

# Hareid Fastlandsamband



## Evaluering av undersjøiske tunneler Sulafjorden og Borgundfjorden

# RAPPORT

Hareid Fastlandssamband

Rapport nr.: 578561-01	Oppdrag nr.: 578561	Dato: 10.11.2010
---------------------------	------------------------	---------------------

Kunde:  
Hareid Fastlandsamband

## Evaluering undersjøiske vegtunneler Sulafjorden og Borgundfjorden

### Sammendrag:

SWECO Norge AS har utført en evaluering av de undersjøiske vegtunnelene Sulafjord og Borgundfjord. Evalueringen har omfattet trafikkfall, tunneltrasé, tunnelklasse, tunnellengde og kostnader.

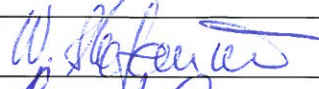

Sulafjordtunnelen vil få største dybde på min. 625 muh., og minimum lengde vil bli ca. 20 km. Trafikkmengden 20 år etter åpning er estimert til ÅDT=9200. Det må bygges to parallelle løp med to kjørefelt i hvert løp.

Borgundfjordtunnelen vil få maksimal dybde ca. 150 muh., og minimum lengde vil bli ca. 4,8 km. Trafikkmengden 20 år etter åpning er estimert til ÅDT=8700. Det må bygges to parallelle løp med to kjørefelt i hvert løp. Maksimal stigning for begge tunnelene vil være 7 % og tunnelprofilen vil være T9,5. Det skal være tverrforbindelser mellom tunnellopene for hver 250 meter.

Anleggskostnadene, inklusive planlegging, prosjektering og byggherrekostnader for de to tunnelene er beregnet til kr 3.093 millioner for Sulafjordtunnelen og kr 820 millioner for Borgundfjordtunnelen, i 2010 kr. Rentekostnader og prisstigning i planlegging og byggetid kommer i tillegg. Tilførselsveger er ikke inkludert i kostnadsoverslagene.

Finansieringsanalysen viser at prosjektene kan nedbetales med bompengefinansiering innenfor 15 år, med bompengesatser som tilsvarer dagens fergetakster + 20%.

Sulafjordtunnelen vil bli et grensesprengende prosjekt, og det må gjennomføres grundige risikoanalyser og beregning av drift- og vedlikeholdskostnader. Byggekostnadene kan øke som følge tiltak som finnes nødvendige ut fra analysene eller av andre myndighetskrav. Prosjektet anses gjennomførbart med dagens tunnelteknologi, med forbehold om risikoanalyse og myndighetskrav.

Rev.	Dato	Revisjonen gjelder	Sign.
Utarbeidet av:			Sign.:
Trine Bye Sagen/Werner Stefanussen			
Kontrollert av:			Sign.:
Bent Aagaard			
Oppdragsansvarlig / avd.:			Oppdragsleder / avd.:
Bent Aagaard/ 251			Werner Stefanussen/ Trondheim

## INNHold

<b>1</b>	<b>Innledning.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grunnlagsmateriale .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Topografi og løsmasser .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Geologi .....</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Tunneltraséer .....</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Trafikkgrunnlag.....</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>Tunnelklasse .....</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Tunneldriving og bergsikring.....</b>	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>Ventilasjon og elektriske installasjoner .....</b>	<b>13</b>
<b>10</b>	<b>Kostnadsberegning .....</b>	<b>13</b>
<b>11</b>	<b>Finansieringsanalyse .....</b>	<b>15</b>
<b>12</b>	<b>Grensesprengende prosjekt.....</b>	<b>18</b>
<b>13</b>	<b>Optimalisering.....</b>	<b>19</b>
<b>14</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>21</b>

## VEDLEGG

- Vedlegg 1 Tegning nr. 578561-0 Oversiktskart
- Vedlegg 2 Tegning nr. 578561-1 Geologisk kart
- Vedlegg 3 Akustikk
- Vedlegg 4 Tegning nr. 578561-2 Plantegning Sulafjordtunnelen
- Vedlegg 5 Tegning nr. 578561-3 Plantegning Borgundfjordtunnelen
- Vedlegg 6 Tegning nr. 578561-4 Lengdeprofil Sulafjordtunnelen
- Vedlegg 7 Tegning nr. 578561-5 Lengdeprofil Borgundfjordtunnelen

## 1 Innledning

Hareid Fastlandssamband AS er et kommunalt selskap som arbeider for å utrede tunnel under Sulafjorden (Hareid-Sulesund).

Bytunnelen AS er et kommunalt selskap som utreder bygging av undersjøisk tunnel under Borgundfjorden (Langevåg-Gåseid). Bytunnelen AS har engasjert Nordplan AS til å utføre reguleringsplanarbeidet for Borgundfjordtunnelen med tilhørende vegnett.

Statens Vegvesen utreder ny E39 fra Skei til Moa. I den forbindelsen inngår utredning av fastsamband (med tunnel) under Sulafjorden.

Selskapene har åpen informasjon om hverandres arbeider, og det arbeides med å se på vegsambandet som en helhet.

Statens Vegvesen skal gjennomføre en konseptvalgutredning (KVU) i løpet av 2010. I den forbindelse er det oppnevnt Prosjekteier, Styringsgruppe, Prosjektgruppe og Samarbeidsgruppe.

SWECO Norge AS har fått i oppgave av Hareid Fastlandssamband å utføre en evaluering av de undersjøiske tunnelene Sulafjorden og Borgundfjorden, se vedlegg 1. Utredningene er utført med grunnlag i de foreliggende dokumentene vi hadde tilgjengelig, se kap. 2. Utredningen er utført uten gjennomføring av befaring eller inngående kjennskap til geologiske forhold. Plankart med fjellkotekart fra de akustiske målingene er benyttet i tillegg til kartgrunnlag i målestokk 1:50.000.

## 2 Grunnlagsmateriale

Høsten 2009 ble det utført akustiske undersøkelser i fire områder i Vartdalsfjorden, Storfjorden og Sulafjorden samt Borgundfjorden.

Som grunnlagsmateriale har vi benyttet følgende tilgjengelige dokumenter:

- Vegutredning 1993. Rapport O.T. Blindheim AS og ViaNova AS
- Oppdatering trafikk tall januar 2003. Rapport FWPlan AS
- Kostnadsvurdering 6. januar 2004. Notat Statkraft Grøner AS
- Planprogram Sula kommune/Bytunnelen AS: Ny veg Måseide-Vede-Gåseid med undersjøisk tunnel, Rapport Nordplan AS 22.190.2009
- Trafikk tall fra Statens vegvesen 2010
- Topografiske kartgrunnlag i målestokk 1:50000
- Fjellkotekart utarbeidet på grunnlag av resultater fra akustiske målinger utført høsten 2009 i utvalgte områder av Sulafjorden og Borgundfjorden.

SWECO har ikke utført befaring til områdene.

Påhuggsplasseringer for tunnelen under Borgundfjorden er plassert i samsvar med planprogrammet utarbeidet av Nordplan AS.

### 3 Topografi og løsmasser

Vi har benyttet topografisk kart i M1:50000 i tillegg til kartgrunnlag og flyfoto som finnes tilgjengelig på internett (Gulesider, Finn, Norgesglasset). Topografien preges av fjorder med hovedretning NØ-SV (Storfjorden og Vartdalsfjorden) og NV-SØ (Sulafjorden) med øyene Hareid og Sula som de største. Øyene er relativt små, med høye og bratte fjell, med topper opp mot 800 moh., se vedlegg 2.

Løsmassene på øyene har generelt liten mektighet, og består sannsynligvis for det meste av grus, sand, leire og morene. Løsmassemektigheten i de større dalene kan sannsynligvis være store ned mot sjøen, f.eks. ved Hareid.

Vi har mottatt fjellkotecart for Sulafjorden og Borgundfjorden, samt et lengdeprofil i Sulafjorden som viser løsmassemektighet på sjøbunnen. I Borgundfjorden har vi kun fjellkotecartet og vi har dermed ikke informasjon om løsmassemektighet på fjordbunnen. Ut fra den informasjonen vi har tilgjengelig, er maksimal fjelldybde i de aktuelle krysningssområdene for tunnelene ca. 560 meter i Sulafjorden og ca. 100 meter i Borgundfjorden. I Sulafjorden er det registrert løsmasser på sjøbunnen med mektighet på ca. 130 meter i det dypeste partiet av fjorden, se vedlegg 3.

### 4 Geologi

Denne utredningen er utført uten gjennomføring av befaring eller inngående kjennskap til geologiske forhold. En generell vurdering av geologi er gjort med bakgrunn i rapport "Vegutredning 1993", utarbeidet av O.T. Blindheim AS og ViaNova AS (Ref. 1).

#### Geologi generelt

Berggrunnen i området er preget av grunnfjellsgneiser som består av ulike gneiser med strøkretning Ø-V og steiltstående fall. Det er også soner av glimmerskifer/glimmergneis på nordlige del av Sula, i Borgundfjorden og på land nord for Borgundfjorden (Gåseid).

Det er drevet mye tunneler i tilsvarende berggrunn i området, blant annet Ålesundstunnelene. Kvaliteten på bergmassen er varierende, og det finnes knusningssoner/svakhetssoner som har gitt stabilitetsproblemer i tunnelene. Det har også vært utfordringer med vannlekkasjer i deler av tunnelstrekningene.

Kvalitetsmessig kan gneisene forventes å være bedre enn glimmerskifer/glimmergneis, noe vi har lagt til grunn i våre vurderinger for bergsikring i tunnelene.

Hovedmønsteret av svakhetssoner består av steile forkastnings- og knusningssoner i retning ØV langs Borgundfjorden.

#### Geologiske forhold Sulafjordtunnelen

Under land på Hareid og Sula vil tunnelen gå gjennom vekslende, men stort sett moderat oppsprukne gneiser med enkelte mindre svakhetssoner. Tunnelen vil følge bergmassens foliasjon i store deler, noe som kan være ugunstig for bergstabiliteten. I dyprenna under Sulafjorden forventes det å være en markert stor svakhetssone. Denne vil bli krysset

tilnærmet normalt, noe som er fordelaktig. Under Hareid forventer vi ikke å påtreffes spesielt utfordrende svakhetssoner. Litt bergslagsproblemer kan forventes i området under Hareidlandet på grunn av høye fjellparter med mulige store bergspenninger.

### **Geologiske forhold Borgundfjordtunnelen**

Langs Borgundfjorden går det benker av kalk- og glimmerholdige gneiser. I Ø-V-retning går det også en eller flere hovedforkastninger med sannsynlig tett oppsprukket berg og muligens leire.

Under Sula vil tunnelen gå i glimmerskifer/glimmergneis. Tunnelretningen vil variere i forhold til bergartens foliasjon.

Under Borgundfjorden har vi forventet at det finnes flere markerte svakhetssoner (tolkning basert på fjellkotecartet). Disse kan være stabilitetsmessig vanskelige, men vil bli krysset med gunstig retning (normalt på).

På Gåseidsiden vil tunnelen krysse en sone med glimmerskifer, og for øvrig ligge i gneisbergarter.

### **Akustiske undersøkelser**

Sjøbunnene i Sulafjorden og Borgundfjorden er undersøkt med akustikk. På grunnlag av dette er det utarbeidet fjellkotecart som dekker hhv. et smalt område ved kryssing av Sulafjorden og et bredt felt i Borgundfjorden. Vi har kun fått tilsendt fjellkotecartene, samt et lengdeprofil som viser løsmassemektighet i Sulafjorden. Det vil si at vi mangler informasjon om løsmassemektighet i Borgundfjorden.

### **Bergkvalitet under sjøbunnen**

Det er ikke utført kjerneboringer eller refraksjonsseismiske undersøkelser i fjordene, og bergkvaliteten er derfor ikke kjent.

## 5 Tunneltraséer

Ved planlegging av tunneltraséene må det tas hensyn til etablering av nye tilførselsveger, trafikkavvikling, vertikal- og horisontalkurvatur, stigningsforhold i tunnelen, naturmiljøet etc.

For vurdering av tunneltraséene har vi tatt utgangspunkt i Planprogrammet av okt. 2009 fra Nordplan. Her er påhuggsplasseringene for Borgundfjordtunnelen vist, se vedlegg 5. Påhugget på Gåseid er lagt til krysset med E139.

### Tunnelpåhugg

Tabellen nedenfor viser en oversikt over påhuggsområdene for de to tunnelene.

Tabell 1 Oversikt påhuggsområder.

Tunnel	Påhuggsområder
Sulafjorden	Hareid
	Vedde
Borgundfjorden	Vedde
	Gåseid

Påhugget på Hareid er av Hareid Fastlandssamband tenkt plassert ved Bigset, på vestsiden av Grimstadvannet. Påhugget vil her bli liggende i dalsiden og antatt plassert på ca. kote +10. Alternativt kan det være aktuelt å legge påhugget på østsiden av Grimstadvannet. Vi har tegnet inn to alternativer for påhugg og tunneltraséer, som begge gir like lange tunneler, se vedlegg 5.

Både for Sulafjordtunnelen og Borgundfjordtunnelen er tunnelpåhuggene plassert ved Vedde, like inntil Rv 657 (foreslått av Nordplan AS). Vi har antatt at disse påhuggene ligger på ca. kote +10.

Tunnelpåhugget ved Gåseid har vi foreslått plassert i forbindelse med krysset til E139. Dette er også tenkt plassert med såle på kote +10.

Vi presiserer at vi ikke har utført noen befaringer til områdene, og vi har ingen beskrivelser av områdene som er angitt som påhuggsområder for tunnelene.

### Stigningsforhold

Stigningen for tunnelene er definert etter Håndbok 021 (mars 2010) Vegtunneler, se tabell 2. Ut fra tunnelklasse og lengdene på tunnelene, samt trafikkallet (ÅDT=4600 for hvert løp i Sulafjordtunnelen og ÅDT=4350 i hvert løp for Borgundfjordtunnelen), kan tunnelene ikke bygges med brattere stigning enn 7 %. Vi har lagt til grunn at det benyttes maksimal stigning og at det legges inn et ca. 100 meter langt horisontalt parti i lavbrekket på tunnelen. I begge innkjøringssonene til tunnelene har vi lagt inn ca. 200 meter horisontal lengde. Dette er også i henhold til håndbok 021.

Tabell 2 Maksimal stigning for veg i undersjøiske tunneler.

ÅDT (20)	Toveis trafikk		Ensrettet trafikk	
	0-1500	> 1500	<15000	>15000
Maks. stigning	8 %	7 %	7 %	6 %

### Fjellterskler og dypeste punkt i tunnelene

Vi har fått tilgang til fjellkotekartene som er laget på grunnlag av akustiske målinger som er utført. Kartene dekker et smalt område ved kryssing av Sulafjorden (mellom Kvitneset og Eitraneset), samt et bredt felt i Borgundfjorden. Dybden til høyeste punkt på fjellterskel i Sulafjorden er ca. 575 meter, og dybden til høyeste punkt på fjellterskel under Borgundfjorden er ca. 100 meter. Det er et krav at det må være minimum 50 meters fjelloverdekning over tunnelene i lavbrekkene.

Dypeste punkt for tunnelene vil derfor bli:

- Sulafjorden: ca. kote -625
- Borgundfjorden: ca. kote -150

### Tunnellengder

Basert på maksimal dybde, krav til fjelloverdekning, stigning 7 %, et horisontalt område på 100 meters lengde i forbindelse med lavbrekket, ca. 200 meters horisontal lengde ved hver portal, samt gitte påhuggsområder på ca. kote 10, vil minimumslengden for de to tunnelene bli:

- Sulafjorden: 18645 meter
- Borgundfjorden: 5045 meter

På vedlagte tegning nr. 4 og 5 har vi angitt forslag til tunneltraséer med de påhuggene som er angitt av Nordplan i Gåseid og Vedde, og forslaget til påhugg ved Bigset på vestsiden av Grimstadvannet. Med disse forutsetningene vil tunnellengden for Sulafjordtunnelen bli 20000 m (se for øvrig kap. 11 Optimalisering).

## 6 Trafikkgrunnlag

I vår foreliggende rapport har vi utført en evaluering av trafikkgrunnlaget. Evalueringen er gjort uten å gjennomføre en trafikkanalyse. Vi har tatt utgangspunkt i tidligere utredninger, spesielt utredningen fra 1993 og 2004, samt nyere data fra trafikktellinger i 2005 og 2009.

Grunnlaget for beregning av trafikkmengde i de to tunnelene er hentet fra følgende kilder:

- Utredning 1993
- Oppdatering trafikktall, januar 2004
- Trafikkutvikling fergesamband 2000-2009 fra SVV Region midt



### Årlig trafikkvekst og beregnet døgntrafikk

I beregningene har vi benyttet en årlig trafikkvekst på 1,5 % fra 2010 og frem til 20 år etter åpning (2040). Dette er høyere enn det som ligger til grunn i NVP 2003 til 2012 (1,3 %). Årsaken til at vi har lagt inn en høyere vekst, er erfaringene fra de siste 9 års trafikkøkning i området, som har vært vesentlig større enn forventet i NVP. Denne trenden ser ut til å fortsette.

Vi har ikke lagt inn en naturlig engangseffekt ved fastlandssamband, som flere steder har vist seg å bli 20 til 30 % åpningseffekt. Dette er imidlertid lagt inn i trafikk tallene for beregning av finansieringsanalysen, se kap 11.

**Tabell 3 Sulafjordtunnelen, ÅDT i årene 2009, 2020 og 2040.**

Trafikkilde	2009	2020	2040
Ferje Hareid-Sulesund	2943	3464	4666
Ferje Festøy-Solevågen	1705	2295	3021
Generert fra hurtigbåt Hareid-Ålesund	1230	1385	1866
	<b>5878</b>	<b>7144</b>	<b>9623</b>

**Tabell 4 Borgundfjordtunnelen, ÅDT i årene 2009, 2020 og 2040.**

Trafikkilde	2009	2020	2040
Ferje Hareid-Sulesund	1472	1732	2333
Ferje Festøy-Solevågen	1097	1291	1739
Generert fra hurtigbåt Hareid-Ålesund og Langevåg-Ålesund	680	766	1031
Trafikk Langevåg-Ålesund	2420	2725	3670
	<b>5669</b>	<b>6513</b>	<b>8773</b>

I trafikkvurderingen har vi forutsatt følgende:

#### Sulafjordtunnelen

- All trafikk fra ferja Hareid-Sulesund vil gå gjennom Sulafjordtunnelen.
- 70 % av trafikken på ferja Festøy- Solevågen vil gå gjennom Sulafjordtunnelen.
- Hurtigbåten Hareid-Ålesund legges ned og persontrafikken på hurtigbåten vil generere biltrafikk gjennom tunnelen. Grunnlagstallene for denne beregningen er svært gamle (2002) og bør revideres med grunnlag i nye tall.

#### Borgundfjordtunnelen

- 50 % av trafikken gjennom Sulafjordtunnelen vil passere gjennom Borgundfjordtunnelen.
- 45 % av trafikken på ferja Festøy-Solevågen vil passere gjennom Borgundfjordtunnelen. Hurtigbåtene Hareid-Ålesund og Langevåg-Ålesund legges ned. Persontrafikken vil generere trafikk gjennom tunnelene. Grunnlagstallene for denne beregningen er svært gamle (2002) og bør revideres med grunnlag i nye tall.
- Trafikken fra Langevåg til Ålesund forventes å kjøre gjennom Borgundfjordtunnelen.

## 7 Tunnelklasse

Valg av tunnelklasse med tilhørende tunnelprofil, er gjort med utgangspunkt i trafikkmengde og tunnallengde, se figur 1 (tunnelene er plottet med røde punkter).

### Sulafjordtunnelen

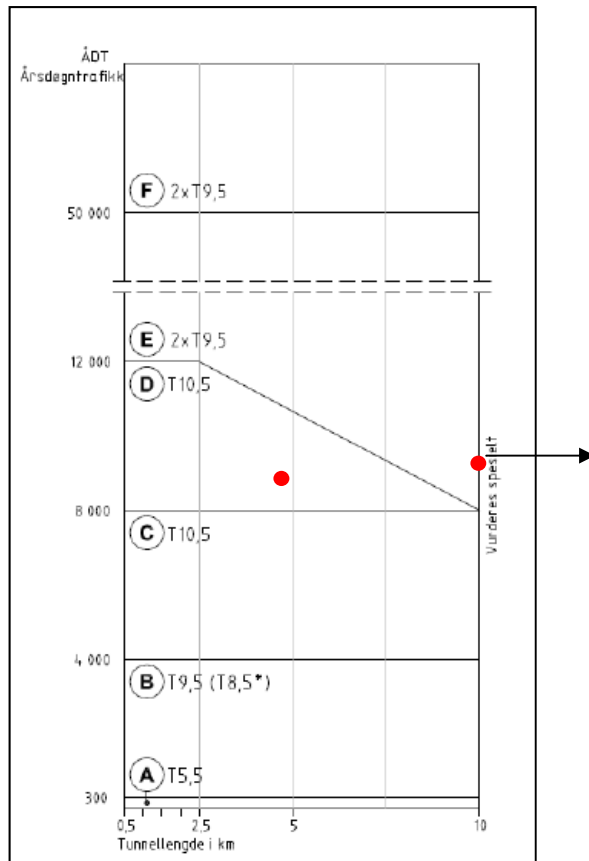
Ut fra tunnallengde 20 km og trafikkmengde ÅDT(20) 9623 (ref tabell 4), skal tunnelen prosjekteres etter tunnelklasse E, dvs. 2 løp med tunnelprofil T9,5. Tunnelprofil T9,5 har et sprengt tverrsnitt på ca. 71 m<sup>2</sup>, se figur 2. På grunn av at tunnelen har en ekstrem lengde, forutsetter vi å beholde tunnelklasse E selv om det vil bli et trafikkgrunnlag på ÅDT = 4600 i hvert løp.

### Borgundfjordtunnelen

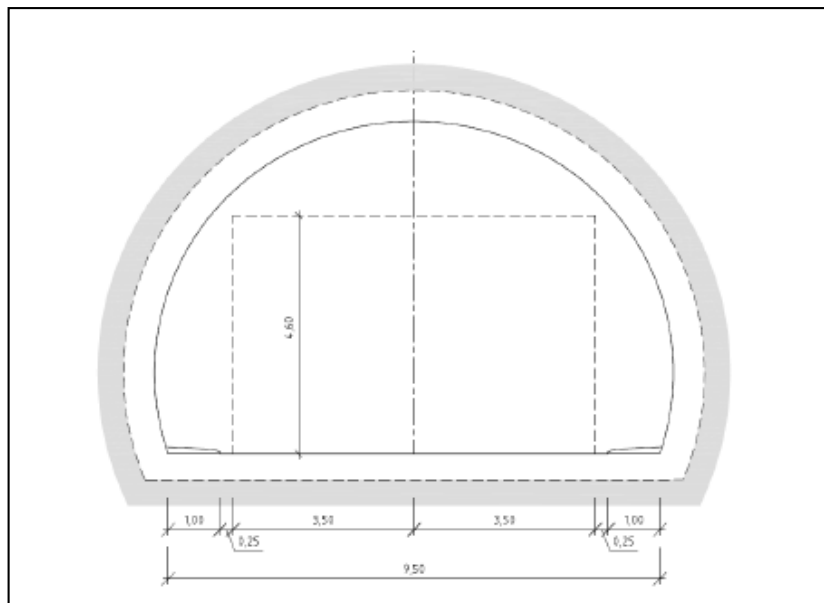
Ut fra tunnallengde 4,8 km og trafikkmengde ÅDT(20) 8773 (ref tabell 4), skal tunnelen prosjekteres etter tunnelklasse D, dvs. ett løp med tunnelprofil T10,5.

For tunneler i klasse D skal det iht. Håndbok 021 bygges rømningstunnel med tunnelprofil T5,5 med gangbare tverrforbindelser til hovedløpet. Ref. kap. 4.4 i Håndbok 021: "Høy tungtrafikkandel eller større døgnvariasjoner kan begrunne en annen standard for tunnel og veg sett under ett". Tungtrafikkandelen var i 2007 på 9 %. Dette kan tilsi behov for krabbefelt, dvs. tunnel med tre kjørefelt, tunnelprofil T14. Rømningstunnel må bygges i tillegg.

Vi ser det derfor som mest hensiktsmessig å etablere 2 løp med tunnelprofil T9,5 som for Sulafjordtunnelen. Trafikkmengden antas fordelt med halvparten i hver tunnel, dvs. ÅDT(20) 4350. Dette tilsier at tunnelene kan prosjekteres i henhold til klasse C.



Figur 1 Tunnelklasser. Fra Håndbok 021.



Figur 2 Tunnelprofil T9,5. Fra Håndbok 021.

Krav til installasjoner i tunnelene er angitt i tabellen nedenfor.

Tabell 5 Minimum sikkerhetsnivå i tunneler.

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Krav</li> <li>○ Vurderes</li> </ul>	TUNNELKLASSER						MERKNADER
	A	B	C	D	E	F	
<b>SIKKERHETSTILTAK</b>							
Havarinisjer		●	●	●	●	●	Se kapittel 4 Geometrisk utforming
Smunisjer		●	●	●			Se kapittel 4 Geometrisk utforming
Gangbare tverrforbindelser					●	●	Hver 250. m (se pkt. 4.7)
Nødutganger				●			Krav om enten nødutganger til det fri eller egen romningstunnel med tverrforbindelser for tunnelklasse D (antall kjøretøy pr kjørefelt > 4000), og for tunneler lengre enn 10 km i tunnelklasse C (jf. 5.1). Avstand hver 500 m (se pkt. 4.7)
<b>SIKKERHETSUTRUSTNING</b>							
Strømforsyning, belysning og ventilasjon	Se kapittel 10 Tekniske anlegg						
Nødstrømsanlegg	●	●	●	●	●	●	Belysning ved strømutfall. Se pkt. 5.2.2.1 og 10.3.6
Ledelys for tunnel	●	●	●	●	●	●	Ca. 62,5 m avstand. Se pkt. 5.2.2.2
Nødutgangsskilt, og skilt som viser retning og avstand til nødutgang			●	●	●	●	Krav for tunneler med nødutganger og tverrforbindelser. Se pkt. 6.2
Avstandsmarkering i tunnel	●	●	●	●	●	●	Krav for tunneler lengre enn 3 km. Skiltet plasseres for hver 1000 m. Se pkt. 6.2
Nødstasjon	●	●	●	●	●	●	Inneholder nødtelefon og to brannslukkere. Se fig. 5.1 – 5.5. Hver 125 m. I spesielle tilfeller min. hver 250 m ved oppgradering (jf. 5.2.4). Nødstasjon installeres i tillegg utenfor hver tunnelåpning.
Slokkevann	●	●	●	●	●	●	Aktuelle løsninger i pkt. 5.2.2.4
Rødt stoppblinksignal	○	●	●	●	●	●	Se pkt. 6.3. Tunnelklasse A: krav for tunneler > 1km
Fjernstyrte bommer for stengning		○	○	●	●	●	Se pkt. 5.2.2.5
Variable skilt		○	○	○	○	○	Se pkt. 6.3 og 5.3
Kjørefeltsignaler					○	○	Se pkt. 6.3
ITV-overvåking			○	○	○	○	Se pkt. 5.2.2.6 og 5.3. Krav i tunneler > 3 km og > 2 000 kjøretøyer per kjørefelt
Radio- og kringkastingsanlegg	●	●	●	●	●	●	Se pkt. 5.2.3
Mobiltelefon *	○	○	○	○	○	○	Se pkt. 5.2.3.4
Høydehinder (avviser)	●	●	●	●	●	●	Se pkt. 5.2.2.7

\* Ikke sikkerhetsutstyr

## 8 Tunneldriving og bergsikring

På grunnlag av geologiske kart og flyfoto tilgjengelig på internett, er det for de to tunnelene gjort en generell vurdering av bergmassen langs traséene, der tunnelene er blitt delt inn i bergmasseklasser, se figurene 6-9 nedenfor.

**Tabell 6 Inndeling bergmasse Sulafjordtunnelen.**

Profilnr.	Bergart	Retning foliasjon	Skjæringsvinkel med tunnelakse	Svakhetssone	Bergmasseklasse
0-800	Gneis	NØ-SV	ca. 45°	-	A/B+C+D
800-1000	Gneis	NØ-SV	ca. 45°	-	C+D+E
1000-1100	Gneis	NØ-SV	ca. 45°	x	F
1100-1300	Gneis	NØ-SV	ca. 45°	-	C+E
1300-3000	Gneis	N-S	Parallell tunnel	-	A/B+C+D+E+F
3000-3200	Gneis	N-S	Parallell tunnel	x	G
3200-4000	Gneis	N-S	Parallell tunnel	-	C+D+E+F
4000-4600	Gneis	N-S	Parallell tunnel		A/B+D+E
4600-4650	Gneis	N-S	Parallell tunnel	x	F
4650-8650	Gneis	-	-	-	C+D+E+F
8650-9150	Gneis			x (Fjordkryssing)	G
9150-15000	Gneis	NV-SØ	Parallell tunnel	-	C+D+E+F
15000-19000	Gneis	NV-SØ	ca. 30°	-	A/B+C+D+E
19000-19100	Gneis/Glimmer-skifer	NV-SØ	ca. 30°	Skyveforkastning	F
19100-20000	Glimmerskifer	-	-	-	C+D

Tabell 7 Oversikt profilnr. og bergmasseklasse Sulafjordtunnelen.

Profil	Bergmasseklasse					
	A/B Lite oppsprukket	C Moderat oppsprukket	D Tett oppsprukket	E Svært dårlig	F Ekstremt dårlig	G Eksepsjonelt dårlig
Q-verdi	10-100	4-10	1-4	0,1-1	0,01-0,1	<0,01
0-800	600	100	100			
800-1000		100	50	50		
1000-1100 (sv.sone)					100	
1100-1300		150		50		
1300-3000	350	600	600	100	50	
3000-3200 (sv.sone)						200
3200-4000		500	100	150	50	
4000-4600	500		50	50		
4600-4650 (sv.sone)					50	
4650-8650		2000	1700	200	100	
8650-9150 (sv.sone)						500
9150-15000		2850	2700	200	100	
15000-19000	1000	1000	1000	1000		
19000-19100 (forkastning)					100	
19100-20000		500	400			
	<b>2450</b>	<b>7800</b>	<b>6700</b>	<b>1800</b>	<b>550</b>	<b>700</b>
	12,3 %	39 %	33,5 %	9 %	2,8 %	3,5 %

Tabell 8 Inndeling bergmasse Borgundfjordtunnelen.

Profilnr.	Bergart	Retning foliasjon	Skjæringsvinkel med tunnelakse	Svakhetszone	Bergmasseklasse
0-1100	Glimmerskifer			-	C+D
1100-2100	Glimmerskifer			-	C+D+E
2100-2200	Glimmerskifer			x (Fjordkryssing)	F+G
2200-2400	Glimmerskifer			-	D+E
2400-2500	Glimmerskifer			x (Fjordkryssing)	F+G
2500-2700	Glimmerskifer			-	E+F
2700-2800	Glimmerskifer			x (Fjordkryssing)	F+G
2800-3000	Glimmerskifer			-	E+F
3000-3100	Glimmerskifer			x (Fjordkryssing)	F+G
3100-4000	Glimmerskifer/ Gneis	Ø-V	90°	-	A/B+C+D
4000-4600	Gneis/Glimmer- skifer	Ø-V	90°	Skyveforkastning	F+G
4600-4900	Gneis	Ø-V	90°	-	A/B+C+D

**Tabell 9 Oversikt over profilnr. og bergmasseklasse Borgundfjordtunnelen.**

Profil	Bergmasseklasse					
	A/B Lite oppsprukket	C Moderat oppsprukket	D Tett oppsprukket	E Svært dårlig	F Ekstremt dårlig	G Eksepsjonelt dårlig
Q-verdi	10-100	4-10	1-4	0,1-1	0,01-0,1	<0,01
0-1100		800	300			
1100-2100		400	400	200		
2100-2200					50	50
2200-2400			100	100		
2400-2500					50	50
2500-2700				100	100	
2700-2800					50	50
2800-3000				100	100	
3000-3100					50	50
3100-4000	300	400	200			
4000-4600					300	300
4600-4900	100	100	100			
<b>Sum</b>	<b>400</b>	<b>1700</b>	<b>1100</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>500</b>
%-vis fordeling	8,2 %	34,7 %	22,4 %	10,2 %	14,3 %	10,2 %

### Beregning av sikringsmengder

Beregning av sikringsmengder utføres på grunnlag av antatte bergmasseklasser og tilhørende sikring som angitt i tabell 7.1 i Håndbok 021.

Sikringsmengdene er bestemt ut fra Q-systemet og sikringsmengder angitt i Teknologirapport 2538. I tabell 10 vises enhetsmengdene av sikring i hver bergmasseklasse, basert på Håndbok 021.

**Tabell 10 Sammenheng mellom bergmasseklasse og sikringsmengder (T9,5).**

Bergmasse- klasse	Q-verdi	Sikringsklasse	Sikringsmengder			
			Bolter [stk/lm]	Sprøytebetong [m <sup>3</sup> /lm]	Forbolter [stk/lm]	Sprøytebetongbuer [stk/lm]
A/B	Q=10-100	Sikringsklasse I	3,2	1,76	-	-
C	Q=4-10	Sikringsklasse II	3,8	2,13	-	-
D	Q=1-4	Sikringsklasse III	5,2	2,38	-	-
E	Q=0,1-1	Sikringsklasse IV	9,0	4,19	2,4	0,06
F	Q=0,01-0,1	Sikringsklasse V	14,5	8,22	18	0,43
G	Q<0,01	Sikringsklasse VI	14,5	11,50	24	0,83

Tabell 11 viser en oversikt over beregnede antall sikringsenheter for hver tunnel, og gjennomsnittsmengder pr. meter tunnel.

**Tabell 11 Oversikt over sikringsmengder for hver tunnel.**

Tunnel	Bolter [stk]	Bolter [stk pr. m]	Sprøytebetong [m <sup>3</sup> ]	Sprøytebetong [m <sup>3</sup> pr. m]	Sikringsbuer [stk]	Sikringsbuer [stk/m]	Forbolter [stk]	Forbolter [stk pr. m]
Sulafjordtunnelen	213 920	5,3	113 970	2,8	1852	0,046	62 040	1,6
Borgundfjordtunnelen	70 720	7,22	41 084	4,2	1492	0,152	51 600	5,3

Den store forskjellen i sikringsmengde mellom de to tunnelene skyldes vår antagelse om flere kryssinger av svakhetssoner i Borgundfjorden.

## 9 Ventilasjon og elektriske installasjoner

Ventilasjonsbehovet i Sulafjordtunnelen vil bli svært omfattende. Det vil være brannsituasjonen som vil være dimensjonerende for ventilasjonsinstallasjoner. Fjerning av partikler fra bileksos vil også bli en utfordring. En mulig optimalisering kan være å bore ventilasjonssjakter opp til dagen på hver side av Sulafjorden. Dette er ikke inkludert i vår evaluering.

Elektroinstallasjoner (kabler, trafoer etc. til lys, ventilasjon og pumper) vil bli svært omfattende i Sulafjordtunnelen på grunn av lengden og høydeforskjellen. Vi har derfor utført en egen evaluering av dette forholdet, og det viser seg at kostnadene pr. meter for elektroinstallasjoner blir svært store, sett i forhold til for eksempel Borgundfjordtunnelen.

## 10 Kostnadsberegning

For beregning av kostnadene for prosjektet har vi benyttet våre erfaringstall fra tilsvarende prosjekter. Når det gjelder Sulafjordtunnelen, vil denne være spesiell med sin store lengde. Det kan derfor komme inn kostnader som vi ikke har oversikt over på nåværende tidspunkt, som bestemmes ut fra spesielle sikkerhetshensyn eller myndighetskrav.

For å få fram usikkerhetene i prosjektet har vi utført en grov analyse med bruk av trippelanslag. Det vil si at vi har benyttet minimum enhetspris og minimumsmengde, antatt enhetspris og antatt mengder samt maksimal enhetspris og maksimal mengde. Beregning av kostnad er gjort med "vekting" av enhetspris og mengde. Ut fra dette beregnes en forventet mengde og pris. Der det er stor usikkerhet i anslaget, blir som regel forventet mengde større enn antatt. Dette kan illustreres med mengden sprøytebetong som skal brukes til bergsikring. Antatt mengde for Sulafjordtunnelen er 2,8 m<sup>3</sup>/lm. Fordi det kan bli 3,5 m<sup>3</sup>/lm, øker forventet mengde til 2,84 m<sup>3</sup>/lm. Denne verdien er benyttet i den videre beregningen.

For hvert kostnadselement beregnes standardavviket. Det er 67 % sannsynlig at endelige mengder faller innenfor standardavviket.



Tabellene nedenfor gir en oversikt over kostnadene for hhv. Sulafjord- og Borgundfjordtunnelen. Her har vi angitt kostnadene for hver hovedprosess, basert på Statens Vegvesens Prosesskode 2.

**Tabell 12 Sulafjordtunnelen. Kostnader i 1000 NOK.**

Hovedprosess	Kostnadselement	Kostnad
1	Byggeledelse/Rigg og drift/Planlegging og prosjektering	899 027
2	Sprengning i forskjæringer	1 770
3	Tunnel	
31	Arbeider foran stuff	78 184
32	Sprengning og uttransport	542 344
33	Stabilitetssikring	589 738
34	Vann- og frostsikring	369 932
35	Portaler, pumpestasjon og bygn.	10 516
36	Belysning, ventilasjon og sikkerhet	455 800
4-7	Grøfter, kummer og rør/vegfundament/vegdekke/vegmerking	106 440
	Tverrforbindelser	40 000
	<b>SUM</b>	<b>3 093 751</b>

Dette gir en løpemeterpris på NOK 77 344,-

Det er knyttet stor usikkerhet til disse tallene idet grunnlaget er nokså begrenset og vi har ikke gått i detaljer på kostnadsberegningen. Usikkerheten ligger på i størrelsesorden -20 % til +40 %.

**Tabell 13 Borgundfjordtunnelen. Kostnader i 1000 NOK.**

Hovedprosess	Kostnadselement	Kostnad
1	Byggeledelse/Rigg og drift/Planlegging og prosjektering	239 338
2	Sprengning i forskjæringer	1 770
3	Tunnel	
31	Arbeider foran stuff	23 788
32	Sprengning og uttransport	133 029
33	Stabilitetssikring	246 980
34	Vann- og frostsikring	93 982
35	Portaler, pumpestasjon og bygn.	10 516
36	Belysning, ventilasjon og sikkerhet	22 528
4-7	Grøfter, kummer og rør/vegfundament/vegdekke/vegmerking	38 466
	Tverrforbindelser	10 000
	<b>SUM</b>	<b>820 397</b>

Dette gir en løpemeterpris på NOK 83 205,-

Det er knyttet stor usikkerhet til disse tallene idet grunnlaget er nokså begrenset, og vi har ikke gått i detaljer på kostnadsbergningen. Usikkerheten ligger på i størrelsesorden -10 % til +30 %.

Alle prisene er eks. mva.

#### **Forutsetninger for kostnadsberegninger:**

- Sonderboring foran stoff er antatt utført i ¼ av tunnelens lengde (\*).
- Injeksjon for vanntetting er antatt utført i ¼ av tunnelens lengde (\*).
- Antar driving fra begge sider i hver tunnel. Vi har ikke kalkulert med besparende effekter på grunn av for eksempel vekseldrift i tunnelene.
- Steinmassene fra tunnelene tippes like utenfor påhuggene.
- Det er forutsatt at 70 % av tunnelene vann- og frostsikres. Vi har inkludert bruk av brannsikret PE-skum som vannsikring. Denne metoden vil mest sannsynlig bli erstattet av betongelementer. Prismessig kan det bli litt dyrere med elementer.
- Portalene er antatt å bli 10 m lange.
- Det er ikke tatt med prisstigning i byggetiden.
- Kostnadene til elektrotekniske installasjoner for Sulafjordtunnelen er relativt store. Dette skyldes blant annet at med en så lang tunnel, vil det bli behov for mye og store installasjoner, med tilhørende lange og store kabler.
- Vi har ikke inkludert kostnader for offentlige utredninger, risikovurderinger etc.

(\*): tilsvarer mer enn 100% av lengden under fjorden i Sulafjordtunnelen og ca 60% av lengden under fjorden for Borgundfjordtunnelen).

## **11 Finansieringsanalyse**

Det er utført en finansieringsanalyse for prosjektet med grunnlag i de kostnadstallene vi har beregnet og de trafikk tallene som vi har beregnet. Finansieringsanalysen er utført av Transportøkonomisk Institutt (TØI).

Hensikten med analysen har vært å vurdere realiserbarheten av prosjektet med nedbetaling over 15 år med grunnlag i de beregnede trafikk tallene. I analysen er det beregnet en engangsøkning av trafikk tallene som følge av at tunnelen blir åpnet. Dette er basert på erfaringer fra alle undersjøiske tunneler. Økningen i åpningsåret er blant annet avhengig av bompengeretakstene for det eksisterende fergetilbudet og bompengeretakstene i tunnelene. Det er selvsagt også avhengig av besparelse i kjøretid for trafikkantene. TØI har utført disse vurderingene og lagt engangsøkningen i trafikken til grunn i sine beregninger.

Trafikkveksten er beholdt til å være 1,5 % per år både før åpning og etter at tunnelen er tatt i bruk. Engangseffekten er angitt som et sprang i trafikkgrunnlaget.

## Bompengetakster:

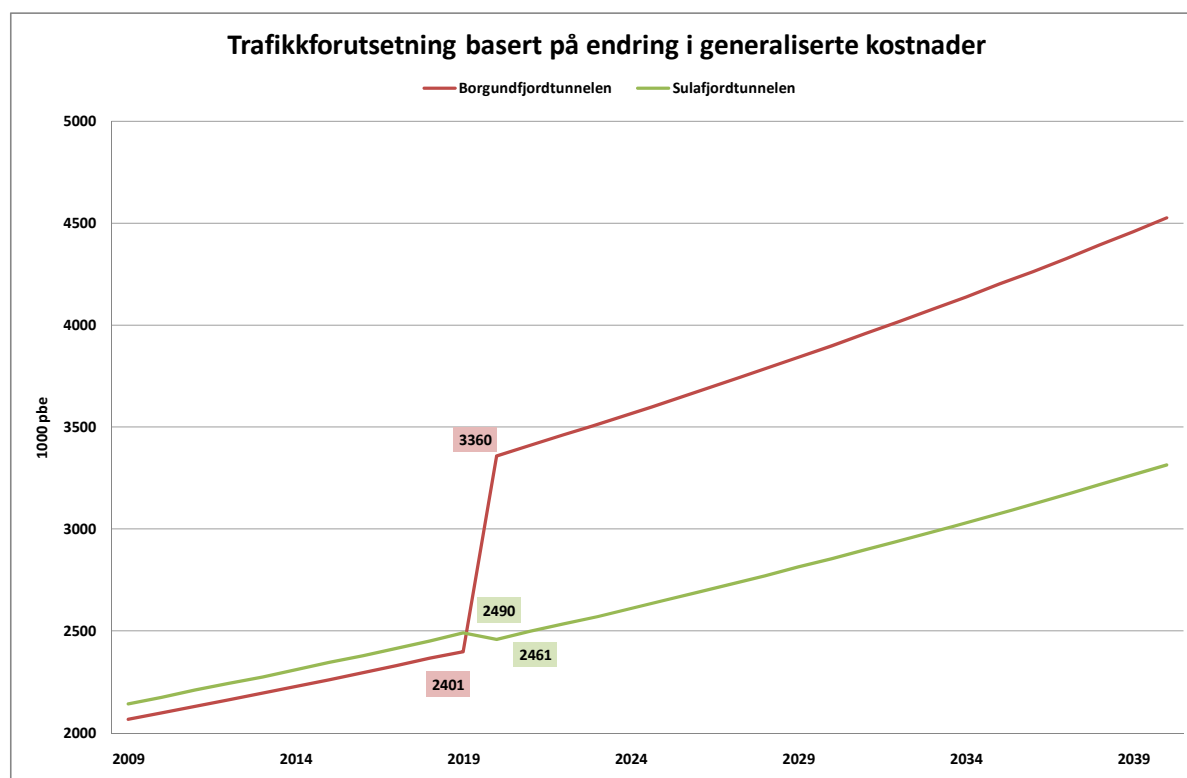
Basert på innspill fra Hareid Fastlandsamband har vi benyttet følgende satser:

Tabell 14: Bompenger

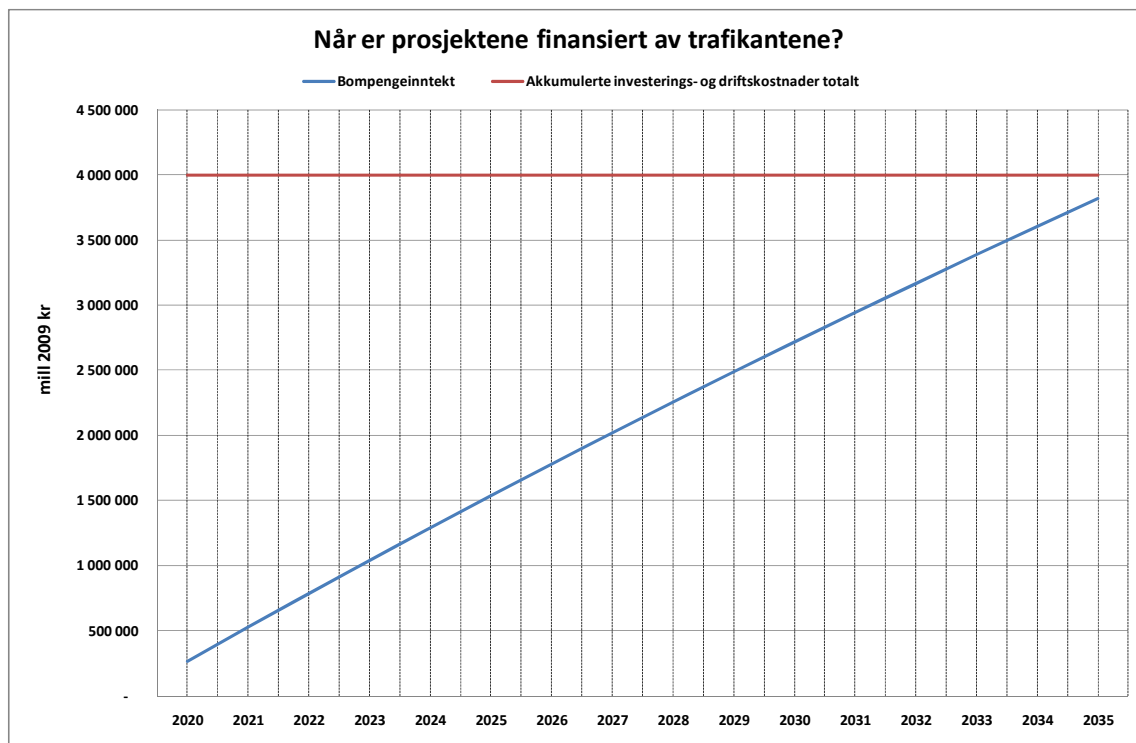
	Lette kjøretøy	Tunge kjøretøy
Sulafjordtunnelen	Kr 84	Kr 206
Borgundfjordtunnelen	Kr 24	Kr 48

Rentenivået er satt til 4,5% pa.

Resultatene av beregningen med dette grunnlaget er presentert i figur 3:



Figur 3: Trafikkgrunnlaget, målt i pbe, basert på 1,5% økning og en engangseffekt ved åpning.(ref TØI)



Figur 4: Nedbetalingstid for prosjektene og nødvendig ekstern finansiering. Ref TØI.

Figur 3 viser at det er beregnet et sprang i trafikkgrunnet som en engangseffekt. Når det gjelder nedbetalingen, viser det seg at prosjektene må ha en ekstern finansiering på kr 195 mill 2010 kroner for å fullfinansiere prosjektene ref figur 4.

### Økte bompengesatser

Med de samme forutsetningene som ovenfor, men med en økning i bompengesatsen for tunge kjøretøy i Sulafjordtunnelen til kr 280,- vil prosjektene fullfinansieres innenfor 15 år.

### Økt rente

Rentesatsen er satt til 4,5% i beregningene. Dersom renta øker til 6%, som er en normal rentesats i historisk perspektiv, vil behovet for ekstern finansiering øke til 375 mill 2009-kr. Dersom prosjektene skal fullfinansieres med en rentenivå på 6% kan f.eks bomavgiften på tunge kjøretøy økes til kr 389,- i Sulafjordtunnelen. Til sammenligning kan nevnes at gjennomsnittlig fergepris for tunge kjøretøy over Sulafjorden er kr 402 (2009-kr).

## Nødvendig bompengesatst derom det ikke beregnes en engangsøkning ved åpning

Dersom det ikke regnes med en engangsøkning i trafikken som følge av tunnelåpning, og tunnelene skal bli nedbetalt innen 15 år, må bompengesatstene for Borgundfjordtunnelen og Sulafjordtunnelen være henholdsvis:

Tabell 15: Bompengesatser

	Lette kjøretøy	Tunge kjøretøy
<b>Sulafjordtunnelen</b>	Kr 80	Kr 160
<b>Borgundfjordtunnelen</b>	Kr 71	Kr 142

Med slike bompengesatser ville prosjektene bli nedbetalt i løpet av første kvartal 2032, det vil si 12 år etter åpning.

## Sammenstilling

Tabell 16: Sammenstilling av tre alternativer for bompengesatst og nedbetaling

Alt	Forutsetninger	Borgundfjord-tunnelen, pris pr kjøretøy	Sulafjord-tunnelen	Ekstern finansiering/ nedbetalingstid
<b>A</b>	Engangsøkning ved åpning,	Lette: kr 25,- Tunge: kr 48,-	Lette: kr 84,- Tunge: kr 206,-	195 mill ekstern finansiering
<b>B</b>	Engangsøkning ved åpning	Lette: kr 25,- Tunge: kr 48,-	Lette: kr 84,- Tunge: kr 281,-	Ingen ekstern finansiering, nedbetalt etter 15 år
<b>C</b>	Uten engangsøkning i trafikken	Lette: kr 71,- Tunge: kr 142,-	Lette: kr 80,- Tunge: kr 160,-	Ingen ekstern finansiering, nedbetalt etter 12 år

Det er beregnet rentesats på 4,5 % for alle tilfellene.

## 12 Grensesprengende prosjekt

Tunnelen under Sulafjorden vil bli grensesprengende på flere måter. Hittil er Eiksundtunnelen verdens dypeste undersjøiske vegtunnel med maksimal dybde 287 meter under havet. Tunnelen ble ferdig bygget og åpnet i 2008.

Sulafjordtunnelen vil på det dypeste bli ca. 625 meter under havet. Det er en økning på ca. 338 meter, eller 117 %. Dette vil sannsynligvis få betydning for injeksjonsarbeid og for dimensjonering av minste fjelloverdekning.

Bømlafjordtunnelen er med sine 7888 meter, verdens lengste undersjøiske vegtunnel. Sulafjordtunnelen vil bli minimum ca. 18500 meter lang, det vil si omtrent dobbelt så lang som Bømlafjorden.

Slike økninger i lengde og dybde vil være grensesprengende. I henhold til Håndbok 021 må tunnelen under Sulafjorden bygges med rømningsveg, det vil si at den må bygges med dobbelt løp. Det må være to kjørefelt i hver tunnel, og den må ha hovedvegstandard, det vil si tunnelprofil 9,5.

Når det gjelder geologiske/geofysiske undersøkelser, vil prosjektet under Sulafjorden også bli grensesprengende. Hittil er det utført refraksjonsseismiske undersøkelser ned til dybde på inntil 400 meter under havoverflata. Det finnes ikke utstyr i dag som er benyttet til utførelse av tradisjonell refraksjonsseismikk på havdybder ned til 430 meter, slik som dybden vil være i Sulafjorden. Det må derfor undersøkes hvorvidt slikt utstyr kan skaffes eller utvikles til undersøkelser i Sulafjorden. Alternativt må det benyttes undersøkelsesfartøy med utstyr for geofysiske undersøkelser for oljeleting.

De ovenfor nevnte grensesprengende dataene for tunnel kan også utløse behov for en grundig gjennomførbarhets- og risikoanalyse før prosjektet kan starte opp. Driftssituasjonen og vedlikeholdskostnadene må også studeres nærmere.

I tabell nr.6 er det vist sammenlignende tall for hittil utførte prosjekter, med angivelse av dybder og lengder på undersjøiske vegtunneler. Eiksundtunnelen og Hitratunnelen har større stigning enn Sulafjordtunnelen. Dette skyldes at de ikke tilhører et stamvegnett, og at det er kommet nye regler etter at disse prosjektene ble utført/godkjent for gjennomføring.

**Tabell 17 Sammenligning undersjøiske vegtunneler.**

<b>Tunnel</b>	<b>Åpningsår</b>	<b>Max dybde, muh.</b>	<b>Maksimal stigning %</b>	<b>Lengde, meter</b>
Eiksund	2008	<b>287</b>	<b>9,6</b> (Eika) 7,6 (Berknes)	7765
Bømlafjord	2000	262,5		<b>7888</b>
Hitra	1994	264	10	5645
Sulafjorden		<b>ca. 625</b>	<b>7</b>	<b>ca. 18500</b>
Borgundfjorden		ca. 150	<b>7</b>	ca. 4900

Basert på dagens teknologi for tunneldriving, mener vi at prosjektet er fullt ut gjennomførbart, med driving, sikring og tekniske installasjoner. Vi tar imidlertid forbehold med hensyn til risikovurdering og myndighetskrav.

## 13 Optimalisering

Som nevnt i kap. 5 har vi tatt utgangspunkt i de påhuggsplasseringene ved Gåseid og Vedde, slik som foreslått av Nordplan AS, og påhugg ved Grimstadvatnet på Hareid. Fra Hareid er tunneltraséen planlagt med kortest mulig lengde ned til lavbrekket midt i Sulafjorden og lengden dit er ca. 9000 meter. Fra påhugget ved Vedde er lengden ned til lavbrekket ca.

11000 meter. Det vil si at tunnelen er ca. 2000 meter lenger enn nødvendig, ut fra hensynet til stigningsforhold og høydeforskjell.

Ut fra de vurderinger vi har gjort på kartgrunnlag, og den nødvendige minimumslengden på tunnelen under Sulafjorden, mener vi at det kan gjøres en optimalisering av lengde og kostnader for prosjektet ved å flytte påhugget ved Vedde. Vi har angitt alternativt område med stiplet ring på tegning nr 4. Dette vil ca. 1 km kortere tunnel under Sulafjorden. Tilførselsvegen må imidlertid legges over et landområde som må evalueres mht. tilgjengelighet og sårbarhet.

Nordplan AS skal i løpet av august/september 2010 utføre geologiske undersøkelser med befarings for vurdering av påhuggene på Vedde og Gåseid. Justering av tunneltraséene kan bli aktuelt å utføre når resultatene blir tilgjengelige.

## 14 Referanser

1. "Vegutredning 1993". Rapport fra O.T. Blindheim AS og ViaNova AS.
2. Vegtunneler. Håndbok 021. Vegdirektoratet, mars 2010.
3. NGU, berggrunnskart, karttjeneste på internett, [www.ngu.no](http://www.ngu.no).
4. Finn, karttjeneste på internett: <http://kart.finn.no/3d/>.
5. Transportøkonomisk Institutt, Finansieringsanalyse av Hareid Fastlandsamband, 1. november 2010.