen enn for el., også for tungbil.
Energibruk ved produksjon av bensin/diesel	Diesel: + 21 % Bensin: + 18 % (gj.sn. 20 %)	Det går med 0,211 kilowattimer for å produsere 1 kilowattime diesel, eller 2,13 kilowattimer per liter diesel. For bensin er det 0,18 kilowattimer per kilowattime drivstoff, eller 1,63 kilowattimer per liter.
Energibruk ved produksjon av hydrogen	+ 30 %	Når hydrogen blir framstilt ved elektrolyse går ca. 30 % av brukt energi tapt i form av varme, I tillegg er det et visst tap ved bruk i brenselcellen for omdanning til elektrisk kraft og bruk av denne til drift av kjøretøy.
Tungbilandel	10 %	Vil variere i modellområdet
Norsk elmiks	23 g CO ₂ /kWh	Energibruk (utslipp) ved produksjon av elektrisk kraft inngår i elmiks-faktoren. I forbruksfasen er elektrisk kraft tilnærmet utslippsfri. Se ellers egen diskusjon om verdier
Nordisk elmiks	120 g CO ₂ /kWh	
Europeisk elmiks	320 g CO ₂ /kWh	

	Verdi	Merknad
		for elmiks i Vedlegg 1.
Ferje Halhjem – Sandvikvåg	748	Det er i dag 748 turer i uken. Ved oppgradering til 15 minutt frekvens vil en ha 935 turer i uken
	935	
	17 knop	Driftsfart for sambandet gjennom hele perioden
	22 km	Lengde på ferjestrekninga, konstant gjennom hele perioden
	4000 tonn	Vekt ferje. Samme ferjestørrelse gjennom hele perioden
	4375 kWh	Samme energiforbruk pr. tur gjennom hele perioden
5 – 6	Antallet ferjer: 5 (2020 – 2040), 6 (2040 – 2120)	
Ferje Halhjem – Våge	166	Antall turer i uken i hele perioden
	12 knop	Driftsfart for sambandet gjennom hele perioden
	12,7 km	Lengde på ferjestrekninga, konstant gjennom hele perioden
	3000 tonn	Samme ferjestørrelse gjennom hele perioden
	700 kWh	Samme energiforbruk pr. tur gjennom hele perioden
	1	Samme antall ferjer gjennom hele perioden
Ferje Jektevik – Hodnaneset	312	Antall turer i uken i hele perioden
	10 knop	Driftsfart for sambandet gjennom hele perioden
	2,4 km	Lengde på ferjestrekninga, konstant gjennom hele perioden
	2000 tonn	Samme ferjestørrelse gjennom hele perioden
	177 kWh	Samme energiforbruk pr. tur gjennom hele perioden
	1	Samme antall ferjer gjennom hele perioden

Asplan viak har utviklet et verktøy for beregning av utslipp i forbindelse med bygging/drift og vedlikehold av veg for Statens vegvesen (VegLCA). Verktøyet kan brukes på et grovt nivå (f.eks. kommunedelplannivå) der det gir et grovt anslag av utslipp av CO₂-ekvivalenter over levetiden til prosjektet. I verktøyet er det gjort detaljert rede for hvilke beregningsforutsetninger som er benyttet. I denne studien er verktøyet dels benyttet på et grovt nivå, dels er beregningsforutsetningene i verktøyet benyttet som grunnlag for manuelle beregninger. Verktøyet tar for en stor del utgangspunkt i utslipp ved dagens produksjon, drift og vedlikehold. Siden vi må regne med en dreining mot drift og vedlikehold med mindre utslipp i framtiden, vil verdier beregnet i et 100-års-perspektiv sannsynligvis bli en del for høye.

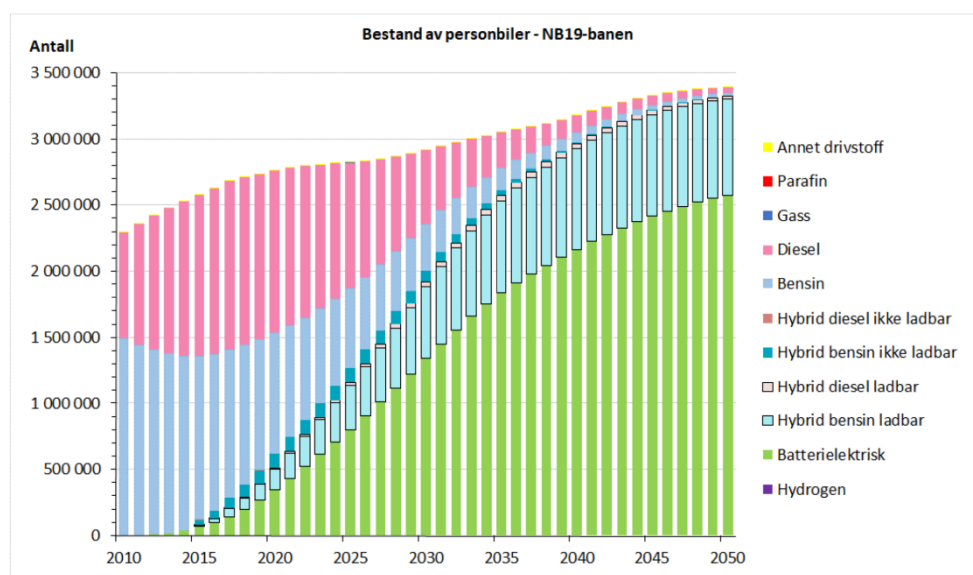
Statens vegvesen skal benytte VegLCA på et detaljert nivå for alle større reguleringsplaner, og prosjektet som er ansvarlig for reguleringsplanen E39 Stord – Os vil derfor benytte verktøyet på et detaljert nivå når de har oversikt over medgåtte mengder av alle komponenter. Disse beregningene vil selvsagt ha et vesentlig større nøyaktighetsnivå enn beregningene som i denne studien er gjort etter grovt nivå.

3 TRAFIKKUTVIKLING

3.1 Generelt

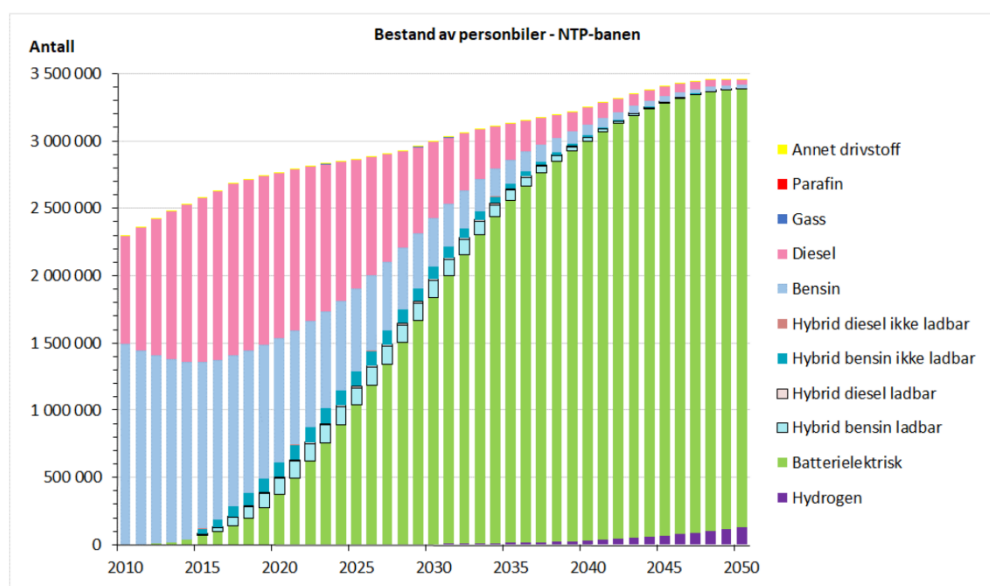
Trafikkutviklingen fram til 2050 er beregnet med Nasjonal Transportmodell, delområdemodell Region vest, både med ferje og med fast samband Stord – Os. For perioden etter 2050 har vi ingen modellberegninger for trafikken, hverken i modellområdet eller på landsbasis. Vi må derfor basere oss på trendprognoser som er utviklet på landsbasis både for bilbestand og for befolkning. Vi har da tatt utgangspunkt i TØI sine prognoser for utvikling av kjøretøypark og trafikkarbeid.¹ Prognosene er justert for forventet befolkningsutvikling kommunevis i modellområdet og trafikkutviklingen er forutsatt å utvikle seg proporsjonalt med befolkningsutviklingen både for ferjealternativet og for alternativ med fast samband.

Det finnes i dag to ulike prognoser for sammensetning av kjøretøyparken fram til 2050. Den ene er utviklet i samband med NTP 2022–2033 og den andre er basert på forutsetningene i nasjonalbudsjettet 2019.



Figur 3: Prognoser for personbilbestand, NB19-banen

¹ Framskrivning av kjøretøyparken, TØI rapport 1689/2019

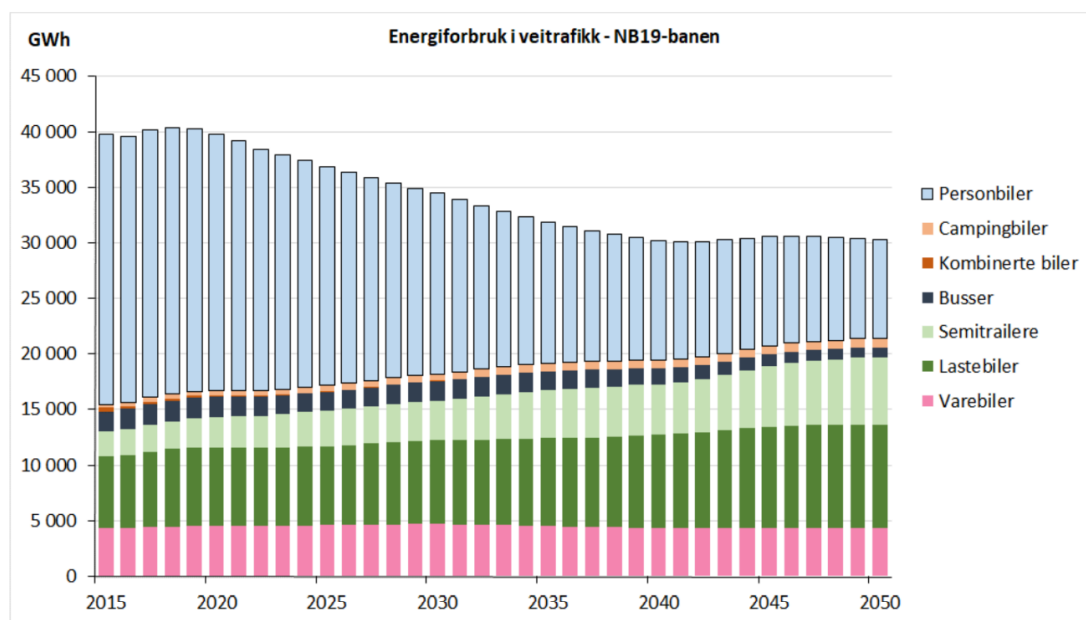


Figur 4: Prognoser for personbilbestand, NTP-banen

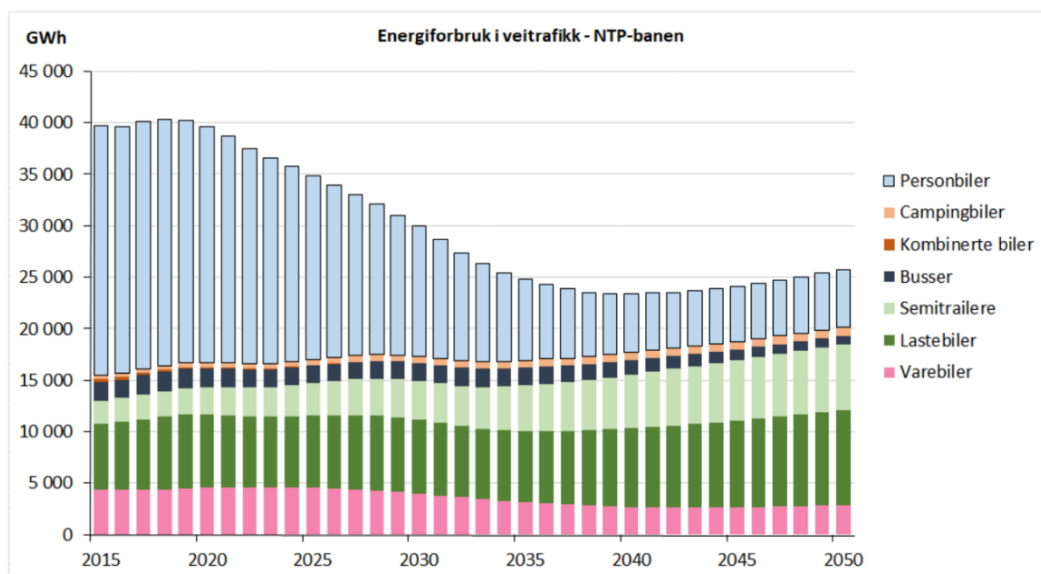
Som en ser, er det relativt stor forskjell på sammensetning av kjøretøyparken i de to utviklingsbanene. Tilsvarende er det for varebiler, tunge kjøretøy og busser.

I denne rapporten har vi brukt utviklingsprognosene for NTP-banen i beregningene fram til 2050. Etter 2050 er det forutsatt en uendret sammensetning av kjøretøyparken, men en vekst i kjøretøykilometer for alle kjøretøygruppene lik veksten i befolkningen.

TØI har også beregnet endring i energiforbruk for veitrafikken.



Figur 5: Prognose for energiforbruk for ulike transportmiddel, NB19-banen



Figur 6: Prognose for energiforbruk for ulike transportmiddel, NTP-banen

Også her er det forskjell i utviklingen fram til 2050, men felles for begge er at det er fallende energibruk for personbiler grunnet økende elektrifisering fram til 2040, mens for nyttetransporten er det en jevn, relativt stabil økning gjennom hele perioden. Fra 2040 til 2050 øker energiforbruket relativt proporsjonalt med befolkningsøkningen i NTP-banen, og vi har valgt å fortsette denne trenden ut beregningsperioden.

3.2 Trafikk og trafikkarbeid Stord – Os

Trafikken er beregnet for følgende tilfeller:

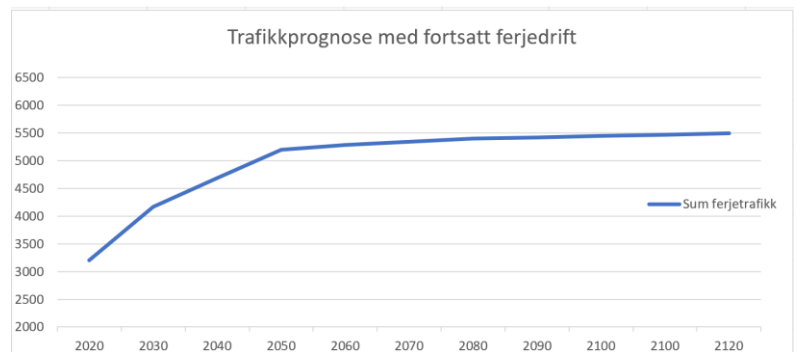
- *NTP-ref 2030 og 2050.*
 Dette er trafikken en vil få i 2030 og 2050 dersom det ikke blir gjort tiltak i modellområdet ut over de prosjekt som inngår i første periode av NTP 2018–2029.
- *Hordfast 2030 med bom.*
 Dette er trafikken en vil får dersom Hordfast er ferdig realisert i 2030, men med bompenger.
- *Hordfast 2050 uten bom.*
 Etter 20 år er bompengene forutsatt nedbetalt, og trafikken er da beregnet uten bompenger.

For alle tilfellene er det beregnet trafikk tall på den konkrete strekningen som blir bygget, det vil si på E39 Stord – Os, men det er også beregnet totalt trafikkarbeid i modellområdet, og det er denne totaltrafikken, målt i transportkilometer, som er benyttet i energiberegningene.

For å beregne trafikkutviklingen etter 2050 har vi benyttet befolkningsprognosene til SSB på kommunenivå. Vi har altså forutsatt at bilhold og reiseaktivitet er stabilt etter 2050, og at trafikk og kjørte kilometere i modellområdet utvikler seg i takt med økningen i befolkning.

NTP-ref 2030 og 2050

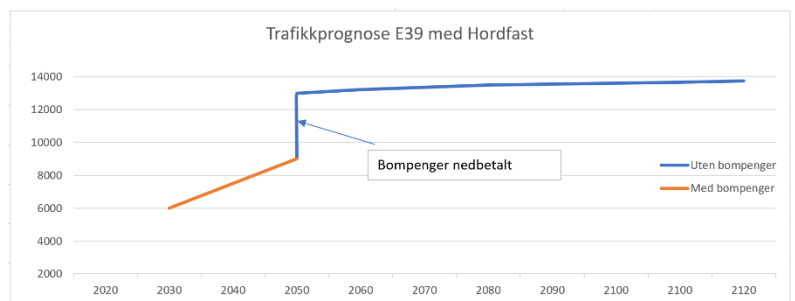
Dette er altså trafikkutvikling beregnet med fortsatt ferjedrift. I fig. 7 er vist utviklingen i trafikk på ferja Halhjem – Sandvikvåg + Halhjem – Våge ved fortsatt ferjedrift. ÅDT på ferjestrekningen Halhjem – Sandvikvåg er i dag på 2750 (2019). I tillegg er det ÅDT på 450 på strekningen Halhjem – Våge, – til sammen 3200. Dette vil øke fram mot 2050 til knapt 5200. Deretter er veksten forutsatt å flate ut i takt med befolkningsprognosen.



Figur 7: Trafikkutvikling E39 i referansealternativet med fortsatt ferjedrift. (inkl. Halhjem – Våge).

NTP Hordfast 2030 og 2050.

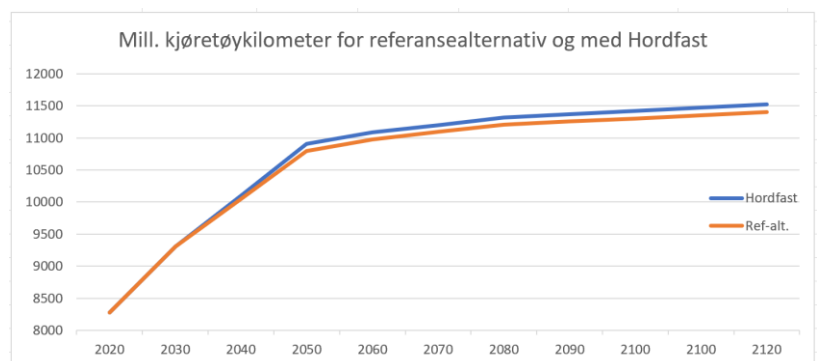
Ved ferdig fast samband Stord – Os i 2030, viser trafikkberegningene at med bompenger i størrelsesorden dagens ferjetakst + 40 %, vil trafikken på strekningen ligge på litt under 6000, det vil si en økning på ca. 80 %. I 2050 vil bompengene falle bort, og trafikken vil øke ytterligere til ca. 13.000. Etter 2050 er så trafikkveksten forutsatt å være proporsjonal med befolkningsveksten i modellområdet.



Figur 8: Trafikkutvikling E39 ved bygging av Hordfast

Trafikkarbeidet i modellområdet

Bygging av fast samband Stord – Os fører over tid til en omlegging av trafikken i området. Det fører altså til både økning og reduksjon av trafikken på vegnettet også utenfor E39. I forhold til energibruk og utslipp av klimagasser er det endringen i den totale mengde kjørte kilometer som er interessant. Ved åpning av Stord – Os med bompenger ca. lik dagens ferjetakst + 40 %, vil trafikken på E39 over Bjørnafjorden øke med ca. 50 %. Beregningene viser imidlertid at den totale trafikken i modellområdet vil være tilnærmet lik referansealternativet med ferjedrift. Dette kommer av at reisemønsteret i modellområdet endrer seg. Plott som viser endringene i trafikk på de ulike lenkene er lagt ved i vedlegg, og der ser en hvilke lenker som får økt trafikk og hvilke som får mindre trafikk.



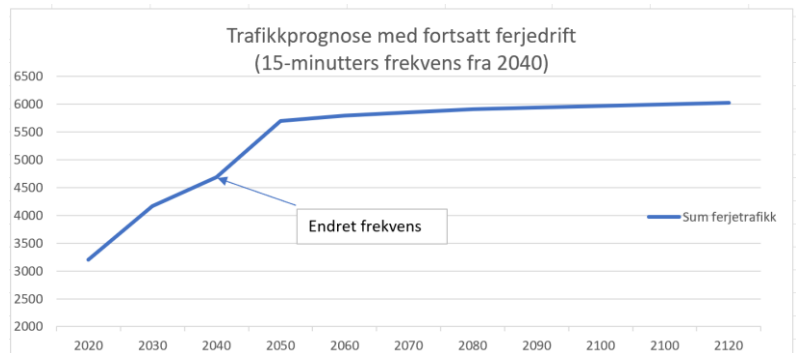
Figur 9: Kjøretøykilometere i modellområdet med bygging av Hordfast kontra fortsatt ferjedrift

Når bompengene opphører, vil en få en kraftig økning i trafikk på E39 over Bjørnafjorden. Det blir også en økning i totalt utkjørte kilometere i modellområdet i forhold til referansesituasjonen (fortsatt ferjedrift), men økningen er forholdsvis beskjeden (1 % økning av totaltrafikkarbeidet i området).

For trafikktutviklingen etter 2050 har vi basert oss på trafikktutvikling proporsjonalt med befolkningsutviklingen både for referansealternativet og for alternativet der Stord – Os er realisert. Det vil si at differansen i trafikkarbeidet mellom alternativene følger samme utviklingsbane i resten av hundreårs-perioden.

Ferjetrafikk

ÅDT Halhjem – Sandvikvåg er på ca. 2 750² med 17 % tungtrafikk. TØI har gjort beregninger med ulik frekvens på ferjetilbudet i ref. 3. Dersom ingen endringer skjer, har de beregnet trafikken i 2050 til 4700, mens et forbedret ferjetilbud med 15-minutters frekvens 07.00 – 20.00 vil gi ÅDT på 5200. I disse beregningene har vi forutsatt at en i 2040 går over til 15 minutt frekvens, og at en senere holder det på dette nivået ut beregningsperioden. Dette gir en gjennomsnittlig årlig vekst på 2,2 % i perioden fram til 2050. Etter 2050 har vi forutsatt at veksten er lik befolkningsveksten, også på ferjealternativet.



Figur 10: Prognose for utvikling av ferjetrafikk Halhjem – Sandvikvåg, (inklusive Halhjem – Våge) ved bedret rutetilbud til 15-minutters frekvens

På strekningen Halhjem – Sandvikvåg³ går det i dag fem ferjer. Vi har i denne beregningen forutsatt at antallet blir økt til 6 ferjer i 2040 med forbedret frekvens. Dersom det blir et behov for ytterligere ferger, og det er sannsynlig, mener vi det ikke er praktisk mulig å bruke på dette sambandet uten å flytte ferjeleiet på Halhjem, og lage ny vei til det nye ferjeleiet. Dette vil medføre ytterligere utslipp, men er ikke vurdert eller medtatt i denne rapporten.

På strekningen Halhjem – Våge⁴ går det i dag en ferje. Dette er forutsatt i hele beregningsperioden, og det er bare forutsatt en relativt liten vekst i trafikken på dette sambandet i perioden.

På strekningen Hodnanes – Jektevik⁵ går det i dag en ferje. Dette er forutsatt i hele beregningsperioden.

² 2020 var et unntaksår på grunn av Covid-19, så det er her tatt utgangspunkt i trafikk 2018 – 2019.

³ Se detaljert beskrivelse i Vedlegg 1, pkt. 10

⁴ Se detaljert beskrivelse i Vedlegg 1, pkt. 11

⁵ Se detaljert beskrivelse i Vedlegg 1, pkt. 12

4 FERJER

4.1 Produksjon av ferjer

Utslipp fra produksjon av ferjer er beregnet med utgangspunkt i tonn stål som medgår til produksjonen, samt erfaringstall på utslipp ved bygging av øvrige deler av ferja⁶.

Både for Halhjem – Sandvikvåg, Halhjem – Våge og Jektevik – Hodnaneset forutsetter vi at vi bygger nye ferjer i 2020, og at disse ferjene er bygd med en teknologi som utnytter energien optimalt. I praksis vil det bety elektriske ferjer på de to siste sambandene. For Halhjem – Sandvikvåg er elektrisk teknologi foreløpig ikke mulig, men det kan bli mulig i framtiden. Drift med hydrogen/brenselsceller eller lignende vil i alle fall være aktuelt. (I trafikkberegningene for ferjer er det forutsatt konstant energibruk i hele perioden for alle samband, og elektrisitet som kilde til energien).

Totalt må det altså i 100-årsperioden bygges:

- Halhjem – Sandvikvåg: (5 stk. + 6 stk. x 3) 4000-tonns ferjer
- Halhjem – Våge: 1 stk. 3000-tonns ferje x 4
- Jektevik – Hodnaneset: 1 stk. 2000-tonns ferje x 4

De siste ferjene er da bygget i 2095 og har en levetid som samsvarer med beregnet levetid for bruene.

Vi har gode data for størrelsen på utslipp ved produksjon og sveising av stål. I beregningene er utslipp fra produksjon av både nytt stål og resirkulert stål beregnet konstant over tid (det vil si ingen store tekniske forbedringer i forhold til utslipp). For ferjer er det imidlertid svært stor forskjell på utslipp avhengig av både *hvor* ferjene blir produsert og om en benytter nytt eller resirkulert stål. I beregningene er ytterpunktene karakterisert ved:

- a) Ferje produsert med nytt stål i Tyrkia. Frakt av skrog fra Tyrkia til Norge er forutsatt med bruk av slepebåt.
- b) Ferje produsert med resirkulert stål i Norge. Utslipp fra frakt er lavt på grunn av kort avstand.

Mellomstadier er selvsagt også mulig. Dagens ferjer på Halhjem – Sandvikvåg er produsert i Tyrkia, men i den forrige kontrakten hadde Fjord 1 LNG-ferjer som var produsert i Norge (altså med kort frakt), men med tradisjonelt stål.

⁶ *Ferjedata utslipp og energibruk.xlsx*

Dette gir følgende CO₂-utslipp for bygging av ferjer (alle tall i tonn CO₂):

	<i>Produksjonsmåte</i>	<i>Ferje</i>	<i>Transport pr. ferje</i>	<i>Bygging pr. ferje</i>	<i>Antall ferjer</i>	<i>Sum utslipp (tonn CO₂)</i>
Halhjem – Sandvikvåg	Tyrkia, nytt stål	4.000 tonn	3.000	13.000	23	368.000
	Norge, optimal stålmiks		200	8.100		191.000
Halhjem – Våge	Tyrkia, nytt stål	3.000 tonn	3.000	10.000	4	52.000
	Norge, optimal stålmiks		200	5.800		24.000
Jektevik – Hodnaneset	Tyrkia, nytt stål	2.000 tonn	3.000	6.800	4	39.000
	Norge, optimal stålmiks		200	4.000		17.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med nytt stål i Tyrkia						459.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med optimal stålmiks i Norge						232.000

Tabell 2: Utslipp CO₂ ved bygging av ferjer i hele beregningsperioden

4.2 Drift/vedlikehold av ferjer

Det er et visst utslipp i forbindelse med vedlikehold av ferjeflåten, men dette er ikke beregnet i denne studien og er neglisjerbart i forhold til bygging og drift av ferjene. For drift av ferjene er det gjort en egen energiberegning i pkt. 7.2. For at ferjetrafikken skal gå, er det imidlertid nødvendig med et kontinuerlig vedlikehold og i praksis også fornying av ferjeleiene. Særlig fornying kan gi betydelige kostnader og utslipp, men er svært vanskelig å beregne uten at det foreligger konkrete planer. Utslipp fra dette er følgelig ikke beregnet i denne studien.

5 BRUER

5.1 Produksjon og drift og vedlikehold av bruer

Det er to større bruer som skal bygges: Flytebru over Bjørnafjorden (5,5 km) og hengebru over Langenuen (1780 m). Utslipp av CO₂-ekvivalenter i forbindelse med bygging av disse, er beregnet spesielt. Det er også flere «mindre» bruer som blir bygget (bru over Bårdsundet, Ulvenvatnet, Søreidsvågen, etc.). Utslipp fra bygging av disse er inkludert i utslipp fra øvrig vegbygging. Det er gjort en grov beregning av utslipp fra byggefasen og senere drift og vedlikehold ved hjelp av mengdedata fra prosjektet og beregningsverdier i VegLCA, og disse øvrige bruene inngår i denne beregningen.

5.1.1. Bru over Bjørnafjorden

Flytebrua over Bjørnafjorden er 5,5 km og konstruksjonen er en sideforankret flytebru (12 forankringslinjer til bunnen for sideforankring) og med skråstagbru for seilingsløp ved landfeste på Rekstern i sørenden av brua. Utslipp i forbindelse med bygging av flytebrua over Bjørnafjorden er beregnet i to varianter (høy/lav). I «høy»-varianten er stålet i brukassen forutsatt produsert som nytt stål og med frakt fra lavkostland (Kina). I «lav»-varianten er stålet produsert som optimalisert stålmiks, og med relativt korte transportavstander. (Se ellers Vedlegg 1 for mer detaljerte beregninger). Også for betong er det gjort høy/lav-beregning med henholdsvis B45 bransjereferansebetong og B45 lavkarbonbetong. Mengder er beregnet fra anslagsberegningen for flytebrua av 12.7.2021.

<i>Produksjonsmåte</i>	<i>Mengde</i>	<i>Bygging (tonn CO₂-ekv.)</i>	<i>Drift og vedl.h. (tonn CO₂-ekv.)</i>	<i>Sum utslipp (tonn CO₂)</i>
Kina, nytt stål	120.100 (tonn)	450.000		450.000
Norge, optimal stålmiks		190.000		190.000
Betong B45, bransjeref.	37.000 (m ³)	20.000		20.000
Betong B45, lavkarbon		15.000		15.000
Diverse (asfalt, rekkverk, belysning etc.)		4.000	15.000	15.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med nytt stål, langtransportdistanse, standard betong				485.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med optimal stålmiks, kort transportdistanse, lavkarbon betong				220.000

Tabell 3: Beregnet utslipp ved bygging og drift av bru over Bjørnafjorden ved to scenarier (høy/lav).

5.1.2. Bru over Langenuen

Over Langenuen er det beregnet en tradisjonell hengebru med brukasse av stål, og med tårn av betong. Inklusiv viadukter blir den 1780 meter lang. Som for flytebrua er det beregnet to varianter (høy/lav). (Se ellers Vedlegg 1 for mer detaljerte beregninger). Mengder er hentet fra anslagsberegningen 12.7.2021.

<i>Produksjonsmåte</i>	<i>Mengde (tonn)</i>	<i>Bygging (tonn CO₂-ekv.)</i>	<i>Drift og vedl.h. (tonn CO₂-ekv.)</i>	<i>Sum utslipp (tonn CO₂)</i>
Kina, nytt stål	19.100 (tonn)	74.000		74.000
Norge, optimal stålmiks		30.000		30.000
Betong B45, bransjeref.	48.900 (m ³)	18.000		18.000
Betong B45, lavkarbon		12.000		12.000
Armering	9.000 (tonn)	8.000		8.000
Diverse (asfalt, rekkverk, belysning etc. etc.)		1.500	5.500	7.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med nytt stål, lang transportdistanse				107.000
Sum utslipp CO₂ over 100-års-periode, bygget med optimal stålmiks, kort transportdistanse				57.000

Tabell 4: Beregnet utslipp ved bygging og drift av bru over Langenuen ved to scenarier (høy/lav).

6 BYGGING AV VEG

6.1 Arealbeslag

Det blir gjennomført detaljerte beregninger av ulike typer arealbeslag i forbindelse med reguleringsplanen. Dette vil bli brukt i de mer nøyaktige VegLCA-beregningene som da blir utført. I kommunedelplanen er det gjort en omfattende registrering av naturtyper, men siden traséen ikke var bestemt, er arealbehovene av de ulike naturtypene usikker. I denne beregningen har vi regnet med beslag av i gjennomsnitt 100 meter bred trasé av vedtatt trasé i kommunedelplanen i «lavt» nivå, mens det er gjennomsnittlig 200 meter bredde i «høyt» nivå. I kommunedelplanen er det særlig to myrområder nord på Tysnes og to mindre områder sør på Tysnes som det er sannsynlig vil bli berørt, men volumet av myrmasser vil først bli avklart gjennom reguleringsplanen. I denne rapporten er det anslått verdi på grunnlag av funnene i kommunedelplanen.

Omfanget av arealbeslag er vanskelig å fastslå på kommunedelplan-nivået, m.a. blir det vurdert alternative traséer syd på Tysnes som er avgjørende for omfanget av beslag av de ulike arealtypene. Dette vil altså helt sikkert endre seg en del gjennom reguleringsplanleggingen der en vil ha et langt sikrere anslag av omfanget, men det vil neppe ha stor betydning for de totale utslippsvurderingene.

Delstrekning	Dyrket mark/innmark (dekar)		Skogsareal (dekar)		Myr (m ³)	
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav
Ådland – Agdestein	260	130	1720	860	1000	500
Agdestein – Gjøvåg	700	350	4000	2000	4000	2000
Gjøvåg – Svegatjørn	100	50	670	380	500	250
Sum	1060	530	6880	3440	5500	2750

Tabell 5: Anslag for medgått areal av dyrket mark, skog og myr.

6.2 Tunneler

Det gjenstår fortsatt å avklare trasé endelig sør på Tysnes, og det kan gi litt avvik på tunnellengder i prosjektet. I denne studien benytter vi traséen i den vedtatte kommunedelplanen:

- Undersjøisk tunnel (Gullholmen – Moberg): 7,7 km
- Sum tunnel øvrige trasé: 9 km fordelt på fem tunneler

Tunnelprofilen i kommunedelplanen er på 2 x T10,5 med et teoretisk sprengingsprofil på 79 m². Det er dette som er benyttet i disse beregningene. I reguleringsplanen vil det bli vurdert å redusere profilet til 2 x T9,5 med teoretisk sprengingsprofil 71 m², noe som vil redusere CO₂-utslipp for denne prosessen med ca. 10 % på grunn av redusert masseuttak og -flytting.

6.3 Bruer

I tillegg til bruene over Langenuen og Bjørnafjorden, er det flere mellomstore bruene i prosjektet. I vedtatt kommunedelplanstrasé utgjør disse til sammen 1,5 km. Utslipp fra disse bruene, samt en del kulverter og bruene i forbindelse med toplanskryss, er beregnet som en del av «bygging av veg».

6.4 Veg i dagen

Totalt er det 29 km veg i dagen i den vedtatte traséen for kommunedelplanen. Medgått areal er beregnet ut fra en vegbredde på 23 m (det blir vurdert å redusere den til 20 m i reguleringsplanarbeidet). Total arealbruk er beregnet ut fra en gjennomsnittlig medgått bredde på 100/200 m. I reguleringsplanen vil en ha et mer nøyaktig anslag på dette. Det er anslått et gjennomsnittlig masseuttak på mellom 150 m³ og 300 m³ pr. lm hvorav en tredjepart er sprengningsmasser og to tredjeparter er jordmasser. Tallet er usikkert siden det ikke foreligger en massedisponeringsplan på kommunedelplannivå.

6.5 Beregninger

Beregningene er utført som en høy/lav-beregning. Faktorene som er variert er listet opp i tabellen nedenfor:

Element	Faktor	Høy	Lav
Bruer	Volum betong	60 m ³ /lm	40 m ³ /lm
	Type betong	B45 bransjeref.	B45 lavkarbon
	Armering	200 kg/m ³ betong	150 kg/m ³ betong
Tunneler	Tverrsnitt	T 10,5	T 9,5
	Transportlengde	20 km	10 km
	Betongelement prefabrikert	10 tonn/lm	8 tonn/lm
Veg i dagen	Sprengning i linja	100 m ³ /lm	50 m ³ /lm
	Graving i linja	200 m ³ /lm	100 m ³ /lm
	Masseflytting lengde	10 km	5 km
Rør kummer, betongelement	Tonn/km veg	200 tonn/km	100 tonn/km
	Type betong	B45 bransjeref.	B45 lavkarbon
Rekkverk		82000 lm	53000 lm

Tabell 6: Oversikt over høy/lav beregningsverdier for en del sentrale parametre

6.5. Totalutslipp drift og vedlikehold av veg i dagen, ny trasé

Med de gitte forutsetningene har vi ved bruk av VegLCA beregnet et høyt-/lavt-anslag for utslipp knyttet til bygging og drift av veganlegget Stord – Os i en hundre-årsperiode (eksklusive bruene over Bjørnafjorden og Langenuen som inngår i egne beregninger).

	Beregnet utslipp av CO ₂ -ekv. (tonn)	
	Høyt anslag	Lavt anslag
Anleggsfasen	192.000	147.000
Arealbruksendringer	530.000	265.000
Drift og vedlikehold i 100 år	262.000	255.000
Sum	984.000	667.000

Tabell 7: Totalutslipp for bygging og drift og vedlikehold av veg i dagen i hundreårs-perioden

6.6. Drift og vedlikehold av 0-alternativet

Dagens E39-vegnett på Stord (Sandvikvåg – Ådland) og i Os (Moberg – Halhjem) må fortsatt driftes og vedlikeholdes selv om Hordfast blir bygget. Det vil imidlertid skje med lavere frekvens på asfaltering og annet vedlikehold av selve vegen, samt at ferjekaiene som i dag krever relativt hyppige ombygginger/utbedringer blir lagt ned. I denne beregningen har vi antatt at utslipp fra framtidig drift og vedlikehold av dagens vegnett vil reduseres til halvparten av behovet dersom Hordfast ikke blir bygget. Dette utgjør totalt en reduksjon i utslipp på 26.000 tonn CO₂-ekv. for drift og vedlikehold av dette vegnettet i beregningsperioden.

7 UTSLIPP FRA ENERGIBRUK FOR MERTRAFIKK OG DRIFT AV FERJER

7.1 Generelt om energibruk og utslipp av CO₂-ekv.

All bruk av energi forårsaker utslipp. Størrelsen på utslippet er i hovedsak avhengig av to ting: Hvordan energien er produsert og hvor effektivt en greier å utnytte energien til sitt formål (i dette tilfellet transport). Vi er inne i et «grønt skifte» der energien gradvis går over fra å bli produsert fra fossile kilder som kull, olje og naturgass til kilder som gir mindre utslipp. Tilgang til billig energi er en mangelvare og det blir lagt ned en stor forskningsinnsats både for å finne nye energikilder med lavt utslippsnivå, og for å kunne lagre energien på en mer effektiv måte. Hvordan denne utviklingen vil gå i en hundreårs-periode, er naturligvis umulig å si. Vi mener imidlertid at det er bedre å beskrive forbruk i en så lang periode som *energiforbruk* enn som *utslipp av CO₂-ekvivalenter*. Selv om også energiforbruk for et gitt formål vil kunne variere over tid gjennom forbedring av prosesser, har det likevel hittil vist seg å være en relativt stabil faktor.

I prinsippet ville vi ønske at det for alle aktiviteter som pågår i hele hundreårs-perioden ble beregnet medgått energi. For drift- og vedlikehold har det imidlertid ikke vært mulig å skaffe gode nok data til dette, så derfor er det der beregnet utslipp av CO₂-ekvivalenter med utgangspunkt i verdier fra dagens produksjon. Det er sannsynlig at disse verdiene er for høye sett over hele driftsperioden, siden vi også

her står overfor en overgang til mer bruk av elektrisitet som energikilde. For transport på veg og ferje har vi gode data, og medgått energi til disse formålene er beregnet i kap. 7.2. og 7.3.

Vi har tatt utgangspunkt i at størstedelen av energiforbruket til transport vil være elektrisk energi (som gir best utnyttelse av energien) i hele perioden. Unntaket er for biltrafikken, der vi har brukt prognoser for sammensetning av bilparken som grunnlag. I kapittel 7.4 samt i Vedlegg 1 vil vi diskutere hvor mye utslipp dette energiforbruket vil medføre ved ulike scenarier av utvikling av elmiks i perioden.

7.2 Medgått energiforbruk for drift av ferjer

Utslipp fra drift av ferjer er et omdiskutert tema. I det siste tiåret har ferjeflåten gått over fra å være basert i hovedsak på dieseldrift/LNG til elektrisk drift på kortere samband og LNG på de lengste. Videre er det ferjer drevet med hydrogen under utprøving. Foreløpig er hydrogen produsert hovedsakelig av naturgass, men dette vil kunne endre seg i framtiden dersom en har tilstrekkelig tilgang på energi med lavt utslippsnivå. Totalt sett må det knyttes mange diskutabile forutsetninger til vurdering av framtidige utslipp fra ferjedrift over en så lang driftsperiode som 100 år.

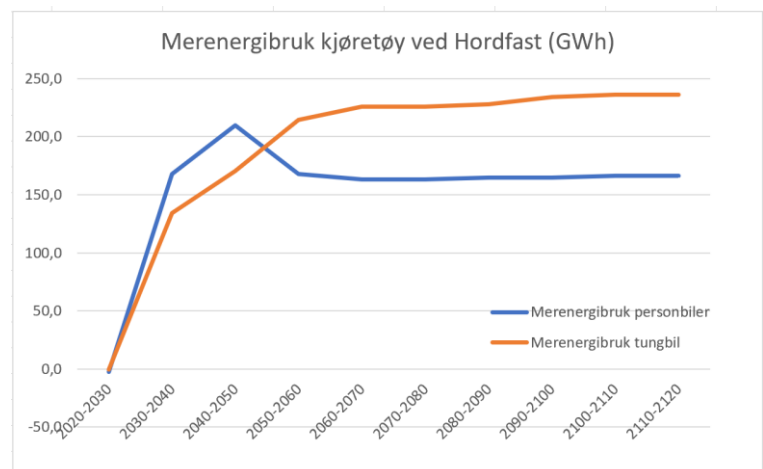
Samtidig som en har hatt en «revolusjon» i endring av drivstoff og utslipp av klimagasser fra ferjeflåten, har energiforbruket for framføring av ferjene vært mer konstant. Selv om det også der skjer små tekniske forbedringer, er energiforbruket bundet av en del fysiske lover som gjør store innsparinger svært vanskelige. I disse beregningene har vi derfor beregnet samlet energi som vil gå med til å drive ferjene som blir erstattet av Hordfast over hele sammenligningsperioden. Detaljerte beregninger vises i vedleggene.

<i>Ferjestrekning</i>	<i>GWh (1 million kWh)</i>			<i>Merknad</i>
	<i>2020-2040</i>	<i>2040 - 2120</i>	<i>2020-2120</i>	
Halhjem – Sandvikvåg	3.400	17.100	20.700	Overgang til 6 ferjer i 2040
Halhjem – Våge	610		610	
Jektevik – Hodnaneset	290		290	
Sum			21.600	

Tabell 8: Medgått energi (GWh) for å drive ferjene i hele beregningsperioden

7.3 Anslag for utslipp fra medgått energiforbruk for mertrafikk ved bygging av fast samband

De samme betraktningene om framtidige utslipp som er gjort for ferjetrafikken, gjelder også for biltrafikken. Også her er det stor endring i energikilde som blir benyttet til framdrift både for lette og tunge kjøretøy, og det er usikkert hvordan dette vil utvikle seg i et hundreårs-perspektiv. Energibehovet for drift av kjøretøyparken er primært avhengig av fysiske forhold som vekt, hastighet, rulle- og luftmotstand etc., og er vesentlig mer forutsigbart. Vi har derfor også for biltrafikken gjort beregning av total økning i energiforbruk ved bygging av Hordfast over hele beregningsperioden.



Figur 11: Økning i energiforbruk pr. tiårsperiode for trafikken i modellområdet ved etablering av Hordfast

Som grunnlag for beregningene ligger trafikkdata som vist i kapittel 3. samt NTP-prognosedata for sammensetning av kjøretøyparken. Figuren viser stilisert at energiforbruket pr. tiårsperiode øker fram til 2050 for så å ta av mot 2060 og deretter stabilisere seg. Dette kommer av at vi regner bompengene for opphevet i 2040 og den påfølgende trafikøkningen er større enn utfasingen av bensin/diesel-biler (som utnytter energien vesentlig dårligere enn elektriske kjøretøy) i perioden. Når disse deretter etter hvert fases helt ut, stabiliserer energiforbruket seg. For tungbil skjer innfasningen av lavutslippskjøretøy mer gradvis.

I tabellform ser energiøkingsdataene slik ut:

Merenergibruk ved Hordfast	2020-2030	2030-2040	2040-2050	2050-2060	2060-2070	2070-2080	2080-2090	2090-2100	2100-2110	2110-2120
Personbilar sum (GWh)	-2,3	168,0	209,8	167,6	163,3	163,3	164,8	164,8	166,3	166,3
Bensin/diesel	-2,1	112,0	71,9	18,3	9,3	9,3	9,4	9,4	9,5	9,5
Elektrisk	-0,2	56,0	137,9	149,4	154,0	154,0	155,4	155,4	156,8	156,8
Tungbil sum (GWh)	-0,4	134,3	170,5	214,5	226,0	226,0	228,1	233,9	236,0	236,0
Diesel	-0,3	55,7	33,4	8,7	4,4	4,4	4,5	0,9	0,9	0,9
Hydrogen/elektrisk	-0,1	78,7	137,1	205,7	221,6	221,6	223,6	233,0	235,1	235,1

Tabell 9: Økning i energibruk, summert opp pr. tiår, for lette og tunge kjøretøy ved etablering av Hordfast.

Totalt gir dette en økt energibruk for trafikken ved etablering av Hordfast i beregningsperioden på 3.400 GWh. Selv om dette er mye energi, må vi sammenligne med ferjetrafikken som i samme perioden vil bruke 21.600 GWh for å opprettholde transporten over fjorden.

7.4. Omregning av energiforbruk for ferjer og mertrafikk til utslipp av CO₂-ekvivalenter

Norge (og resten av verden) vil i tiden framover ha en sterk økning i etterspørsel etter energi med lavt utslippsnivå. Norsk elmiks ligger i dag på litt over 20 g/kWh. Grunnen til at den er så lav, er at vi har et svært høyt innslag av vannkraft som allerede er utbygget, det vil si at utslippene i forbindelse med bygging av disse ikke er medregnet. Dersom vi bygger ut nye vannkraftanlegg for å møte

etterspørselen, vil det øke elmiks-faktoren noe, men det vil fortsatt være svært miljøvennlig. Vindkraftanlegg har allerede i produksjonen et utslipp på 18 – 20 g/CO₂-ekv. pr. kWh (dersom det må bygges mye vei og innslaget av myr i byggeområdet er høyt, er det vesentlig høyere beregninger⁷). I tillegg kommer distribusjon av kraften og fornying/destruksjon av anleggene som skal skje med en syklus på 20–25 år. Atomkraftverk har svært lave utslipp (derfor har Frankrike en svært gunstig elmiks-faktor), men er uønsket av andre grunner. Ved omdanning av elektrisk kraft til hydrogen og brukt til framdrift av kjøretøy vil en tape bortimot halvparten av energien, men en får til gjengjeld en vesentlig mer fleksibel bruk av energien.

Det vil fortsatt ta en del år før elektrisitet fra fornybare kilder utgjør hoveddelen av elproduksjonen i Europa, og uansett vil de ulike kildene for denne elektrisiteten ha ulike utslippsfaktor, og denne vil være høyere enn for dagens ferdigutbygde norske vannkraft. Samtidig vet vi at det går mot et felles marked for elektrisitet, foreløpig innen Europa. Dette vil gi synkende elmiks-verdi for Europa og stigende for Norge. Også investering i nye lavutslippskraftverk i Norge, vil gi en viss økning i norsk elmiks. Videre vil evt. bruk av hydrogen, ammoniakk og biodrivstoff til transportformål (særlig for tunge kjøretøy og lange ferjestrekninger) gi høyere omregningsfaktor for energibruken i forhold til CO₂-utslipp.

Det er altså en vanskelig og usikker øvelse å beregne hvor stort utslipp et gitt energiforbruk vil forårsake når en skal regne over en så lang periode som 100 år, men med bakgrunn i dagens elmiks-verdier og de betraktninger som er gjort her, vil vi sette 50 g CO₂/kWh som en nedre verdi for omregningsfaktor gjennomsnittlig for hele 100-års-perioden. Som en øvre grense setter vi 100 g CO₂/kWh.

Dette vil gi følgende utslipp for den økte trafikken og drift av ferjene, sett over hele beregningsperioden:

	Energibruk 2020 - 2120 (GWh)	Utslipp CO ₂ -ekv 2020 - 2120 (tonn CO ₂ -ekv)	
		Høy	Lav
Ferjer (fra kap. 4)	21.600	2.160.000	1.080.000
Økt trafikk (fra kap. 5)	3.400	340.000	170.000

Tabell 10: Anslag på utslipp av CO₂-ekv. ved transport med ulike gjennomsnittlige elmiks-faktorer i hundreårs-perioden

8 ANDRE EFFEKTER

8.1 Flytrafikk

På grunn av koronapandemien var flytrafikken i 2020 kraftig redusert. Statistikk fra år 2019 er derfor utgangspunktet i denne studien. Innenriks sivil luftfart sto for 2,3 prosent⁸ av Norges nasjonale utslipp i 2019. Mellom Stavanger og Bergen finner vi Sola, Haugesund, Stord og Bergen lufthavn. Fjord og fjell gjør at det tar lang tid med transport på vei, og det brukes fly på relativt korte distanser. Forbindelser langs E39 vil påvirke behovet og konkurransedyktigheten til flytransporten. I denne studien ser vi kun på flytrafikken mellom byene Stavanger og Bergen.

⁷ Miljømagasinet nr. 1, 2019. Beregning av utslipp fra vindkraftparker i myr.

⁸ <https://avinor.no/konsern/klima/klimagassutslipp/>

I 2019 var det omkring 8000 flyavganger mellom Stavanger og Bergen, med rundt 580 000 passasjerer.⁹ Flytiden mellom de to vestlandsbyene er 35 minutter. Inkludert ventetid på flyplass og reisetid til og fra sentrumskjernene vil reisetiden være på ca. 2,5 time. Reisen med bil tar i dag i underkant av 5 timer, men vil kortes ned til i overkant av to timer når Rogfast og Hordfast er ferdige. For å beregne antall CO₂-ekvivalenter flytrafikken mellom Stavanger – Bergen gir, har en brukt IOFC sin utslippskalkulator.¹⁰ I tabell 6 finner en antallet tonn CO₂-ekvivalenter utslipp fra flyruten mellom Bergen og Stavanger i 2019.

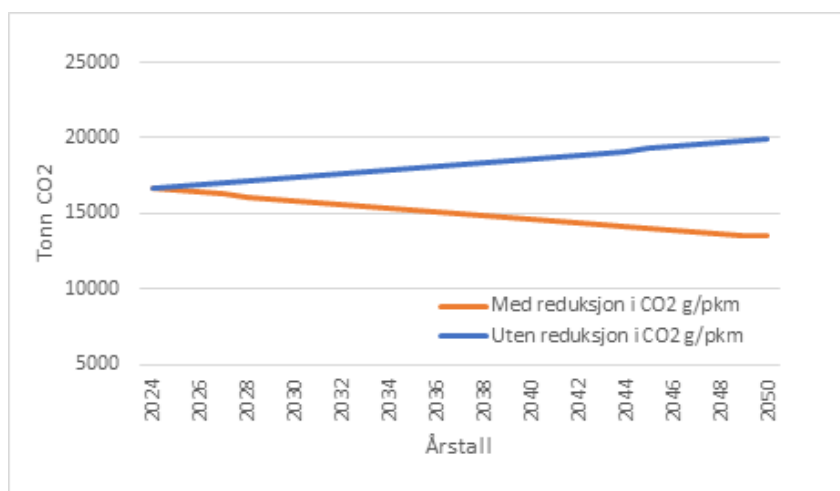
Distanse	km	Antall passasjerer 2019	Antall flyvninger 2019	Kg CO ₂ per passasjer	Tonn CO ₂ 2019
Stavanger – Bergen	159	292 754	4112	30,5	8929
Bergen – Stavanger	159	285 418	3975	30,5	8705
Totalt		578 172	8 087		17634

Tabell 11: Tonn CO₂-ekvivalenter fra flytrafikken mellom Bergen og Stavanger 2019

På lik linje med andre transportnæringer har luftfarten satt seg klimamål. Norsk luftfart har målsetting om fossilfri luftfart i 2050.¹¹ Det innebærer at det på flygninger i og fra Norge fra 2050 ikke skal brukes fossilt drivstoff.

Hvor mange som velger fly, bil eller buss mellom Stavanger og Bergen etter Hordfast er vanskelig å forutsi. Om en antar at flytrafikken fortsetter mellom de to vestlandsbyene, er det aktuelt å vurdere utslipp fram i tid. Ifølge Avinor års- og bærekraftrapport 2020¹² antas flytrafikken å komme tilbake til 2019-nivå i år 2024.

Deretter er det forventet 0,7 prosent vekst i innenrikstrafikk mot 2050. Samtidig er det forventet en reduksjon i utslipp per passasjerkilometer, anslått til 1,5 prosent per år fram mot 2050. Denne reduksjonen er som følge av flåteutskiftning og effektivisering i luftrommet. Resultat av disse forutsetningene kan en lese i figur 12.



Figur 12: Tonn CO₂-ekvivalenter fra flytrafikken mellom Stavanger og Bergen fram til 2050

⁹ <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/luftfart/statistikk/lufttransport>

¹⁰ sth

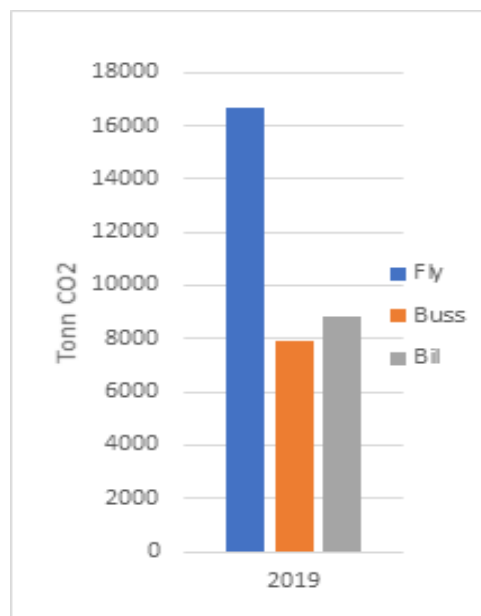
¹¹ <https://avinor.no/artikler/fossilfri-luftfart-innen-2050/>

¹² https://avinor.no/globalassets/_konsern/om-oss/rapporter/avinor-ars--og-barekraftrapport-2020.pdf

For at Avinor skal oppnå sine mål for 2050 må det flere tiltak til for å oppnå nødvendig reduksjonen i CO₂-utslipp. Norsk luftfart vil satse mot bærekraftig drivstoff, hydrogen og elektrifiserte flyruter. Stavanger – Bergen blir sett på som veldig attraktivt for El-fly¹³ som kan være med å påvirke markedet. Hvor langt ned en kan komme i CO₂-utslipp på strekningen med en slik utvikling, er foreløpig ikke oppgitt.

For å illustrere forskjellen i CO₂-utslipp mellom fly, buss og bil ved dagens driftsform, har en tatt antallet flypassasjerer mellom Stavanger og Bergen i 2019, sammen med CO₂-utslipp per personkilometer fra SSB¹⁴ for fly, buss og bil i 2019. Antall kilometer i 2019 er på dagens vei, og antall km vil dermed reduseres med ferdig Rogfast og Hordfast. I fig. 13 ser en forskjell i utslipp.

Med en framtidig reisetid med ekspressbuss på to timer mellom Bergen og Stavanger, kan det tenkes at det ikke er kommersielt grunnlag for flytrafikk. Det er i dag ingen flyruter mellom Oslo og steder som ligger under 200 km i avstand fra sentrum. Med høykvalitetstilbud med ekspressbuss med tilgang til nettverk og arbeidsplass er det ikke urimelig at det samme vil skje i Bergen – Stavanger. I denne beregningen har vi antatt at flytilbudet vil bestå, men at halvparten av alle reisene vil gå over til bil/ekspressbuss. Dette vil redusere utslippene med 8500 tonn CO₂-ekv pr. år. Det er rimelig å anta en fallende kurve over tid siden energiforbruket også for fly vil bli synkende. Dersom en antar prognostisert utvikling i energiforbruk (fig. 12) fram til 2050 og med en viss utflating til ca. 8.000 fram mot 2120, kan en antydningvis gjette på at overgang fra fly til buss/bil på strekningen Stavanger – Bergen totalt vil gi en nedgang i utslipp på 300.000 tonn CO₂-ekv. i beregningsperioden. Dette er selvsagt meget usikre beregninger, men samtidig virker de konservative, særlig i betraktning av at trafikken på veg allerede er innkalkulert i transportmodellberegningene og at det absolutt er mulig at det ikke vil være flyrute mellom byene i det hele tatt.



Figur 13: Utslipp av tonn CO₂-ekvivalenter fra flypassasjerer mellom Stavanger og Bergen dersom de blir fraktet med fly, buss eller bil

9 FØLSOMHETSBE TRAKT NINGER

9.1 Faktorer som ikke er tatt med i beregningene

De beregningene som er gjort, er nødvendigvis grove. En del faktorer som har betydning for beregningene, er ikke regnet på. Delvis skyldes dette av at de i den totale sammenhengen har relativt liten betydning. Andre faktorer, som f.eks. flytting av ferjeleier, har det ikke vært mulig å regne på siden vi rett og slett ikke vet om dette blir aktuelt og ev. hvor de skal flyttes.

Nedenfor er ført opp en del slike faktorer. Avkryssing for «L» betyr at det ville kunne gitt lavere utslipp for dette alternativet, mens «H» betyr at det kunne gitt økt utslipp.

¹³ [ICAO Carbon Emissions Calculator](#)

¹⁴ <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/artikler-og-publikasjoner/mindre-utslipp-fra-veitrafikk-fly-og-tog>

	Tema	0-alternativ		Hordfast	
		L	H	L	H
1.	Det er bare tatt med de viktigste utslippsdriverne i alle beregningene. Særlig ved bygging av veg kan det føre til at utslippene er beregnet for lavt.		x		x
2.	Dersom dagens ferjer til Austevoll (tre ferjer på to samband) blir erstattet med én kortere ferje Gjøvåg – Sandvik, vil det redusere energiforbruket til drift av ferjene til Austevoll med ca. 1 TWh i beregningsperioden (ca. 5 %). Dette er ikke tatt med i beregningene. (Tas dette inn i beregningene vil differansen mellom ferje og bru, øke, – derfor «x» på L for bru).			x	
3.	Antallet ferjer som må bygges, kan diskuteres. På den ene siden kan en argumentere med at 25 års levetid er for lavt: Ferjene vil fortsatt ha bruksverdi etter 25 år. Selv om dette er i en annen funksjon/annet land, er det en faktor i CO ₂ -regnskapet. På den andre siden er det heller ikke regnet med ombygging i takt med teknologisk utvikling, noe som er blitt stadig viktigere (rederiene har i dag overskudd på «gamle» ferjer som ikke kan benyttes i nye anbud). Uslipp på grunn av vedlikehold i driftsperioden er heller ikke beregnet.	x	x		
4.	Vi har lite erfaring med hvor lang levetid batteriene til elektriske ferjer har. Dersom vi antar 10 år vil de måtte byttes 2 ½ gang i levetiden til ferja. (12,5 år tilsvarer 2 ganger). Utslipp i forbindelse med produksjon og destruksjon av batteriene til ferjer og på ferjekai er ikke tatt med i disse beregningene. Destruksjon av metall (både bru og ferjer) er inkludert i beregningene.		x		
5.	Det er regnet uendret energieffektivitet på ferjene gjennom hele perioden. Ved økt utnyttelse av energien til framdrift, vil en kunne få lavere utslipp.	x			
6.	Vedlikehold, ev. nybygging av ferjeleier må gjøres med (u)jevne mellomrom. Utslipp i forbindelse med dette er ikke beregnet. (Ferjeleiet på Halhjem er lite egnet på lang sikt på grunn av lang og trang innseiling og en god del bebyggelse. Det er i dag ingen planer om å flytte det, men dersom det skal gjøres, er det omfattende både i forhold til kostnader og utslipp).		x		
7.	Betong tar opp litt CO ₂ over levetiden til konstruksjonen. Hverken dette eller resirkulering av betongtårnene etter endt levetid er tatt med i beregningene. Disse faktorene vil gi henholdsvis for høyt og for lavt beregnet utslipp.			x	x
8.	Det går i dag to til tre flygninger pr. dag mellom Haugesund og Bergen. I 2019 ble det fraktet i overkant av 10.000 passasjerer (rutetilbudet har variert over tid). Det vil ikke være kommersielt grunnlag for denne trafikken etter at Hordfast er åpnet ¹⁵ , men beregninger for bortfall av utslipp fra denne trafikken er ikke gjort.			x	
9.	Etter at anleggsfasen er over, vil deler av arealet som er brukt bli tilbakeført til dyrket mark, beite eller skog. Det vil da starte nytt opptak av CO ₂ . Dette er ikke regnet inn i disse beregningene.			x	

¹⁵ Ferjefri E39 og mulige virkninger for lufthavnstruktur og hurtigbåtruter, Møreforsk 2014.

9.2 Faktorer som kan være under-/overestimert i beregningene

Det er gjort rede for hvilke verdier som er brukt for en del av faktorene som har betydning for beregningene. For noen av disse kan det argumenteres for at det er en systematisk feil i retning av høyere eller lavere utslipp. I tabellen nedenfor er ført opp noen slike problemstillinger og i hvilken retning det vil forskyve resultatet for beregningene for de to alternativene. Avkryssing for «L» betyr at det ville kunne gitt lavere utslipp for dette alternativet, mens «H» betyr at det kunne gitt økt utslipp.

	Tema	0-alternativ		Hordfast	
		L	H	L	H
1.	Alle beregninger av utslipp ved bygging er basert på erfaringstall fra anlegg og prosesser slik vi utfører det i dag. Det er sannsynlig at en del av disse prosessene vil foregå med mindre bruk av fossilt drivstoff i framtiden og at særlig utslipp ved bygging av veg (sprenging, masseflytting etc.) vil synke i årene som kommer. Det betyr at de beregnede verdiene trolig er litt høye.	x		x	
2.	Mengdetall for bygging av veg bygger på kommunedelplan og er følgelig usikre. Dette gjelder også arealanslag. Tallene kan like gjerne være for høye som for lave, så det kan slå begge veier. Det vil bli utarbeidet mer nøyaktig VegLCA-beregning i forbindelse med reguleringsplanen der en vil ha sikrere mengdeanslag og da vil en få mer nøyaktige verdier for utslipp ved bygging.			x	x
3.	Forbruket for diesel- og bensinkjøretøy er satt relativt høyt i denne rapporten, noe som gir litt for høye utslipp fra trafikken. Siden utviklingsbanen viser at andelen slike kjøretøy minker relativt raskt i beregningsperioden, gir det uansett relativt lite utslag.			x	
4.	Bruene skal prosjekteres for 100-års dimensjonerende brukstid etter N400 og dette er i denne rapporten brukt som sammenligningsperiode for utslipp. Det er sannsynlig at flytebrua og hengebrua over Langenuen vil ha lenger levetid enn dette, og det vil øke forskjellen i utslipp mellom 0-alternativet og brualternativet.			x	
5.	Det er beregnet elektrisk framdrift av ferjene i hele 100-års-perioden. Dette gir åpenbart for lave utslippstall for ferjene i første del av perioden: Fram til 2030 vil ferjene i sambandet Halhjem – Sandvikvåg fortsatt gå på LNG. Deretter er det mulig at de vil ha en driftsperiode (eller flere) på hydrogen på grunn av den lange avstanden og høye hastigheten.		x		
6.	En del faktorer som gir relativt små utslipp i forhold til totalvolumet, er ikke beregnet. Dette er ting som vedlikehold av ferjer, spesifikasjon av volum på en del bygningsmateriale som medgår til bygging av veg og bruer etc. Generelt mener vi dette har lite å bety for totalresultatet, samtidig som det ikke vil gi noe merverdi å gjennomføre slike beregninger før en har et mer detaljert grunnlagsmateriale (reguleringsplan).		x		x

10 OPPSUMMERTE RESULTAT

Denne studien gir et anslag på utslipp ved:

- 0-alternativ og fortsatt ferjedrift og drift av dagens vegnett i 100 år
- Bygging av Hordfast og endret trafikkmønster over 100 år

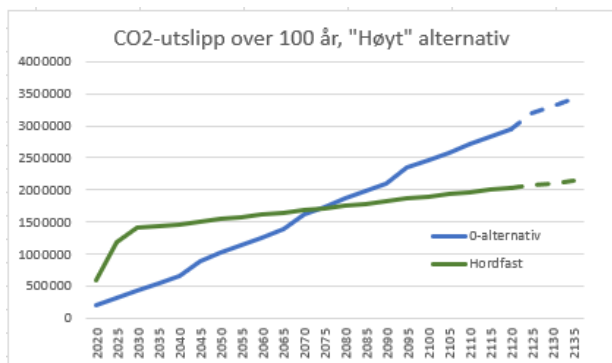
Beregningene kan ikke gjøres på et eksakt nivå, og er derfor satt opp med et høyeste/laveste anslag for en rekke parametere. Dette gir et spenn i resultatet som vi vil anta vil ligge en plass mellom ytterpunktene både for 0-alternativet og for bygging av Stord – Os.

De enkelte modulene er satt opp i en oversiktstabell nedenfor:

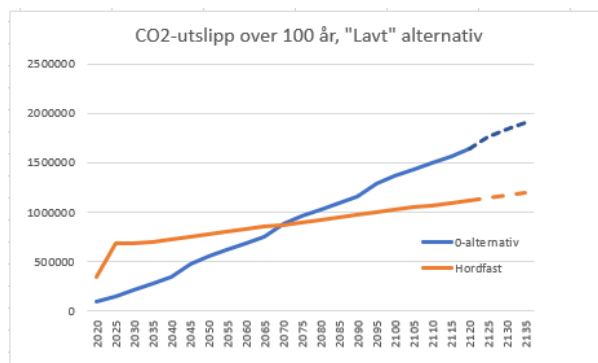
		0-alternativ		Hordfast	
		Høy (tonn CO ₂ -ekv.)	Lav (tonn CO ₂ -ekv.)	Høy (tonn CO ₂ -ekv.)	Lav (tonn CO ₂ -ekv.)
0-alternativ med fortsatt ferjedrift	Bygging av ferjer	459.000	232.000		
	Drift av ferjer	2.160.000	1.080.000		
	Drift av dagens vegnett	26.000	26.000		
	Reduksjon av flyreiser	300.000	300.000		
Bygging av Hordfast	Bygging flytebru			585.000	220.000
	Bru over Langenuen			107.000	57.000
	Bygging av veg og tunnel			192.000	147.000
	Drift og vedlikehold			281.000	263.000
	Endret arealbruk			530.000	265.000
	Økt trafikk			340.000	170.000
Sum		2.945.000	1.638.000	2.035.000	1.122.000

Tabell 12: Oversikt over oppsummerte utslippsverdier for alternativene, med høyt/lavt-spenn

Selv om anslagene for utslipp er usikre, ser vi en klar tendens mot at bygging av ferjefritt samband Stord – Os vil gi redusert utslipp av CO₂-ekvivalenter i et hundreårs-perspektiv. Utslippene ved bygging er konsentrert i byggeperioden, og det går en del tid før bygging av Hordfast «tar igjen» 0-alternativet, men deretter er utslippstakten vesentlig lavere ved fast samband. (Fig. 12 og 13). (Stiplet linje viser utvikling dersom levetid for brua er ut over 100 år)



Figur 15: Akkumulert CO₂-utslipp ved "høyt" alternativ



Figur 14 Akkumulert CO₂-utslipp ved "lavt" alternativ

Like viktig er det at beregningene viser at det er store innsparinger å hente både ved bygging av ferjer og ved bygging av brukonstruksjoner i *hvor* og *hvordan* de blir bygget. Det krever aktiv tilrettelegging i anbudsprosessen å hente inn disse gevinstene, og det kan føre til en høyere kostnad enn i dagens marked.

11 VEDLEGG, KILDER OG REFERANSER

11.1 Vedlegg

1. Utdyping av forutsetninger og beregninger: *Vedlegg 1: Forutsetninger og delberegninger i rapporten.docx*
2. Transportmodellkjøring med trafikkdata: *20210929 Trafikkdata modellkjøring.xlsx*
3. Beregning utslipp bygging ferjer: *Ferjedata utslipp og energibruk.xlsx*
4. Nettverksutlegging av transportmodellkjøring:
 - *NTP_Hordfast_m_bom_2030.pdf*
 - *NTP_Hordfast_u_bom_2050.pdf*
 - *NTP_ref_2030.pdf*
 - *NTP_ref_2050.pdf*
5. VegLCA-beregninger:
 - *veglca-mellomfase flytebru – Ikke resirk.xlsx*
 - *veglca-mellomfase flytebru – resirk.xlsx*
 - *veglca-mellomfase Langenuen – ikke resirk.xlsx*
 - *veglca-mellomfase Langenuen – resirk.xlsx*
 - *veglca-mellomfase total.xlsx*
6. Beregning utslipp fra produksjon av bru og ferje: *Co2 bru og ferge Bjørnafjorden korrigerte mengder.xlsx*
7. Mengder Stord – Os-prosjektet: *Mengder Stord–Os.docx*

11.2 Referanser

- 1 DNV–GL, Rapport no 2015–05000, Elektrifisering av bilferger i Norge – kartlegging av investeringsbehov i strømnettet
- 2 DNV–GL, Memo 18JL697–31 / AMJ av 6/3–2015: Evaluering av krav som kan stilles til E39 samband.
- 3 TØI, Rapport 1732/2019 – Høyfrekvent ferjetilbud
- 4 Tabell for omregning til CO2–ekv.: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klimatekno/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimatekno/klimatekno-og-energiplanlegging/tabell-for-omregning-av-co2-ekvivalenter/>
- 5 Adapt Consulting as: Fastsettelse av vektingsfaktorer for elektrisitet
- 6 TØI–rapport 1689/2019: Framskrivning av kjøretøyparken
- 7 Møreforsk: Ferjefri E39 og mulige virkninger for lufthavnstruktur og hurtigbåtruter (2013)
- 8 Beregning av utslipp fra vindkraftverk:
https://www.regjeringen.no/contentassets/b78b4164ead148e0a97df58fe741a2c5/norges-miljovernforbund.pdf?uid=Norges_Miljovernforbund
- 9 Statleg kommunedelplan E39 Stord – Os (inklusive alle delutredninger) (2016).
- 10 Asplan viak/Statens vegvesen: VegLCA ver. 5.01, 2021. (brukervegledning og xlsx-fil).
- 11 ICAO (International Civil Aviation Organization (FN sin luftfartsorganisasjon)) [ICAO Carbon Emissions Calculator](#)
- 12 Statistisk sentralbyrå (SSB.no): Diverse statistikker.

11.3 Kilder

1. PVC: Energibruk i transportsektoren i Norge – Perspektiv mot 2030 (2019)
2. Vestlandsforskning: En analyse av drivstofforbruk i tyngre lastebiler (2012)
3. Vestlandsforskning: Transport, energi og miljø (2010)
4. Asplan viak: LCA transport – En litteraturstudie (utarbeidet for Statens vegvesen) (2018)
5. Tek.no 22.9.2020: Energiforbruk el-bil. Ref: Edgeir Aksnes, Tibber
6. Myr i norske vindkraftverk – oversikt: https://www.nrk.no/klima/xl/vindkraft---ikke-sa-bra-for-klima-som-vi-tror_-1.15157461
7. Aftenposten Innsikt: Vindkraft kan gi klimatap: <https://www.aftenposteninnsikt.no/klimamilj/vindkraft-kan-gi-klimatap>
8. Inntjeningsstid (CO₂-utslipp) vindkraftverk: Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines: <https://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=62496>
9. Næringslivets perspektivmelding 2018 (m.a om energi og klima): <https://www.nho.no/publikasjoner/naringslivets-perspektivmelding/naringslivets-perspektivmelding/>
10. Asplan viak: Metode for beregning av CO₂-utslipp knyttet til arealbeslag ved vegbygging. (Utarbeidet for Statens vegvesen). (2015).
11. Arealbruk Tysnes <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-arealbruk-kommuner/?area=669§or=-3>
12. EPD-norge.no
13. NVE: Beregning av årlig elmiks: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromforbruk-i-norge-har-lavt-klimagassutslipp/>
14. Vista Analyse: Beregning av tap av CO₂ som følge av vegbygging i skogareal (2014)
15. Vestlandsforskning: Bensin – Diesel. (Produksjonsverdier fra ulike kilder, Tyskland).



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag