

Til
Hardangerviddatunnelene AS
Att.: Harald Victor Hove
Olav Kyrres gt. 11
5014 Bergen

Stabekk, 15.11.16

Vedrørende kostnad- og tidsestimat for Hardangerviddatunnelen

I samband med vurdering av KVV fra Statens vegvesen (Svv) ønsker Hardangerviddatunnelene AS en vurdering av hva det vil innebære av kostnader og byggetid å drive en 17 km lang vegtunnel fra Haugastøl til øst for Sysendammen. Skjeggedal Construction Services AS v/ Thor Skjeggedal har gjort slike beregninger basert på en fremdrifts / resurskalkyle. Grunnlag er hentet fra Norgeskart og forefinnende geologisk informasjon, dvs. ganske grovt, noe som tilsier en nøyaktighet på +/- 15%.

Det er lagt til grunn en 17 km lang tunnel som starter fra vest ved Leirvatnet. Høyde på påhugg ca kote 1008. Østre påhugg blir ved Bergsmulfjorden hvor påhugget vil ligge på ca kote 1005. Med boring fra vestsiden kan en tenke seg å gå å 1 % stigning i ca 10 km for deretter å gå på synk med ca 1,5 % frem til østre påhugg.

To tunnelkonsept er vurdert, hhv. en T9,5 profil med parallell rømningstunnel på Ø6,0 m (Alt. 1) og 2 parallelle tunneler med Ø10,0 m (Alt.2).

For begge alternativ er det forutsatt å benytte TBM (Tunnel Boring Machine) som drivemetode. Dette fordi konvensjonell sprengning av tunneler med slik lengde er meget utfordrende, om i det hele tatt mulig med dagens miljøkrav. Skal konvensjonell sprengning benyttes må der høyst sannsynlig etableres tverrslag langs traseen, noe som er antatt meget vanskelig ut fra hensyn til det ytre miljø.

Derimot er der flere referanseprosjekter rundt om i verden hvor tunneler på 17 km eller mer er boret med TBM uten tverrslag.

For begge alternativ er det forutsatt å bore fra vest mot øst med 2 stk. TBMer. Dette gir en relativt lang byggetid. Alternativt kan det bores med 2 maskiner fra hver side, men dette vil øke kostnaden, veldig grovt anslått til mellom 200 og 400 millioner kr.

Kostnad for alternativ 1 ovenfor ligger på vel kr 4,3 mrd. mens for alternativ 2 vil den ligge ca 400 mill. høyere. Denne kostnaden inkluderer ferdig tunnel, men uten eventuelle grunnerverv, byggherrekostnader og liknende.

Skal tunnelene drives fra en side som beskrevet ovenfor må en regne med en byggetid på mellom 6 – 7 år, men den kan bort imot halveres dersom det drives fra begge sider.

I Svv sin siste KVV opereres det med en kostnad på kr10,8 mrd. for strekningen Haugastøl – Sysen. Selv med angitt unøyaktighet i beregningene ovenfor er det uklart hva en slik stor kostnadsdifferanse inneholder. Kanskje Svv har en forklaring på dette.

Beregningene ovenfor er basert på strekningen angitt ovenfor og vil ikke uten videre være overførbar til andre tunneler omtalt i siste KVV fra Svv.

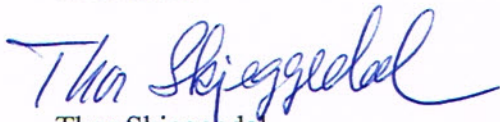
Håper dette kan være til hjelp for Dere i de videre vurderinger.

Eventuelle spørsmål vedrørende beregningene kan rettes til:

Thor Skjeggedal
Utsiktsveien 18A,
1369 Stabekk

Telefon: 67105766
Mobil: 913 44 190
e-mail: thor@skjeggedal.com

Med hilsen



Thor Skjeggedal

HARDANGERVIDDATUNNELENE

TUNNELDRIFT MED TBM



HARDANGERVIDDATUNNELENE HAR SOM HOVEDFORMÅL Å ETABLERE SIKKER HELÅRSVEI OVER HARDANGERVIDDA (RV 7) GJENNOM BYGGING AV TUNNELER.



SCS Skjeggedal
Construction
Services AS

Arbeidet er utført av:

Thor Skjeggedal

Innhold

Punkt	Side
Sammendrag	2
Tunnel trace	2
Tunnelkonsept	3
Anleggsteknikk	3
Bergrunn	3
TBM og bakrigg	4
Leveringstider	4
Uttransport av bormasse	4
IØvrig transport i tunnelene	4
Sikring av tunnelene	5
Injeksjon	5
Arbeidstid	7
Arbeidssyklus	7
Inndrifter	8
Rømningsveier og havarinisjer	8
Kostnader	8
Byggetid	10
Kontraktsmessige forhold	10
Konvensjonell sprengning som drivemetode	11

Sammendrag

Basert på en beregning av byggetid og kostnader er det i denne rapporten forutsatt at det benyttes TBMer fra vestre tunnelpåhugg. Det vil bli benyttet to TBMer, en på Ø10 m for kjøretunnelen og en på Ø6 m som redningstunnel. Det er også vurdert å benytte to Ø10 m maskiner slik at en får to kjørebane i hver retning. Med den forutsatte inndrift vil der da bli gjennomslag i tunnelen ved Haugastøl etter ca. 62 måneder fra signering av kontrakt med entreprenøren. Som vann og frostsikringsmetode i TBM tunnelen er det valgt bruk av PE-skum.

Beregningene viser at tunnelsystemet med en lengde på ca 17 km kan gjennomføres på ca. 7 år. Totalt vil da tunnelsystemet koste mellom ca. 4,3 – 4,7 mrd. NOK, avhengig av alternativ.

Tunneltrace

Det er lagt til grunn en 17 km lang tunnel som starter fra vest ved Leirvatnet. Høyde på påhugg ca kote 1008. Østre påhugg blir ved Bergsmulfjorden hvor påhugget vil ligge på ca kote 1005. Med boring fra vestsiden kan en tenke seg å gå å 1 % stigning i ca 10 km for deretter å gå på synk med ca 1,5 % frem til østre påhugg.

Tunnelkonsept

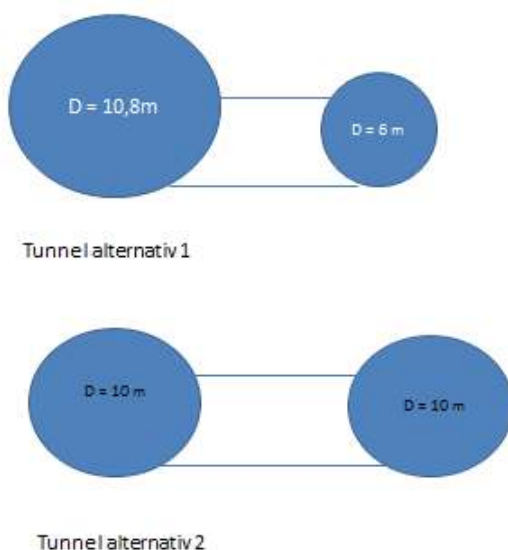
Det er sett på to forskjellige tunnelkonsept:

Alternativ 1

Der bores en trafikk tunnel som gir plass til et T9,5 profil. Boret diameter for en slik tunnel er 10,8 m. I tillegg bores en redningstunnel parallelt med trafikk tunnelen med diameter 6 m. Der etableres tverrforbindelser mellom tunnelene for hver 500 m og disse er lagt i tilknytning til havarinisjer i hht, Svv Håndbok 500.

Alternativ 2

Der bores to trafikk tunnel, hver med diameter 10 m. Da er tverrsnittet forutsatt å tilfredsstille en T8,5 tunnel. Således blir der ikke møtende trafikk i tunnelene, noe som øker sikkerheten betydelig. Tilsvarende alternativ 1 blir der tverrforbindelser hver 500 m, lagt i tilknytning til havarinisjene.



Figur 1. Tunneltverrsnitt

Anleggsteknikk

For å holde kostnadene så lave som mulig er det forutsatt å bore med to maskiner fra vestre påhugg. Dette blir da en 17 km lang strekning, noe som for TBM drift er gjort på mange prosjekter rundt om i verden. Lengste tunnel som er boret fra en side er om lag 25 km lang. Det er forutsatt at alle bormasser kan deponeres i nærheten av vestre påhugg. Drenssystem og kabelkanaler legges mellom TBM og bakrigg. Samtidig som tunnelen bores blir en del av bormassen siktet ut og benyttet som vegbane i tunnelen. Med visse mellomrom legges første lag med asfalt slik at en oppnår en god kjørebane i tunnelen. Tilsvarende dette ble gjort da Fløyfjellstunnelen i Bergen ble drevet.

Berggrunn

Bergmassen langs traseen for Hardangerviddatunnelene består for det meste av pre kambrisk grunnfjell, deriblant dypbergarter som gneis og granitt som er karakterisert som kvarts-feltspatrik gneiser, stedvis båndet. Generelt er det ikke forventet store innlekkasjer langs traseen.

Det foreligger ikke bergartsprøver tatt i traseen som er testet med hensyn på Drilling Rate Index (DRI) og Cutter Life Index (CLI) for bruk i NTNU sin prognose modell for fullprofilboring av tunneler. Det er derfor gjort en skjønnsmessig vurdering av gneisbergartene med bakgrunn i erfaringer fra tilsvarende gneiser i regionen samt NTNU rapport 13B-98. Ut fra dette er følgende borbarhetsdata lagt til grunn:

DRI: 50, CLI: 9, Sprekkeklasse: Stikk 2, kvartsinnhold 25 %.

TBM og bakrigg

For Hardangerviddatunnelene vil bruk av «High Performance Open Hard Rock» TBM med mulighet for forinjeksjon og plassering av PE-skum i bakrigg-systemet være den mest praktiske og mest tids- og kostnadseffektive type TBM.

Bakriggssystemet består av en serie av portalplattformer med tilstrekkelig plass for installasjon av utstyr for å drifte TBM boringen og annet arbeid bak selve TBMen. Transport av mannskaper og materiell til stuff vil bli med gummihjulskjøretøy. Bakriggen er designet for produksjon av kjørebane etter hvert som tunnelboremaskinen avanserer. I tillegg vil der være en egen enhet hvor installasjon av PE-skum blir foretatt (montasje og dekking med sprøytebetong).

For kostnadsberegningen er det innhentet budsjettpriser på dette utstyret fra aktuell leverandør. I disse prisene inngår også båndtransportørsystem fra TBM til depot utenfor tunnelportal. Dette beløpet er basert på at en USD tilsvarer 8,20 NOK.

Leveringstider

Det er forutsatt at komponenter og deler ankommer riggplassen for montasje av første TBM etter ca. 12 måneder fra bestilling, noe som er forutsatt vil skje umiddelbart etter at byggekontrakten med entreprenør er signert. Med ca 3 - 4 måneders montasjetid vil boring kunne starte etter 15 - 16 måneder. Deretter vil der normalt være en innkjøringsperiode på ca. 1 - 2 måneder. Derfor er fremdriftsanalysen basert på full borekapasitet fra måned 17. Noen TBM leverandører tilbyr "On-site First Time Assembly" (OFTA). Ved å kutte ut fabrikkmontasje og benytte OFTA vil boring kunne starte ca. 2 måneder tidligere enn forutsatt ovenfor. Det kan nevnes at TBM leverandøren Robbins har gode erfaringer med dette fra en rekke prosjekter rundt omkring i verden og som bør vurderes også for Hardangerviddatunnelene.

Uttransport av boremasse

For å utnytte boremaskinens kapasitet maksimalt er det lagt opp til uttransport av boremasse med transportbånd ("Continuous Conveyor System") direkte fra bakriggen til mellomlager eller depot i nærheten av anleggsstedet. Det er nødvendig å utrede deponering og bruk av boremasse ytterligere i en eventuell senere fase.

Øvrig transport i tunnelen

Transport av materiell og mannskap i tunnelen i anleggsperioden vil foregå med gummihjulsdrift. Spesiellkjøretøyer blir brukt for transport av sprøytebetong og øvrig sikringsmateriell. Disse kjøretøyene har styrekabin i hver ende slik at de ikke trenger å snu i tunnelen.

Pickuper og småbusser kan også benyttes til mindre transportoppdrag.

Sikring av tunnelen

Under driving av tunnelen vil denne bli sikret på vanlig måte med bolter, sprøytebetong, eventuelt med stålbuer, etc. etter behov. TBMen er utrustet med nødvendig utstyr slik at mesteparten av dette arbeidet kan foregå samtidig med tunnelboringen.

Injeksjon

I Hardangerviddatunnelene vil der punktvis være behov for forinjeksjon. Formålet med denne injeksjonen er:

- Tetting av vannlekkasjer
- Stabilisering av grunnen

I tillegg kan det være nødvendig å bore sonderhull for å undersøke grunnforholdene foran maskinen.

Injeksjonsteknikken vil være lik den som anvendes i en sprengt tunnel. Tunnelboringen stanses og det bores hull fra 25 – 30 meter foran borhodet i en skjerm som vist i figurene 2 og 3. Vinkelen på hullene i forhold til tunnelaksen vil ligge i området 6-7 grader. Disse injiseres på vanlig måte før tunnelen kan bores frem til der gjenstår ca. 5 meter som da blir overlapp før neste injeksjonsomgang.

Injeksjonspakkerne må plasseres i tilstrekkelig avstand foran borhodet slik at injeksjonsmassen ikke finner utgang til tunnelen. Dette betyr at det må benyttes lengre injeksjonsstaver enn det som er vanlig i en sprengt tunnel.

Miksere og pumper plasseres på hensiktsmessig sted i bakriggen slik at tilførsel av sement og andre injeksjonsmidler blir lettest mulig.

Større forkastningssoner i berget kan være vanskelig å bore gjennom. En løsning er da å forinjisere disse for dermed å øke stabiliteten. Boreprosedyren for injeksjonshullene vil normalt være den samme som for vanntetting, men det kan være nødvendig å benytte andre injeksjonsmaterialer, avhengig av forholdene på stedet

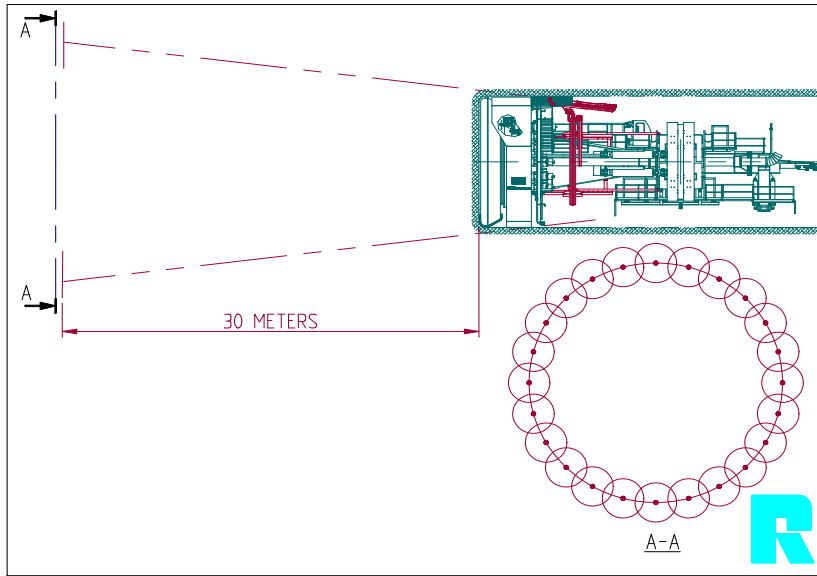


Fig. 2. Prinsipp for sonderboring/ injeksjonsboring

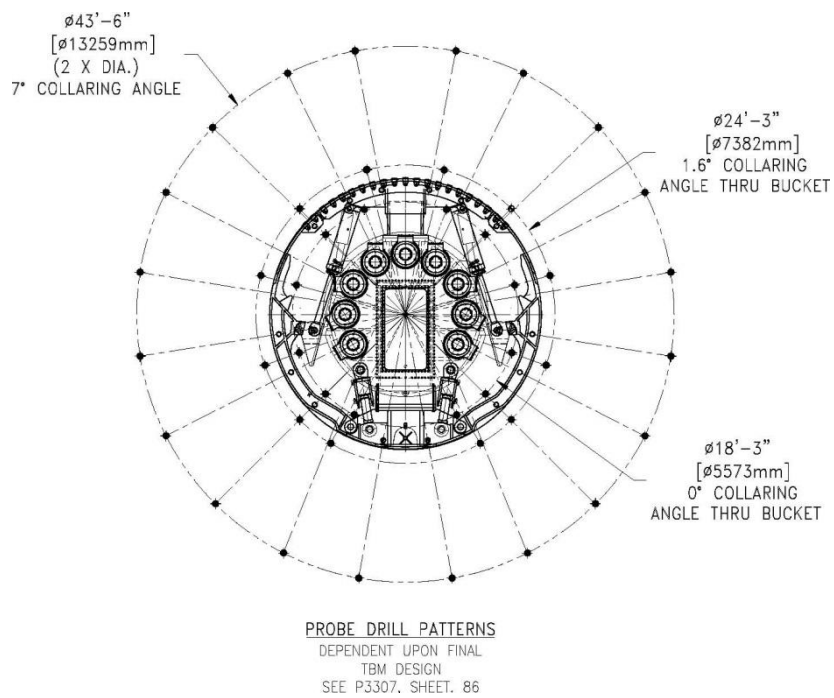


Fig 3. Mulig hullplassering

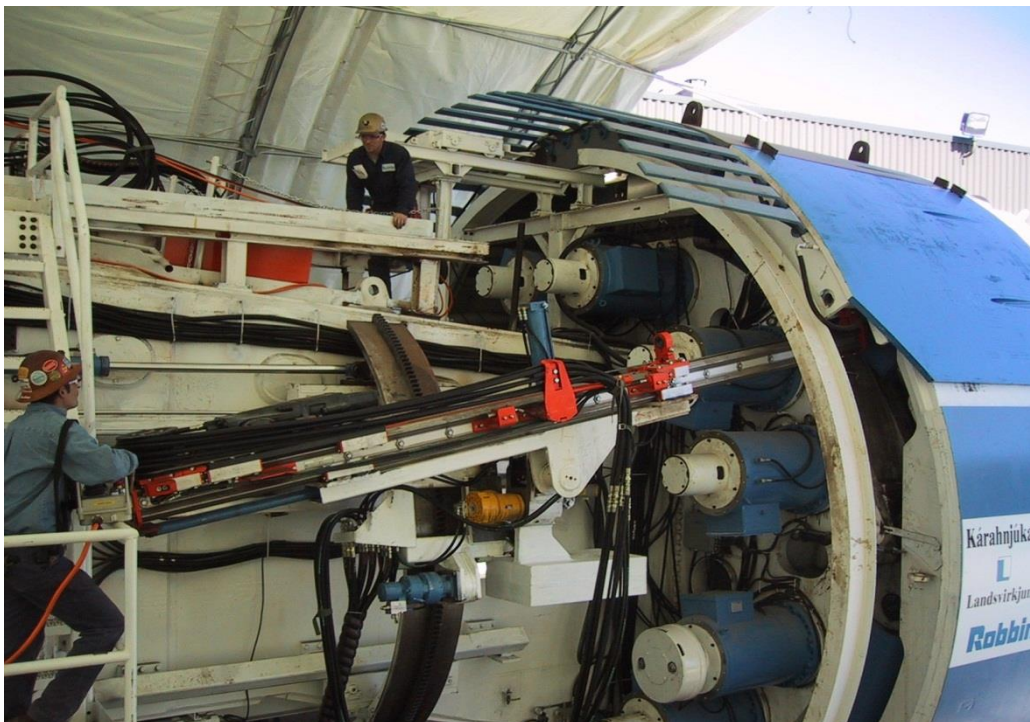


Fig. 4. Boretrustning for sonder-/ injeksjonshull

Arbeidstid

Det er regnet med 144 produksjonstimer per uke og 45 effektive arbeidsuker per år. Det betyr at det også ligger en viss reservetid i ferietiden. 4 arbeidslag vil da arbeide 3 skift av 8 timer pr døgn, 6 dager pr uke. Et arbeidslag vil til enhver tid være på friuke.

Grunnen til dette opplegget for TBM boring er:

- TBM boring er mer å sammenligne med en industriell virksomhet
- Arbeidsstedet ligger slik til at det ikke er bebyggelse i nærheten som forstyrres av anleggsvirksomheten,
- Det utføres ikke sprengningsarbeider

En skiftplan med $(3 \times 8 \times 6 =)$ 144 timer per uke innebærer at det arbeides i 12 dager og deretter 16 dager fri. Det er ikke kontrollert om en slik skiftplan vil kreve godkjenning av arbeidstakerorganisasjon og av myndighetene.

Det kan være aktuelt med flere produksjonstimer ($7 \times 24 = 168$) per uke dersom lovgivning og praksis åpner for dette. Helkontinuerlig drift på viktige samferdselsprosjekter i Europa er ikke uvanlig.

Det antas at Hardangerviddatunnelene blir utlyst som internasjonalt anbud, noe som vil tiltrekke seg store internasjonale entreprenører med TBM erfaring i arbeidsfellesskap med større norske riksentreprenører. Dette kan bl. annet utløse et ønske om å arbeide 7 dager i uken.

Arbeidssyklus

Tunneldrift

Det legges opp til å fullprofilbore en tunnallengde på 20m i hver syklus. På strekninger med fare for større vannlekkasjer bores det så 2 – 3 stk. eventuelt flere ca. 30m lange hull med 4 hydrauliske bormaskiner som er montert på en 360 grader ring like bak TBMs borhødestøtte. Dersom hullene er tørre eller det er ubetydelig innsig av vann fortsetter tunnelboringen ytterligere 20m. Ved innlekkasje av vann i hullene setter man i gang med forinjeksjon for en grovtetting.

Inspeksjon og skifte av kuttere samt rutinemessig og annet vedlikehold av TBM, bakrigg og båndtransportør foretas på planlagte vedlikeholds skift. Skjøting av belte i båndtransportørens magasin og forlengelse av høgspenkabel samt vanntilførselsledning og ventilasjonsduk kan også foregå i forbindelse med annet vedlikehold dersom dette passer med boret lengdeintervall (f.eks. 400m) for skjøting.

Arbeids- og permanentsikring av berget foregår under boresyklus, normalt uten at fremdriften hindres. Unntak er oppsetting av stålbuer, om nødvendig, i L1-området like bak borhodet. Da må tunnelboringen stanses. Supplerende bolting og betongsprøyting med sprøyterobot kan utføres i L2-området mellom TBM og bakrigg.

Oppbygging av veibane foretas i bakriggen mellom fremre og bakre hovedseksjoner. Det legges drenerør i tunnelbunnen med filterduk over. Samtidig legges et nødvendig antall trekkerør for kabler og trekkekummer monteres med jevne mellomrom. I bakriggen er der montert et sorteringsverk slik at de største steinfraksjonene kan sorteres ut og benyttes som vegbyggingsmateriale. Veibanen asfalteres med jevne mellomrom i et område bakenfor bakriggen. Det vil si at det kun er det øverste asfaltlaget som gjenstår når tunnelboringen og utstøpingen er avsluttet. Dette laget er ikke med i kostnadsberegningen.

Inndrifter

Ut fra ovennevnte borbarhetsdata (DRI, oppsprekking, osv.) er der beregnet en borsynk på 6,0 mm/omdreining og 1,91 m/time fore Ø10,8 m TBM.

Maskinutnyttelsen under boring er satt til 37,5 %. Midlere ukeinndrift for regulær boring inkl. injeksjon er beregnet til 95m/arbeidsuke. Selve boreperiodens lengde inklusive tid for sikring, noe injeksjon og annet stopp for 1 7000m = ca 46 måneder. I tillegg kommer leveringstid, montering av utstyret og demontering etter gjennomslag, samt div. opp- og nedrigging, vegbane og elektro. Total byggetid fra kontrakt med hovedentreprenør til åpning vil være ca. 7 år.

Ved å benytte 4 stk TBMer vil byggetiden bort imot halveres, men kostnadene vil bli høyere.

Rømningsveier og havarinisjer

Kravet til rømningsmuligheter i trafikk tunneler med to parallelle løp er at det minimum skal etableres evakuerings-/redningspassasje for hver 500m tunnel. Vegtekniske installasjoner som trafoer, koblingsskap for signalanlegg etc. kan plasseres i tverrforbindelsene.

Tverrforbindelsene mellom TBM-tunnelene kan drives med forsiktig sprengning eller alternativt med wiresaging. Wiresaging er en skånsom metode og er å foretrekke ut fra plasshensyn og arbeidsmiljø. I kostnadsanalysen er det forutsatt at tverrforbindelsene sprenges konvensjonelt.

De fleste tverrtunnelene kan drives mens TBM-driften pågår. Dette gjøres ved at man først injiserer berget i området. Tverrtunnelene sikres og eventuelt støpes ut etter behov.

Senteravstanden mellom de parallelle tunnellopene vil ligge på ca. 20-25m, dvs. en pilartykkelse på 10-15m.

Lengden på havarinisjen er 90m hvorav midtpartiet på 60m har full bredde på 3,5m. Bredden i partiene i begge ender av nisjen nedtrappes suksessivt fra full bredde til null i begge ender av nisjen.

Kostnader og byggetid

Kostnadene for TBM som drivemetode for ca. 17 km av Hardangerviddatunnelene er fremkommet basert på en resurskalkyle med input av resurser og tid (tidsplan).

Det er antatt at totalt arealbehov for riggområdet er tilgjengelig ved vestre tunnelpåhugg. Det er ikke tatt med eventuelle kostnader for kjøp/leie av grunn for rigg.

Det er ikke lagt inn noen form for byggherrekostnader eller usikkerhetsavsetninger i TBM kalkylene.

Byggetiden er beregnet fra dato for kontrakt for de byggetekniske arbeidene. I byggetiden inngår leveringstid for TBM-utstyr, tilrigging og etablering av startportaler i dagen, montering av TBM og bakrigg, klargjøring av båndtransportør, produksjonsanlegg for betong mm., samt all tunneldriving med tilhørende aktiviteter.

Alt av vegtekniske installasjoner i den fullprofilborede delen av tunnelen er tatt med i kostnads kalkylen. Dreneringsrør, filterduk og trekkekummer ligger inne i kostnadene.

Kostnader for sprengning av tverrforbindelser (evakueringspassasjer) og havarinisjer er tatt med i kalkylen. Likeså er kostnader for styring, regulering og overvåkningssystemer (**SRO**).

Ut fra disse forutsetningene fremkommer følgende kostnadstall:

Alternativ 1

Aktivitet	Pris pr m tunnel (2 løp, Ø10,8m + 6,0m)	Totalt for to løp i 1000NOK
Boring, injeksjon, sikring og ferdigstilling	Kr 254 228	4 321 880 *)

Alternativ 2

Aktivitet	Pris pr m tunnel (2 løp, Ø10,0m)	Totalt for to løp i 1000NOK
Boring, injeksjon, sikring og ferdigstilling	Kr 278 052	4 726 886 *)

*) Merk at dette beløpet gjelder for 2 x 17 km tunnel boret med TBM

I siste KVV rapport benytter Statens vegvesen (Svv) i sine beregninger en middels løpemeterkostnad på hhv. kr 210 000 og kr 70 000 for en T9,5 tunnel og en rømningstunnel. Med de usikkerheter (+/- 15% for alternativ 1 og 2) som ligger inne i beregningene er det godt samsvar mellom disse og de fra SvV. Likevel har SvV i sin KVV rapport kommet til at strekningen Ustaoset – Sysendammen skal koste 10,8 mrd. kr. Da denne strekningen stort sett består av den lange tunnelen som er med i alternativ 1 og 2 ovenfor må det avklares hvorfor SvV har mer enn doblet kostnaden. Selv om alternativ 1 og 2 ovenfor ikke inneholder byggherrekostnader, grunnverv, prosjektering og eventuell finansiering vil dette ikke på langt nær oppveie denne store forskjellen.

Byggetid

Hardangerviddatunnelen											
<i>Mulig fremdrift (kritisk linje)</i>						Alternativ 1, boring 17 km					
	Varighet i kal. mnd	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Reg.plan			★								
KS2			★								
Prekvalik	6		→								
ITT & Evaluering	11		→								
Kontrakt hovedentreprenør				★							
Bestille TBM *)				★							
Produsere TBM	12			→							
Forb.arb	8			→							
Hovedentreprise											
Rigg	4				→						
Boring tunnel	46					→	→	→	→	→	→
Nedrigg TBM	3									→	
SRO										→	→
Testing	4										→

For alternativ 2 blir byggetiden 2 – 3 måneder kortere da der er noe mindre etterarbeid i redningstunnelen.

Kontraktsmessige forhold

Internasjonalt anbud

Etter at den store vannkraftepoken i Norge med omfattende fullprofilboring av tunneler var over i 1992, opprettholdt et par av entreprenørene med TBM-erfaring sin kompetanse på fullprofilboring utover i 90-årene og frem til 2005 gjennom å påta seg oppdrag i utlandet enten som underentreprenører eller som partnere i arbeidsfellesskap. Fra å være verdensledende på TBM

boring i harde bergarter er TBM kompetansen hos norske entreprenører smuldret opp og nesten helt fraværende.

Hardangerviddatunnelene er så stor og interessant at det vil tiltrekke seg også de største og dyktigste utenlandske entreprenørene som besitter lang erfaringer med TBM i forbindelse med samferdselstunneler. Dette har blant annet vist seg på Follobaneprojektet og Ny Ulrikentunnel i Bergen.

Konvensjonell sprengning som drivemetode

Med et par unntak er alle vegtunneler i Norge drevet med konvensjonell sprengning. Dette gjør at norske entreprenører og byggherrer har god erfaring med denne metoden. Men sett på bakgrunn av lengden på Hardangerviddatunnelene og de miljømessige problemene med å etablere tverrslag og eller luftesjakter langs traseen er det antatt at tunnelene kun drives fra begge endepunkt. Således blir total lengde på tunnelstøffene opp til 8,5 km, noe som ligger i grenseland for hva som er praktisk mulig å gjennomføre. Dersom en ser for seg et omfattende ventilasjonsanlegg og mulige alternative utkjøringsmetoder for tunnelstein bør det likevel være mulig å drive Hardangerviddatunnelene med konvensjonell sprengning. Skal dette være et alternativ som vurderes videre må der gjøres ventilasjonsberegninger og en grundig fremdriftsvurdering.

Et grovt overslag viser at en kan se for seg en total byggetid på knappe 5,5 år. Dette basert på følgende:

Rigging, tunnelpåhugg og andre forberedelser	3 mnd
Driving av tunnel, 8 500 m x 2	40 mnd
Innredning, vann og frostsikring	12 mnd
SRO	6 mnd
Testing og prøving	<u>3 mnd</u>
Totalt	64 mnd

Når det gjelder kostnader må en anta at Statens vegvesen (Svv) har et godt grunnlag for å vurdere disse og det er således ikke gjort noen kostnadsberegninger i denne rapporten.

Stabekk, 20.10.2016

Thor Skjeggedal