



Statens vegvesen

Geologi

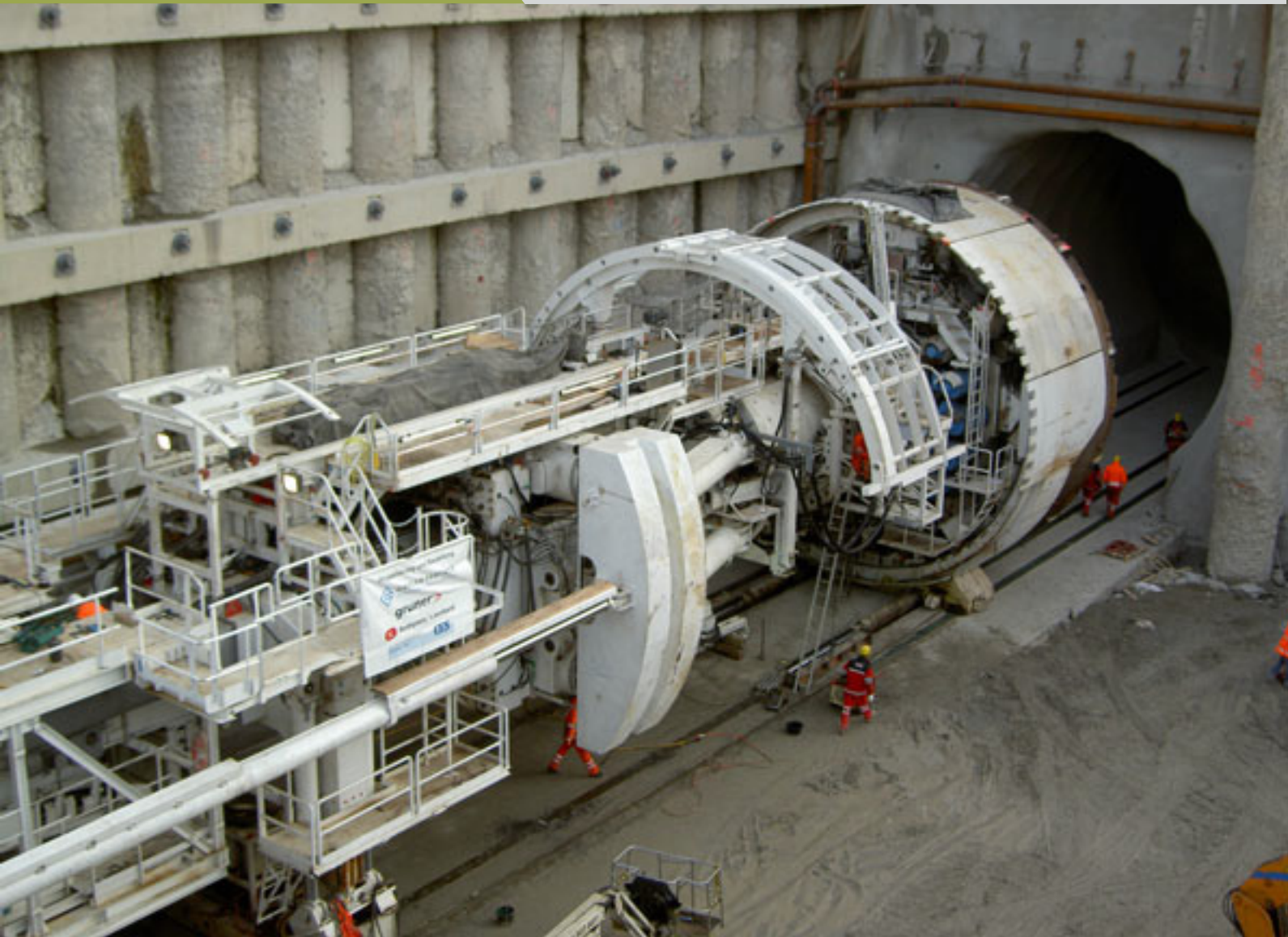
Studietur 2008

TBM-prosjekt Hallandsåsen og Gotthard

Oppdrag

Ressursavdelinga

Nr. 2009213264-001



Region midt
Ressursavdelinga
Vegteknisk seksjon
2009-10-01



Statens vegvesen

Oppdragsrapport

Nr. 2009213264-001

Labsysnr.

Region midt
Ressursavdelinga
Vegteknisk seksjon

Geologi

Studietur 2008
TBM-prosjekt Hallandsåsen og Gotthard

www.vegvesen.no

Studietur 2008
TBM-prosjekt Hallandsåsen og Gotthard

UTM-sone	Euref89 Ø-N	Oppdragsgiver:	Antall sider:
33		Studietur TBM	19
		Dato:	Antall vedlegg:
		2009-10-01	0
Kommune nr.	Kommune	Utarbeidet av (navn, sign.)	Antall tegninger:
		Torkild Åndal, Stig Lillevik og Ine Gressetvold	0
Papirarkivnummer		Seksjonsleder (navn, sign.)	Kontrollert
		Per Olav Berg	inegre/stigli
Sammendrag			

Tre ingeniørgeologer i Region midt ønsket å lære mer om TBM, da det er lenge siden denne drivemåten ble brukt i Norge. Vi var spesielt interessert i ny teknologi, framdrift og økonomi, og under hvilke forhold boring av tunnel kunne være aktuelt.

Under studieturen har vi besøkt tunnelanleggene Hallandsåsen i Sverige og Gotthard Base Tunnel i Sveits. Begge er jernbanetunneler som bores med diameter omkring 10 m. Maskintypene ved begge anleggene vi besøkte egner seg for norske bergarter.

En maskin av den typen som benyttes i Hallandsåsen er mer egnet for generelt dårlig bergkvalitet, hvor det er behov for tung sikring. Siden maskinen er avhengig av elementene til skyve fra mot, vil disse føre til unødvendig høy sikringskostnad i normalt godt berg.

Maskinene ved Gotthard Base Tunnel har imidlertid den begrensningen at de ikke kan benyttes i brede svakhetssoner slik som vanligvis vil forekomme i undersjøiske tunneler.

I undersjøiske tunneler ville det vært gunstig å benytte en maskin som både kan skyve fra direkte mot berget via grippere (slik som i Gotthard) og som på strekninger med svakhetssoner kan skyve fra mot betongelementer som settes sammen like bak borhodet (slik som i Hallandsåsen).

Gjennomsnittskostnadene i Sveits antas å ligge omkring 360 000 NOK/meter inkl. betonglining og installasjoner, noe som er 4-5 ganger kostnadene ved konvensjonell tunnelbygging i Norge. For norske vegtunneler vil en kostbar lining tilsvarende den som benyttes i Sveits ikke være aktuell. Selv med en enklere løsning ville enhetsprisen likevel vært svært høy sammenlignet med kostnadsnivået for konvensjonelle tunneler i Norge. Ut fra de opplysningene vi har innhentet, og vurderingene av disse, antas at kostnadene ved eventuell TBM-tunnel med samme diameter under norske forhold ville vært minst 2 ganger kostnaden for konvensjonell driving.

I Sverige antas tilsvarende kostnader å utgjøre 480 000 NOK /meter. Dette er kanskje 3 ganger kostnadene for konvensjonell driving i dårlig berg i Norge. Vi antar at årsaken til så høye kostnader per løpemeter i stor grad skyldes vanskelig injeksjon og kanskje også en konservativ injeksjonfilosofi.

Emneord:

studietur, TBM, tunnelbormaskin, tunnel, ingeniørgeologi

Distribusjonsliste	Antall	Distribusjonsliste	Antall
Arkiv vegteknisk	1		
Biblioteket Vegdir	1		

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	BAKGRUNN	3
1.1	Historie TBM i Norge	3
1.2	Søknad	3
1.3	Forventninger	5
1.4	Turen	5
2	HALLANDSÅSEN	6
2.1	Historie	6
2.2	Besøket	6
2.3	Geologi	7
2.4	Design	8
2.5	TBM	8
2.6	Omgivelser/Miljø	10
2.7	Framdrift og økonomi	11
3	ALPTRANSIT, GOTTHARD BASISTUNNEL	12
3.1	Historie	12
3.2	Besøket	12
3.3	Geologi	13
3.4	Design	14
3.5	TBM – Tekniske data	15
3.6	Omgivelser/Miljø	18
3.7	Framdrift og økonomi	18
4	ER TBM AKTUELT I NORGE?	19

1 BAKGRUNN

1.1 Historie TBM i Norge

I 1972 ble tunneldriving med tunnelboremaskin (TBM) første gang tatt i bruk i Norge til driving av kloakktunneler i Trondheim. Diameteren var 2,3 m og det ble drevet omtrent 6 km med TBM. Mot slutten av 70-årene ble TBM benyttet ved driving av overføringstunneler og trykksjakter til vannkraftanlegg. Vanlig tunneldiameter var omkring 4 meter. I løpet av 80-tallet ble det bygget flere tunneler med TBM, og diameteren økte. Det ble også bygget to vegtunneler, Fløyfjellstunnelen i Bergen og Svartistunnelen i Nordland. Borediameter for disse var 6,8 m, og det ble nødvendig å strosse i vegger for at tverrsnittet skulle bli tilfredsstillende. Siste gang tunnelboremaskiner ble benyttet ved tunnelanlegg i Norge var tidlig på 90-tallet, i forbindelse med vannkraftutbygging ved Svartisen og i Meråker.

De første fullprofilborede tunnelene ligger i "svake" bergarter som grønnstein/grønnskifer og fyllitt/glimmerskifer, men etter hvert som maskinene ble kraftigere ble det også boret tunneler i gneisbergarter.

I løpet av de ca. 20 årene som fullprofilmaskiner ble benyttet ble det stadig satt verdensrekorder i ukeinn drift. Siste gang ved Meråkeranleggene, da rekorden ble satt til mer enn 400 meter per uke og 1 029 meter på en måned.

1.2 Søknad

Tre ingeniørgeologer i Region midt ønsket å lære mer om TBM, da det er lenge siden denne drivemåten ble brukt i Norge. For vegtunneler er det etter vår kunnskap bare drevet bare to tunneler med denne metoden.

Vi var spesielt interessert i ny teknologi, framdrift og økonomi, og under hvilke forhold boring av tunnel kunne være aktuelt.

Søknad ble sendt inn for året 2007, men ble da ikke innvilga. Året etter, 2008, fikk vi napp, og tror det henger sammen med det store fokuset det har vært på tunnel og tunnelsikkerhet i den siste tida. Se utklipp nedenfor (Vegen og vi nr. 2007/20, 2008/01 og 2008/02).

- Paradoksalt TBM-fravær

- Det er nesten et paradoks at det ikke er noen pågående TBM-prosjekter i Norge, mens fullprofilboring foretrekkes som drivemetode i 70-80 prosent av internasjonale tunnelprosjekter.

Kjell Wold

OSLO: Det sier forskningsleder Eivind Grøv (bildet) ved SINTEF Byggeforsk i Trondheim. Han er forbauset over at en internasjonalt velbrukt og anerkjent tunneldrivemetode, som ble utviklet for bruk i såkalt "hard rock" i Norge på 70- og 80-tallet i store vannkraftprosjekter, ikke lenger brukes her hjemme. Meråkerprosjektet (vannkraft) tidlig på 90-tallet var det siste i Norge der TBM ble brukt.

Passer også i Norge

- Det er ikke tvil om at TBM-drivemetoden passer best i løsmasser og svake bergarter, som det er ganske mye av i andre geologiske områder enn nord i Skandinavia. Men selv om mye berg i Norge er

hardere enn mange steder i Europa, viste hard rock- teknologien som ble brukt på de store vannkrafttunnelene på 70- og 80-tallet at TBM-metoden fint kan brukes på mange tunnelprosjekter også i Norge, sier Grøv.

- I Norge er vi flinke til å bruke berget til mange formål, ikke bare til vannkraft- og vegtunneler, men også til andre typer tunneler og underjordsanlegg. For mange prosjekt vil konvensjonell boring og sprengning være eneste alternativ. Men det er viktig for de prosjekter der TBM kan være aktuelt, at det vurderes i en tidlig fase i prosjektene, sier Eivind Grøv. Han mener mange tunneler ikke er problem-løserne, men mulighetsskapere. I et slikt perspektiv kan TBM vurdert tidlig gi muligheter og løsninger som ikke oppnås ved konvensjonell tunneldriving.

TBM med fortrinn

Norge var verdensledende på TBM for 20-30 år siden. Det er vi ikke lenger nå. Det beklager Grøv på vegne av de norske miljøene som utviklet drivemetoden. Han synes det absolutt bør være plass til bruk av fullprofilboring i entreprenormarkedet igjen i Norge nå som

anleggsbransjen opplever høykonjunkturer. Men han påpeker at det gjelder prosjekter der TBM-ens fortrinn kan utnyttes.

- Det er også et annet aspekt ved dette: Dersom vi skal eksportere norsk tunnelteknologi til utlandet er vi også nødt til å vise at vi behersker faglig ulike typer drivemetoder. Markedet vi opererer i blir i stadig større grad preget av internasjonale aktører, sier Grøv.



Større maskiner

- I dag bygges det både større og mer fleksible TBM-maskiner enn da vi begynte å anvende metoden i Norge.

Kjell Wold

OSLO - Ny teknologi og større maskiner øker bruksområdene for TBM-teknologien. Det er viktig at anleggsbransjen ser denne muligheten, selv om jeg er klar over at det er store førstegangs investeringer forbundet med dette, sier SINTEF-forskeren. Eivind Grøv tror det er viktig at de største byggherrene som Statens vegvesen og Jernbaneverket bør gå foran og vurdere denne drivemetoden som alternativ på et tidlig tidspunkt i utviklingen av sine prosjekter.

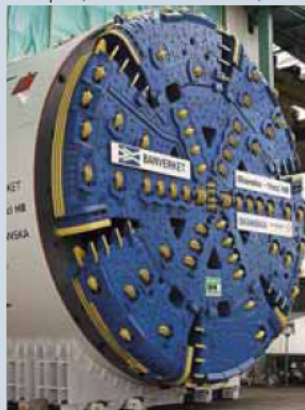
Tankefors

Grøv er også bekymret for hvorvidt vi kan opprettholde en tilstrekkelig fagkompetanse i det norske anleggsmiljøet når bruken av TBM har vært så fraværende som den har så lenge. SINTEFs laboratorium som tester geolo-

giske materialers slitasegenskaper har stort pådrag av testing for prosjekter i utlandet, men i de senere årene er det lenge mellom hver gang det har kommet tilsvarende forespørsler fra prosjekter i Norge.

- Det er dessverre ensbetydende med at metoden heller ikke vurderes som alternativ. Så kan vi gjerne spørre oss selv hva det skyldes, sier Eivind Grøv.

TBM: En fullprofilmaskin som dette brukes nå på flere storprosjekt i Sverige og andre steder i Europa. (Foto: Herrenknecht)



Figur 1: Utklipp fra Veggen og vi.

1.3 Forventninger

På forhånd hadde vi en del forventninger til tunneldriving med TBM ved prosjektene vi besøkte. Disse var:

- Lave rystelser og derved mulighet for døgnkontinuerlig drift i bebygde områder
- Høy inndrift som følge av drivemetode og døgnkontinuerlig drift
- Lavere sikringskostnader i forhold til konvensjonell tunneldriving (må sees i sammenheng med sikringsfilosofi i landet)

Spesielt anleggsbesøkene gledet vi oss til. Først og fremst ønsket vi oss orientering om prosjektene (planer, info) og bakgrunnen for disse, samt at vi skulle få anledning til å stille spørsmål. Videre at vi skulle få anledning til tunnelbesøk for å se tunnelboremaskinen.

Det var også forventninger til at vi kunne få erfaringsgrunnlag og kostnadstall som ga håp om at tunnelbygging med TBM kan være alternativ for vegtunneler i framtida.

En annen viktig effekt er teambygging blant ingeniørgeologene i seksjonen vår.

1.4 Turen

I en ellers hektisk hverdag for oss ingeniørgeologer fikk vi omsider kommet oss på tur i slutten av november 2008, 24. november – 28. november.

Deltakere på studieturen var oss tre faste ingeniørgeologene i Region midt:

- Ine Gressetvold
- Stig Lillevik
- Torkild Åndal

Turen gikk via København til Båstad i Sverige, der vi bodde på et sted som rett og slett var et ”sommerställe”. Tennissport var tydeligvis det mest populære, og den røde sanda fra tennisbanene ved hotellet hadde lagt sine spor på frontruta i løpet av den første natta. Det var kaldt og blåste mye. Vi kjørte leiebil fra København til Båstad og Hallandsåsen. Hele den første dagen besøkte vi **Banverket** sitt prosjektkontor og tunnelprosjekt i Hallandsåsen. Etter anleggsbesøket kjørte vi tilbake til København, og opplevde julestemning i København og fikk kjørt førerløs metro fra Kastrup til og fra byen. Vi hadde god hjelp av GPS-en på mobilen da vi skulle finne hotellet som lå i ei sidegate i Kastrup...

Fra København gikk turen med fly til Basel, en flyplass der vi kunne velge å gå ut i tre forskjellige land! Men vi skulle til Sveits, og leide bil og kjørte til Luzern. Dagen etter gikk ferden videre til Erstfeld, hvor informasjonssenteret til jernbaneprosjektet **AlpTransit** ligger.

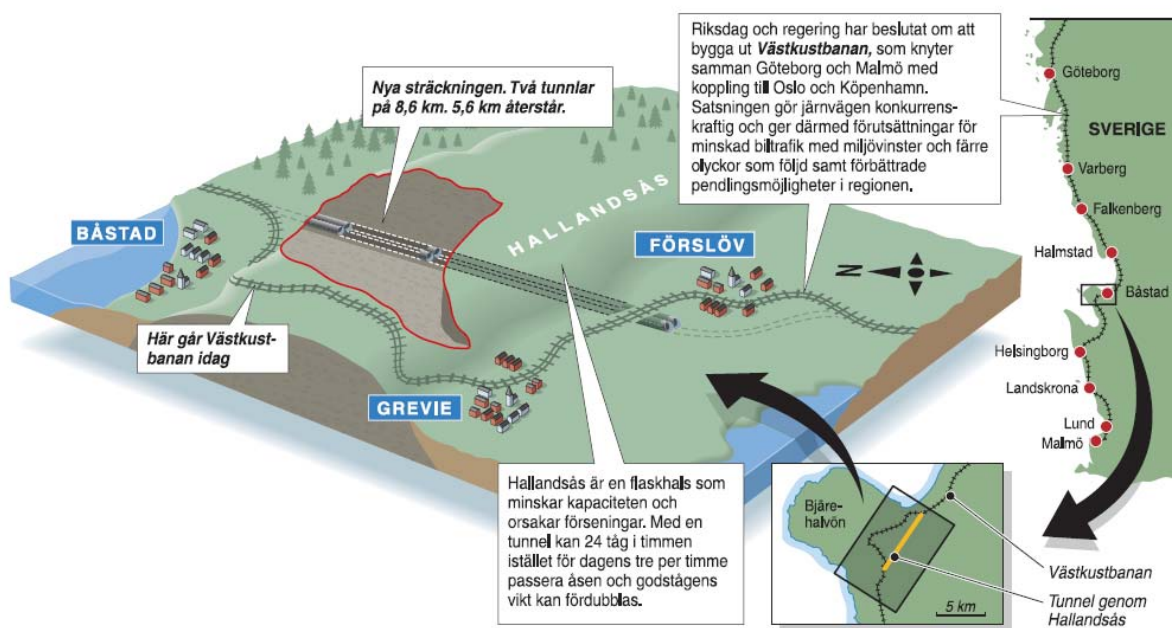
På denne kjøreturen så vi også mange imponerende fjell-/rassikringsanlegg, så det kan hende at neste studietur vil være til samme sted for nærmere informasjon om sikringsfilosofi og tekniske data for slike tiltak. Heimturen gikk med fly fra Basel om morgenen den 28. november.

2 HALLANDSÅSEN

2.1 Historie

Tunnelbyggingen gjennom Hallandsåsen er en del av utbygginga av Väst kustbanan mellom Göteborg og Lund. Med en tunnel øker kapasiteten for både person- og godstrafikk. Det gir også mulighet for å flytte mer trafikk fra veg over på den mer miljøvennlige jernbanen.

I 1991 tok den svenske Riksdagen en beslutning om å bygge Hallandsåstunnelen. Tunnelbygginga starta i 1992, men i 1997 ble prosjektet stoppet pga. miljøproblemer. En tredjedel av tunnelen var da bygd. I 2003 startet tunnelbygginga opp igjen.



Figur 2: Oversiktskart Hallandsåsen.

2.2 Besøket

Vi ble tatt imot utrolig bra av Banverket som er byggherre for Hallandsåstunnelen. Representantene vi møtte var Kenneth Rosell (chef prosjektering og tilstand) og Ulf Angberg (informasjonschef), som begge hadde satt av hele dagen til oss.

Først var det omvisning i besøkssenteret i Förslöv, med fine modeller og film, samtidig som vi hele tiden hadde anledning til diskusjon og spørsmål.

Før tunnelbesøket måtte vi ”HMS-klareres” ved å se en infofilm. Vi ble kjørt inn i anlegget via et tverrslag omtrent midt på tunnelen. Ved krysset mot hovedløpene måtte anleggsvilen parkeres, og herfra var det vel én km spasertur langs en gangbane som var montert i veggen på østre tunnelløp. Videre gikk vi 250 meter gjennom hele tunnelboremaskinen helt fram til borehodet. Hele maskinen er nærmest som en fabrikk. På tur fram til maskinen kunne vi observere injeksjonsarbeider som foregikk bak stuff. Dette var kontaklinjeksjon mellom betongelementer og berget. Til dette formålet var det bygget injeksjonsutstyr på et eget togsett.

Tunnelen vi besøkte var under driving nordover i retning Båstad, og var kommet mer enn halvveis i dette løpet. (I det motsatte løpet var tunnelboring ikke påbegynt, men 40 meter

konvensjonell driving var utført der tverrslaget kommer inn, samt 300 m gjennom en svakhetssone i nord og 1100 - 1700 m fra alle tunnelpåhuggene). Under besøket framme ved tunnelboremaskinen fikk vi treffe en av "sjefene" i Skanska-Vinci (franskmann) Han tok seg god tid til å svare på spørsmålene vi hadde og til å diskutere tunneldriving med TBM.

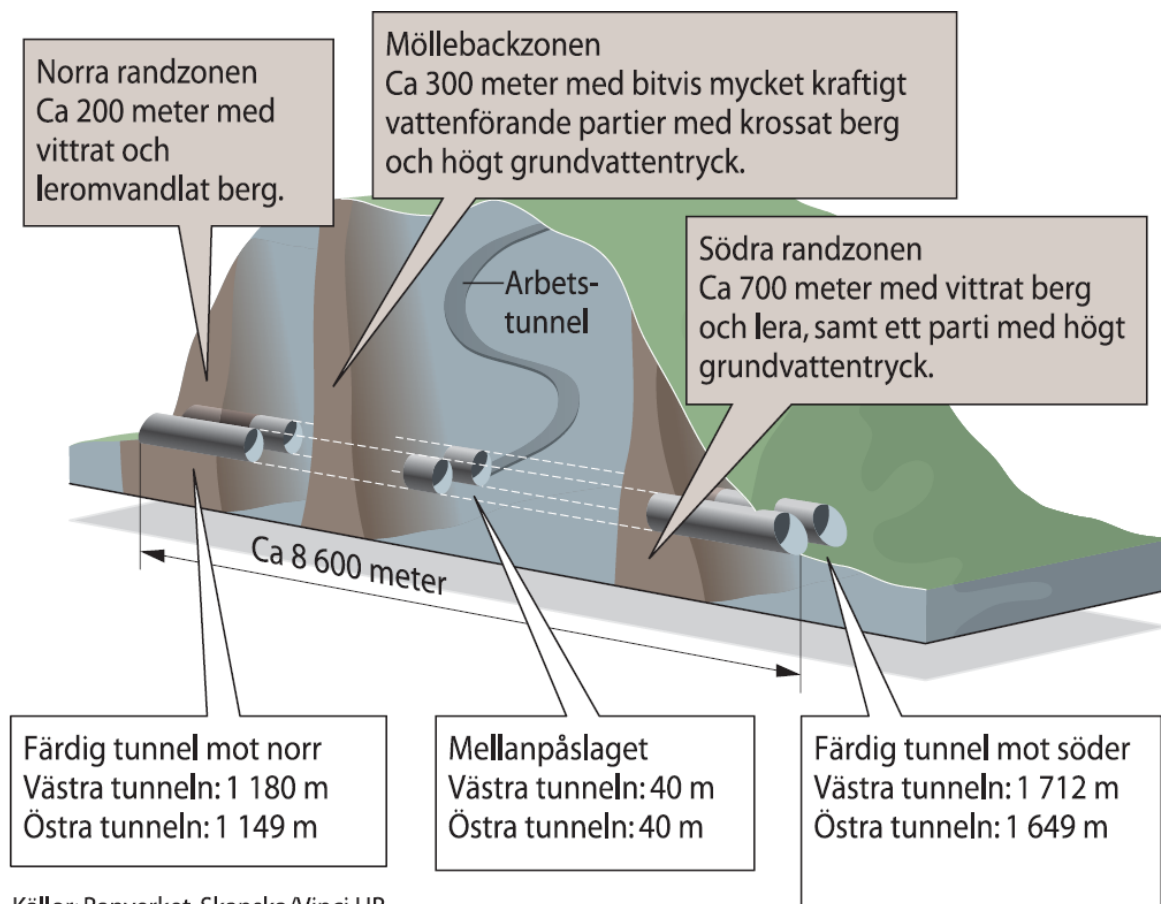
Uheldigvis hadde de stopp på maskinen akkurat den dagen, sånn at vi fikk ikke sett at den virkelig bora.

2.3 Geologi

Hallandsåsens varierende geologi og store mengder grunnvann, gjør tunnelbygginga komplisert. Tunnelen bygges ved hjelp av en tunnelbormaskin og tettes med et betongrør (lining).

Hallandsåsen består av varierende berg, stedvis av meget dårlig kvalitet. Det dårligste berget langs tunnelstrekningen finnes i Möllebacksonen, et omtrent 300 meter bredt parti, se illustrasjon. For å gjøre TBM-ens boring gjennom området så sikker som mulig, forsterkes og stabiliseres berget ved å fryse enkelte deler, og andre deler forsterkes med sement.

For å fryse berget bores det et antall horisontale rør inn i det området som skal fryses. I disse sirkuleres en saltløsning som holder -40 °C. Metoden kan sammenliknes med nedfrysning i en fryseboks.



Figur 3: profil gjennom Hallandsåsen.

2.4 Design

Fakta om hovedtunnelene:

- Lengde: 2 x 8,6 km
- Innerdiameter lining: 9,04 meter
- Ytterdiameter lining: 10,12 meter
- Ytterdiameter boret tunnel: 10,6 meter
- Totalt antall tverrtunneler: 18 stk.

Tunnelliningen fungerer som permanent sikring for hovedtunnelene. I tillegg gjør de det mulig å gjennomføre vanntetting ved hjelp av kontakthinjeksjon. Liningen monteres like bak borhodet, og er også nødvendig for å ta opp skyvekraften fra tunnelboremaskinen. (Bergkvaliteten i tunnelen er så dårlig at det ikke ville vært mulig å overføre skyvekraften direkte på tunnelveggene med vanlige såkalte "grippere").

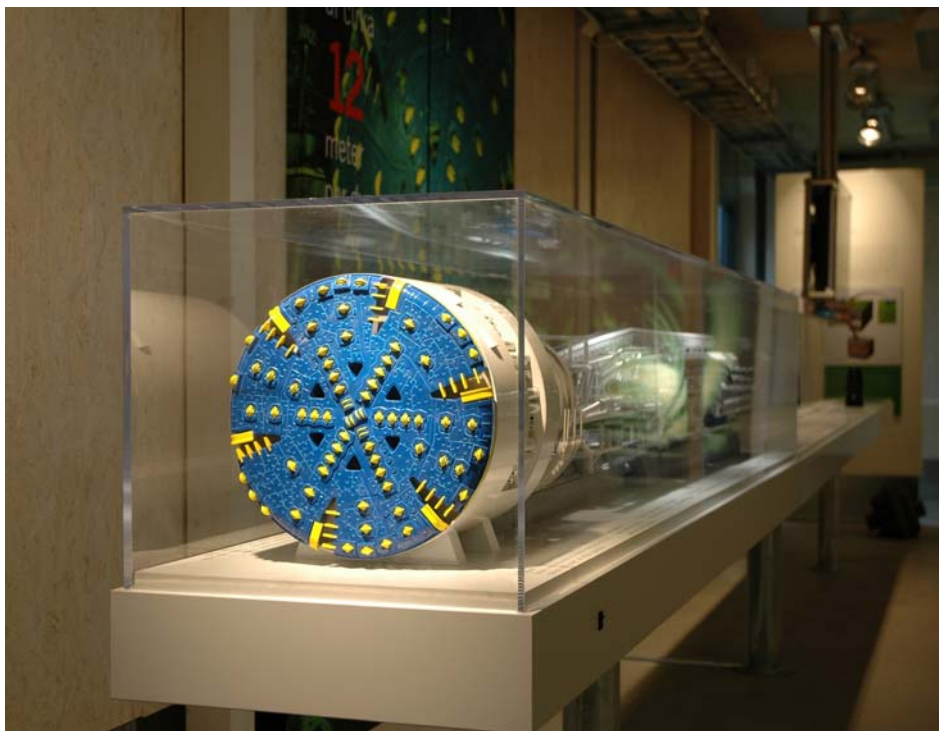
2.5 TBM

Maskintypen som benyttes i Hallandsåsen er designet for tunneldriving i berg av dårlig kvalitet hvor det er behov for tung sikring. Maskinen er avhengig av betongelementer som monteres like bak borhodet, for å ha noe å skyve fra på. For at elementene skal ha god kontakt mot berget pumpes det inn singel i spalten mellom tunneloverflaten og elementene, og senere sementinjiseres massene gjennom utsparringer i elementene. Sementinjeksjon til ettertetting mot vannlekkasjer gjøres gjennom samme hull.

Det foretas også systematisk forinjeksjon gjennom borhull som bores forbi stoffen, og i henhold til svensk teori og praksis skal injeksjonstrykket holdes lavere enn 30 bar. Forinjeksjonen har vist seg lite vellykket ved dette anlegget.

Fakta om tunnelbormaskinen:

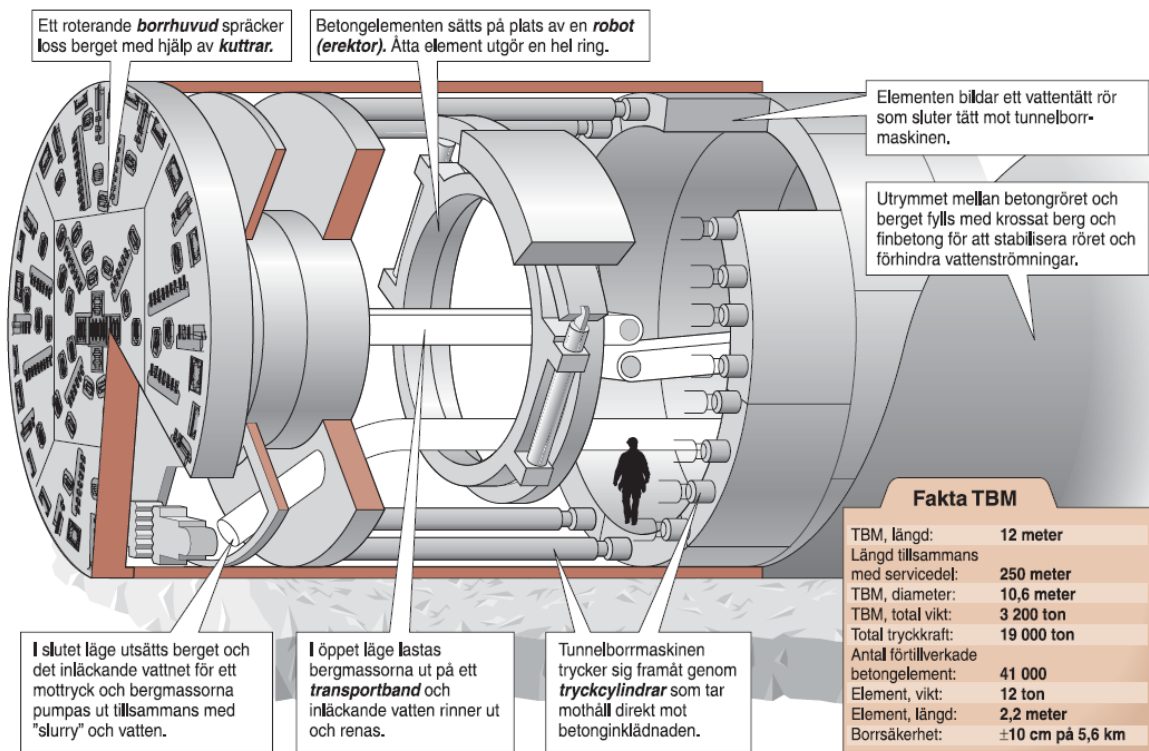
- Lengde borhode: 12 meter
- Lengde med servicedel: 25 meter
- Vekt borhode: 218 tonn
- Totalvekt TBM: 3 200 tonn
- Diameter på borhode: 10,6 meter
- Trykkraft: 19 000 tonn
- Hastighet: maks 12 meter/dag i bra berg
- Borhodets dreiemoment: 26MNm
- Borhodets rotasjonshastighet: 0 – 5 rpm
- Antall kuttere på borhodet: 70 stk
- Installert effekt på borhodet: 4,2 MW (5 700 hestekrefter)
- Elforbruk: Opp til 8 577 kW (21 000 Ampere ved 400 Volt)
- Bornøyaktighet: +/- 10 cm på 5,6 km tunnel
- Antall personer i et TBM-skift: 16 personer
- Kostnad: ca. 500 millioner SEK
- Maksimal inndrift: 22 meter/døgn



Figur 4: Modell av TBM som benyttes i Hallandsåsen.

Tunnelbormaskinen (TBM)

Det finns olika typer av tunnelbormaskiner anpassade för olika sorters berggrund. Den borrar som ska användas vid Hallandsås är en kombination av dessa. Inom loppet av ett dygn kan den förvandlas från en öppen borrar för hårt berg till en sluten borrar för vittrat eller vattenförande berg. Maskinen är vattentät vid vattentryck upp till 15 bar, dvs motsvarande 150 meters vattendjup.



Källor: Banverket, Skanska/Vinci HB

GRAFIK: TOMAS ÖHRLING/ INFO

Figur 5: Skisse av TBM som benyttes i Hallandsåsen.



Figur 6: Foto som viser kraftoverføring fra TBM mot betongelementer

Fakta om lining

Antall element som skal produseres: ca. 41 000 stk

Vekt av hvert element: 12 tonn



Figur 7: Foto av betongelement.

2.6 Omgivelser/Miljø

Kontroll og oppfølging av tunnelbyggingas påvirkning av omgivelsene er en sentral og viktig del av prosjektet. Det fins omtrent 1 000 kontrollpunkt for oppfølging av vann, natur og økologi.

For å unngå påvirkning på grunnvann som kan skade omgivelsene (naturmiljø og bebyggelse) er det gjennom en miljødom gitt tillatt innlekkasje i tunnelen. Denne tillater 100 liter/s i byggefasen som en middelerdi for 30 døgn. Dette kravet har gitt begrensninger i forhold til inndrift i tunnelen. For ferdig bygd tunnel tillates 33 liter/s.

Alt avløpsvann føres i separate rør helt ut til kysten.

Beboere i området over tunnelen er alle blitt tilknyttet det kommunale vannveket, da bygging av tunnelen periodevis vil senke grunnvannsstanden noe, selv om grunnvannsstanden skal opprettholdes etter ferdig bygd tunnel. De fleste som bor i området hadde egne brønner før prosjektet startet.

Vibrasjoner fra tunnelbormaskinen, som driver dag og natt, har påvirket en del av beboerne over tunnelen, og mange har fått tilbud om å bo andre steder under drivinga.

2.7 Framdrift og økonomi

Tunnelbygginga starta i 1992. Fem år senere, i 1997, stoppet Banverket og Skanska prosjektet på grunn av problemer med vanninnlekkasje og tetningsmiddelet Rhoca Gil. En tredjedel av tunnelen var da bygd. Idag beregnes tunnelen å være klar for togtrafikk i 2015.

Tidsplan

Etter byggestoppen, mellom 1997 og 2003, ble det lagt ned store ressurser på sanering, tettningssinnsatser og miljøarbeid. Banverket gjorde, på oppdrag frå Regjeringen, omfattende utredninger om mulig teknikk, miljøeffekter og kostnader for å forsette tunnelbygginga. I 2001 ga Regjeringa og Riksdagen klarsignal til å fortsette tunnelbygginga. I november 2002 kontraherte Banverket med konsortiet Skanska-Vinci for videre tunelbygging. I 2003 fikk prosjektet ”bygglov” og ”miljødom”. Forberedelser for å ta opp tunnelbygginga kunne dermed påbegynnes. Tunnelbormaskinen Åsa begynte å bore i 2005.

I dag er knappe 60 % av tunnelen bygd. I hht. tidsplanen skal tunnelen være klar for togtrafikk i 2015.

Kostnader

Det opprinnelige budsjettet for tunnelen var ca. SEK 900 millioner. Budsjettet ble revidert rett etter byggestart i 1992 og ble da på SEK 1,2 milliarder.

Fra 1992 til 2002 ble det brukt ca. SEK 2,1 milliarder i prosjektet.

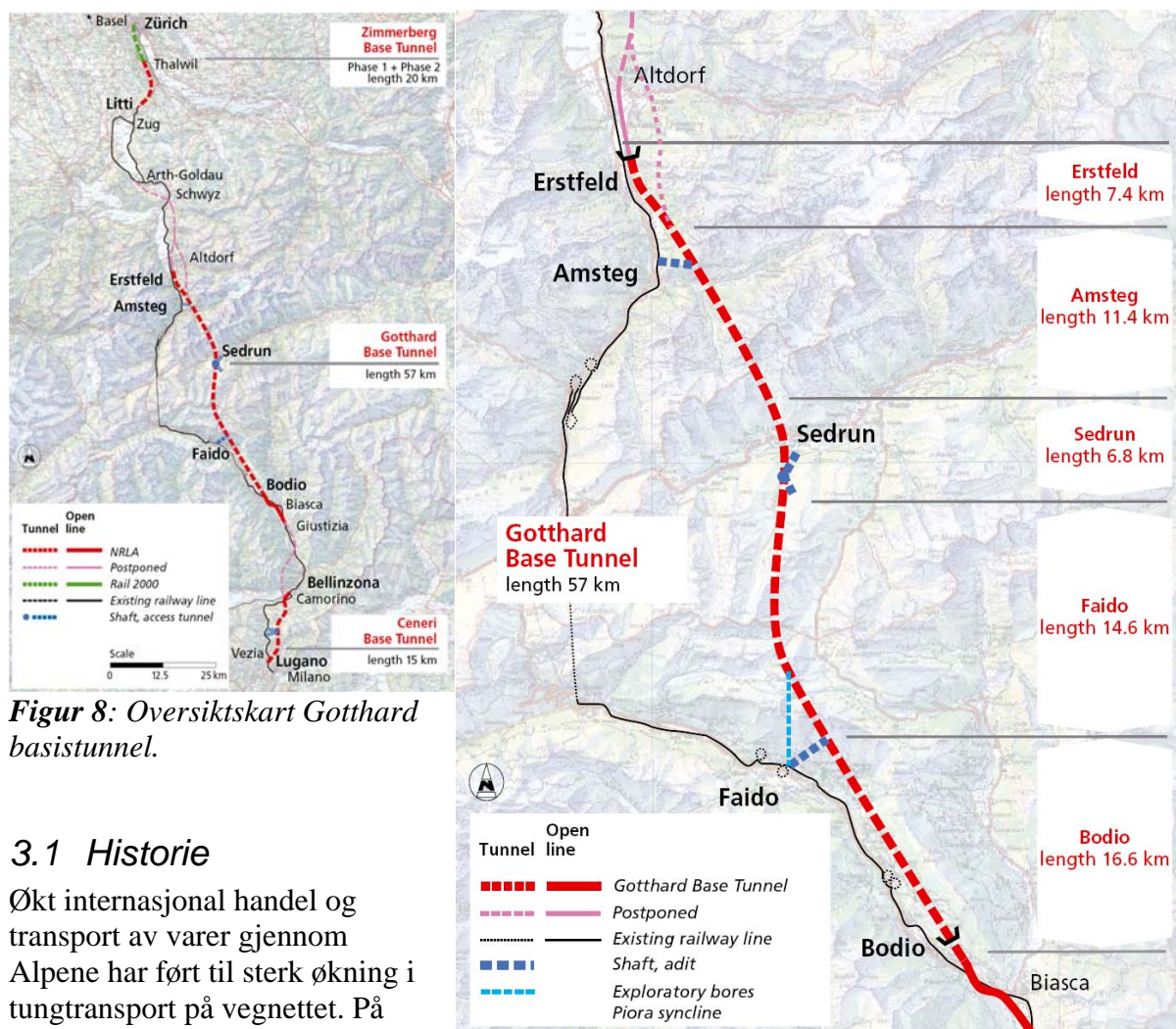
Prosjektet har i dag et budsjett som inkluderer kostnader fra og med omstarten i 2003 fram til ferdigstillelse av tunnelene. Siden omstarten i 2003 utføres tunneldrivinga/tunnelbygginga med en ny teknisk metode. Tunnelen bores med en skjoldet tunnelbormaskin og tettes med vanntett betongrør, såkalt ”lining”.

Budsjettet fra omstarten til ferdigstillelse i år 2015 er SEK 8,4 milliarder (2008).

Dette innebærer at prosjektets totalkostnad beregnes til SEK 10,5 mrd (2008-kroner).

Det bygges 2 stk tunneler a 8,6 km, dvs. 17,2 km ferdig tunnel (+tverrslag osv), men det blir altså **610 000 SEK/m** ferdig tunnel!

3 ALPTRANSIT, GOTTHARD BASISTUNNEL



Figur 8: Oversiktskart Gotthard basistunnel.

3.1 Historie

Økt internasjonal handel og transport av varer gjennom Alpene har ført til sterk økning i tungtransport på vegnettet. På grunn av stigningsforholdene har dagens jernbane for liten kapasitet i forhold til behov. Dagens bane stiger fra ca. 500 m.o.h. til omkring 1 150 m.o.h.. Det nye tunnelprosjektet med 57 km to-løps tunnel så godt som eliminerer denne stigningen og reduserer banestrekning med 40 km. Derved oppnås mer enn fordobling av kapasiteten når en tar hensyn til antall tog per dag samt total vekt. Med denne kapasitetsøkningen samt innføring avgifter på tungtrafikken (som bidrar til finansiering av prosjektet) regner en med at tungtrafikken på motorvegene kan reduseres til det halve.

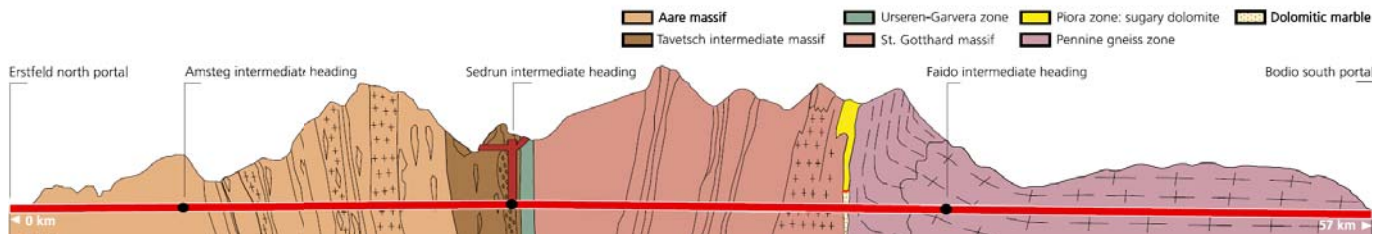
3.2 Besøket

Før vi startet turen gjorde vi avtale med prosjektets informasjonskonsulent Monica Rohrer som arrangerte et informasjonsmøte med en av prosjektlederne Paul Simmon. Han møtte oss i prosjektets informasjonssenter og viste en powerpoint-presentasjon, og vi fikk anledning å stille spørsmål underveis. Presentasjonen ble holdt på tysk, men det viktigste var likevel forståelig for oss og vi fikk også formulert flere relevante spørsmål.

Etter møtet med Simmon tilbrakte vi flere timer i prosjektets informasjonssenter hvor det var utstillinger og filmklipp fra anlegget. Her fantes planer for hele prosjektet, modeller for drive- og sikringsmetoder, store plansjer med oversikt over geologi og bergartsprøver. Det var ikke anledning å komme inn i tunnelene da det er stor etterspørsel og lang ventetid for slike besøk.

3.3 Geologi

Det er stor variasjon i bergarter langs traseen; fra svake skiferbergarter/fyllitter til harde granitter. Mest vanlig er forskjellige varianter av gneis, og i tillegg forekommer amfibolitt og dolomitmarmor, se figur.



Figur 9: Geologisk lengdeprofil Gotthard basistunnel.

Nøkkeldata

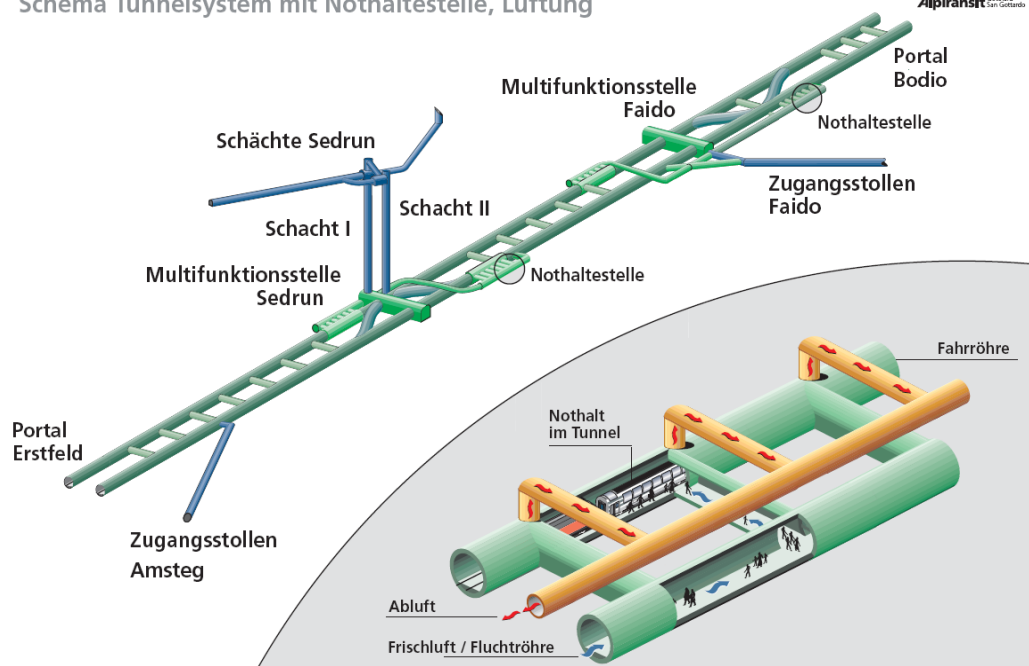
Prosjektnavn: Gotthard Base Tunnel
 Utbygger: Transit Gotthard AG (SBB)
 Lengde: 57km
 Tunnelportaler: Erstfeld, Uri og Bodio, Ticino
 Høyde over havet: 550m
 Strømforsyning: 15kV ac overhead supply
 Entreprenør: ARGE AGN, ARGE Transco-Sedrun, ARGE TAT
 Entreprenør jernbanespor: Transtec Gotthard
 Arbeidsstyrke: Approx. 2,000
 Makimal tunnelindrift: 40m per day
 Prosjektkostnader (est. 2007): CHF 9.59bn
 Max. hastighet passasjertog: 250km/h
 Max. hastighet godstog: 160km/h (100mph)
 Forventet åpning: 2017

3.4 Design

Figuren viser en prinsippskisse for tunnelsystemet. Tunnel med togbane er dimensjonert for hastigheter opptil 250 km/t for togene. Hvert av hovedløpene har diameter ca. 8,5 m. Det bygges tverrforbindelser mellom løpene for evakuering/rømning ved uhell. I tillegg er det to vekslingsstasjoner hvor togene kan komme fra det ene løpet til det andre (for eksempel når det er behov for vedlikehold i tunnelene). Det er også to nødstasjoner hvor togene kan kjøres inn for videre evakuering av passasjerer til tverrslag fra utsiden. Tunneldrivingen pågår fra fem angrepspunkter, dvs. begge ender og fra to tverrslag og ei 800 m dyp sjakt.

Gotthard-Basistunnel

Schema Tunnelsystem mit Nothaltestelle, Lüftung



Figur 10: Tunnelsystemet, Gotthard basistunnel.

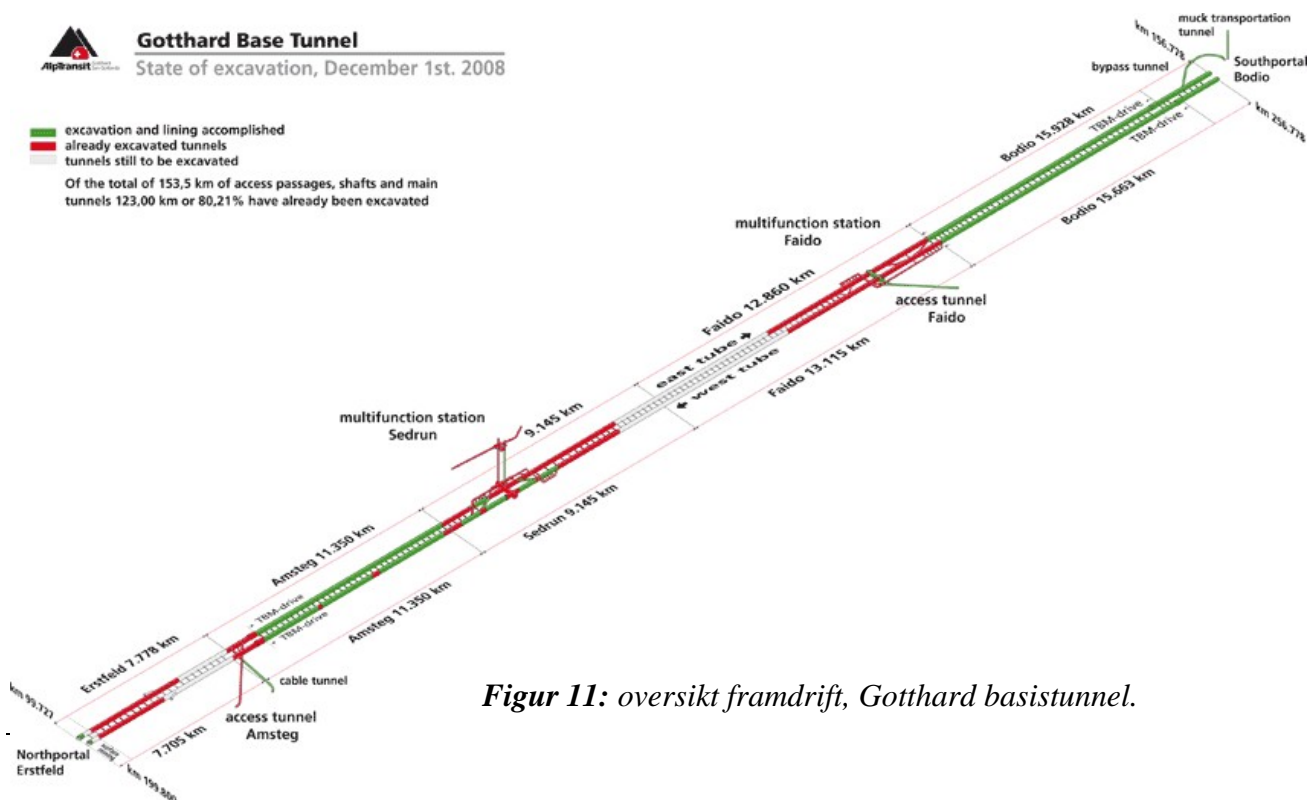


Gotthard Base Tunnel

State of excavation, December 1st, 2008

- excavation and lining accomplished
- already excavated tunnels
- tunnels still to be excavated

Of the total of 153,5 km of access passages, shafts and main tunnels 123,00 km or 80,21% have already been excavated



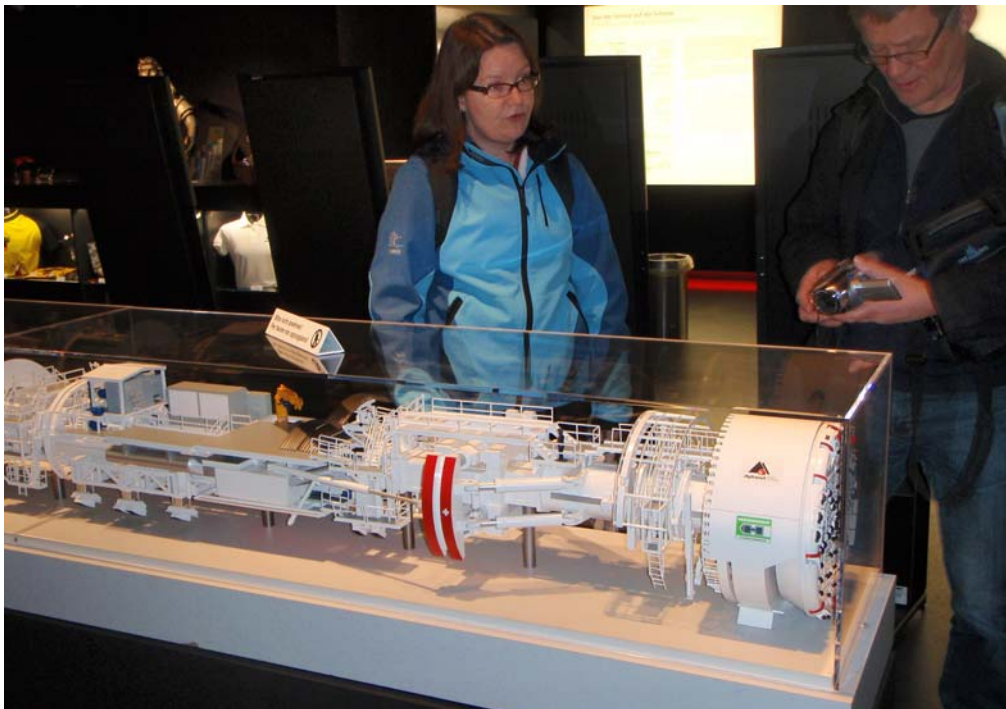
Figur 11: oversikt framdrift, Gotthard basistunnel.

3.5 TBM – Tekniske data

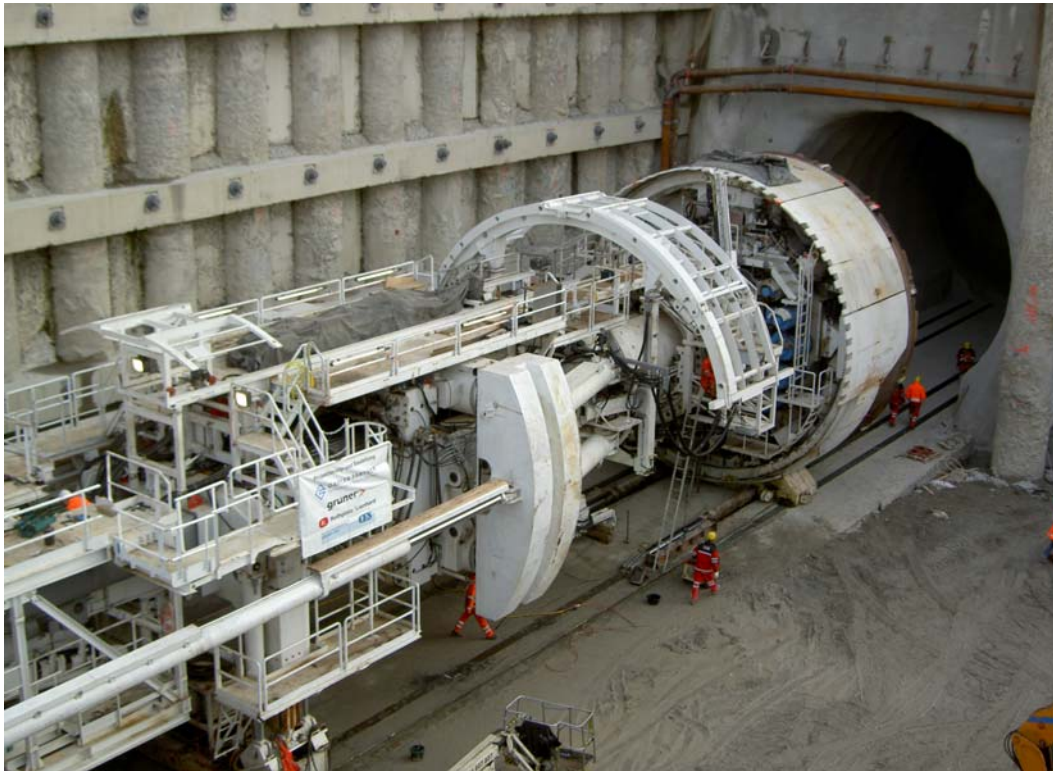
Det meste av hovedtunnelene drives med 4 stk TBM med diameter i overkant av 9 m. Total lengde på maskinene inkl. bakrigg er ca. 400 m. Antal kuttere på borhodet er 66 stk.

Maskinene er av typen ”open shield”, dvs. uten skjold mot berget, og bruker såkalte grippere som spennes opp mot fjellet for å ta opp skyvekraft, dvs. at maskinen er avhengig av rimelig god bergkvalitet for å kunne ta opp disse kreftene.

Massene transporteres ut av tunnelen ved hjelp av transportbånd festet til skinner i hengen/vederlag. For prosjektet har dette vært et vesentlig moment for å kunne ferdigstille så mye som mulig av tunnelen under tunneldrivingen. Gjennomsnittlig inndrift har normalt ligget på 20-25 meter per døgn. Største inndrift ved anlegget har vært 32 meter per døgn.



Figur 12: Modell av TBM som benyttes i Gotthard.



Figur 13: Foto av TBM som benyttes i Gotthard.

Like bak borhodet foretas sikring med bolter og det monteres armeringsnett. Ca. 50 m bak borhodet legges det på sprøytebetong med sprøytebetongutstyr montert i bakgrgen. Avhengig av bergkvalitet og bergtrykk suppleres sikringen med stålbuer som sprøytes inn. Som avskjerming mot vannlekkasjer og fukt legges det drensplater, membran og 30 cm armert betong. Dette konstruksjonen skal først og fremst sikre en tørr tunnel med minimal fuktighet, men virker også som permanent sikring da det er kontaktstøpt mot sprøytebetongen (se foto).

Strekninger med svak bergmasse (for eksempel skiferbergarter, kartlagt på forhånd) drives konvensjonelt, og sikringen utføres med sprøytebetong, bolter, stålbuer og betongutstøping på samme måte som beskrevet over.

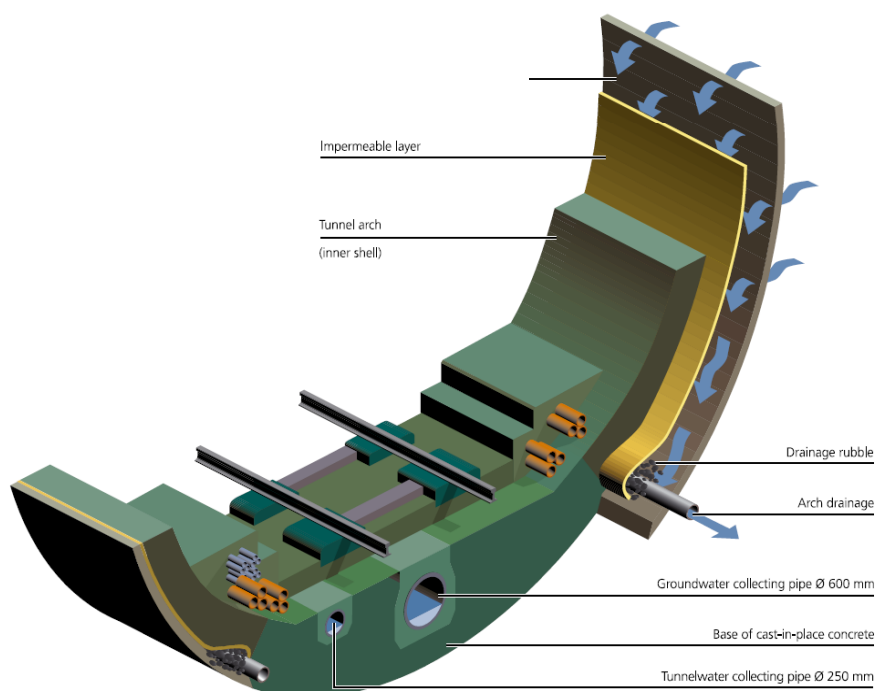


Figur 14: Uutstilt modell av bergsikring og betonglinging som benyttes i Gotthard.



Figur 15: Foto av betonglinging som benyttes i Gotthard.

Lekkasjevannet ledes ned under kjørebanelen og ut i rør som vist på figuren nedenfor.



Figur 16: Figur som viser drensssystem i Gotthard basistunnel.

Prosjektet har lagt stor vekt på gjenbruk av bergmassen som tas ut under tunneldrivingen. Avhengig av massenes kvalitet benyttes de til betongproduksjon, drensmasse, overbygning, og fyllmasse til andre formål.

3.6 Omgivelser/Miljø

Det har ikke vært problemer med store vannlekkasje som kunne ha konsekvenser for omgivelsene. Prognosen for hele tunnelanlegget er 350 liter/s, men berget har vært vesentlig tettere enn dette. Rystelser har ikke hatt noen betydning for prosjektet. Prosjektet har i stor grad vektlagt levetid av installasjoner, og derved bestemt å begrense fuktigheten i tunnelen til 70% relativ fuktighet. Dette oppnås ved hjelp av betongutstøping med membran som beskrevet ovenfor.

3.7 Framdrift og økonomi

Tunnelbygginga startet i 1993 med testtunnel for å kartlegge et kritisk område hvor hovedtunnelen var planlagt å gå. I 1996 var det oppstart for bygging av adkomsttunneler (tverrslag) inkludert ei 800 m dyp sjakt som skulle benyttes som adkomst til hovedløpene. Tunnelbygginga i hovedløpene og forbindelsestunneler mellom disse starta i 2002. I slutten av november 2008, da vi besøkte anlegget, var 123 km tunnel ferdig drevet, tilsvarende 80 % av totalt 153 km tunnellengde inkludert tverrslag og adkomst. Planlagt åpning av tunnel er 2017.

Kostnader

Prosjektets total kostnad er beregnet til CHF 10 mrd (2008-verdi).

Det bygges 2 stk tunneler á 57 km pluss tverrslag, rømningstunneler osv, tilsammen ca. 153 km ferdig tunnel, som tilsvarer en gjennomsnittskostnad på ca. **65 000 CHF/m** (360 000 NOK/m) ferdig tunnel! (dvs. inkl. alle installasjoner).

4 ER TBM AKTUELT I NORGE?

En av de viktigste forventningene vi hadde til turen var om vi kunne finne at TBM kan være konkurransedyktig for norske forhold.

Maskintypene ved begge anleggene vi besøkte egner seg for norske bergarter. Maskinene ved Gotthard Base Tunnel har imidlertid den begrensningen at de ikke kan benyttes i brede svakhetssoner slik som vanligvis vil forekomme i undersjøiske tunneler. Inndriften vil normalt ligge i området 20-25 meter/døgn, så lenge maskinen er i drift. Vedlikehold og annen driftsstans gjør at gjennomsnittlig inndrift over tid vil ligge lavere. Dersom en slik maskin skulle benyttes for norske forhold må en slik som i Sveits kanskje måtte kombinere med konvensjonell tunneldriving i svakhetssoner.

Gjennomsnittskostnadene i Sveits (65 000 CHF/meter for alle tunneler inkl. installasjoner) antas å ligge nær kostnadene for TBM-drevet tunnel. Dette tilsvarer 360 000 NOK/meter etter dagens kurs (okt. 2009), noe som er 4-5 ganger kostnadene ved konvensjonell tunnelbygging i Norge. Hvor mye betonglining og membran utgjør av dette beløpet har vi ingen opplysninger om, men vi anslår mer enn 100 000 kr. For norske vegtunneler vil så kostbar lining ikke være aktuell, men selv med en enklere løsning ville enhetsprisen likevel vært svært høy sammenlignet med kostnadsnivået for konvensjonelle tunneler i Norge. Spørsmålet er også om mengden bergsikring, når en ser bort fra betonglining, er høyere enn man ville valgt i Norge. Ut fra de opplysningene vi har innhentet, og vurderingene av disse, antas at kostnadene ved eventuell TBM-tunnel med samme diameter under norske forhold ville vært minst 2 ganger kostnaden for konvensjonell driving.

I Sverige er tilsvarende kostnader 600 000 SEK/ meter, som tilsvarer 480 000 NOK /meter etter dagens kurs. Dette er kanskje 3 ganger kostnadene for konvensjonell driving i dårlig berg i Norge. Vi antar at årsaken til så høye kostnader per løpemeter i stor grad skyldes injeksjonmetoden som i hovedsak er basert på etterinjeksjon, siden forinjeksjon viser seg lite vellykket. Ved forinjeksjon har man valgt å begrense injeksjonstrykket til 30 bar. Erfaringer fra Norge viser at trykket i de fleste tilfeller må vesentlig høyere (60-80 bar) for at resultatet skal bli godt nok. Betongelementene utgjør også en vesentlig del av kostnadene.

En maskin av den typen som benyttes i Hallandsåsen er mer egnet for generelt dårlig bergkvalitet, hvor det er behov for tung sikring med tilsvarende styrke som betongelementene de benytter der. Siden maskinen er avhengig av elementene til skyve fra mot, vil disse medføre til unødvendig høy sikringskostnad i normalt godt berg. Inndriften for en slik maskin vil normalt være en del lavere enn for maskintypen i Gotthard, kanskje 12-15 meter/døgn.

I undersjøiske tunneler ville det vært gunstig å benytte en maskin som både kan skyve fra direkte mot berget via grippere (slik som i Gotthard) og som på strekninger med svakhetssoner kan skyve fra mot betongelementer som settes sammen like bak borhodet (slik som i Hallandsåsen).

Vibrasjoner fra tunnelbormaskinen, som driver dag og natt, har påvirket en del av beboerne over tunnelen, og mange har fått tilbud om å bo andre steder under drivinga. Spørsmålet om drivemetode har vært diskutert i forbindelse med tunnelbygging i bebygde strøk, blant annet jernbanetunnel Skøyen – Sandvika. I denne sammenhengen er det viktig å vurdere vibrasjoner fra tunnelbormaskinen, som driver dag og natt. Spesielt ved liten bergoverdekning vil dette ha svært negativ påvirkning for beboerne over tunnelen.