

Slik bygges jernbanetunneler





Innledning

Alle tunnelprosjekter krever omfattende forarbeider. En lang rekke faktorer og forhold kartlegges grundig og brukes som grunnlag for å fastsette ulike krav og tiltak. I denne brosjyren ses det nærmere på tre ulike metoder for tunneldriving og alt som kreves for å unngå at tunnelarbeidene påfører skader på omgivelsene.

Forundersøkelser

Fjelloverflate, bergarter og svakhetssoner kartlegges gjennom grunnboring og andre forundersøkelser. Det samme gjelder løsmasser og dybder til fjell. I tillegg kartlegges grunnvannsnivået grundig. I kombinasjon med forundersøkelser, befaringer og egne studier av vegetasjonen langs tunneltraseen bidrar dette til verdifull kunnskap og innsikt slik at miljøet kan ivaretas på en best mulig måte under og etter anleggsarbeidene.

Bygninger og infrastruktur

Basert på undersøkelsene av fjell, løsmasser og grunnvannsforhold blir det definert hvilke områder som potensielt kan påvirkes av

tunneldriften. Innenfor disse områdene vil all bebyggelse bli besiktiget og registrert før anleggsstart.

Krav og oppfølging

Forundersøkelsene brukes som grunnlag bl.a. for å fastsette behov for, og eventuelle krav til tetting av tunnelen, krav til rystelsesnivå fra sprengning, samt program for overvåking og oppfølging av grunnvannsnivå, vegetasjon, bebyggelse og eventuelle setninger.

Miljøoppfølgingsprogram

Alle krav og tiltak spesifiseres i et eget miljøoppfølgingsprogram. Programmet bidrar til at uheldige forhold kan oppdages tidlig og avbøtende tiltak iverksettes slik at skader unngås. Fokusområdene i programmet blir lagt inn som prisbærende poster i kontrakten med entreprenørene.

Valg av drivemetode

► Moderne tunneldrift i hardt fjell er basert på konvensjonell boring og sprengning, mekanisk bryting av fjell (drill & split), eller fullprofilboring (TBM). Det er fordeler og ulemper knyttet til de ulike metodene. Forutsetningene i de ulike prosjektene vil også påvirke valget av drivemetode. Ofte brukes en kombinasjon av de ulike metodene.

Noen forhold som må vurderes før man velger drivemetode:

Økonomi

Sammenlignet med konvensjonell tunneldrift medfører fullprofilboring (TBM) større investeringsbehov i maskiner. Metoden innebærer også lengre mobiliseringstid, men kan gi betydelig raskere inndrift. Det kreves normalt en viss lengde på tunnelene før fullprofilboring er konkurransedyktig på pris. Det er viktig å velge en TBM-type som er egnet for de aktuelle grunnforholdene. Konsekvensene av eventuelle maskintekniske problemer eller vanskelige geologiske forhold er større ved bruk av TBM enn konvensjonell sprengning.

Tunnelkonsept

Velger man f.eks. å bygge en felles tunnel for to spor, vil størrelsen på tunneltverrsnittet

normalt tale til fordel for konvensjonell sprengning. Velger man å bygge to separate tunneler, kan TBM fort vise seg å være det mest hensiktsmessige.

Overskuddsmasser

Sprengstein etter konvensjonell tunneldrift benyttes ofte i fyllinger og utfyllinger, og representerer dermed en ressurs. Masser fra TBM-tunneler er også en ressurs med flere bruksområder. Boremassen kan brukes i fyllinger under kontrollerte og drenerte forhold, og man kan sortere og eventuelt videreforedle boremassen for bruk til betongproduksjon, såfremt bergarten er egnet for dette.

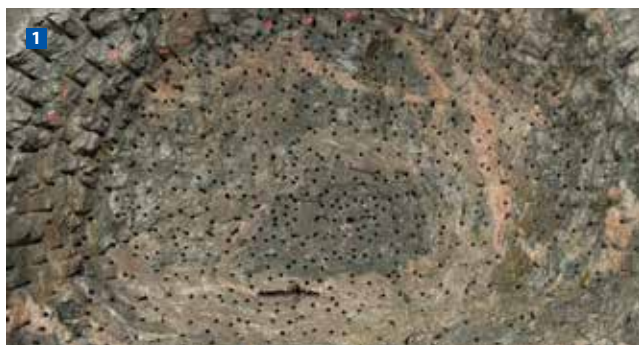
Hensynet til omgivelsene

Fullprofilboring (TBM) regnes gjerne som mer skånsomt for omgivelsene fordi det ikke innebærer rystelser og støy fra sprengning, pigging o.l. Med fullprofilboring (TBM) er det ikke nødvendig med så mange mellomliggende tverrslag som ellers er nødvendig ved sprengning av lange tunneler. Tunnelboremaskinene drives med elektrisitet. Dermed spares lokalmiljøet for utslipp av sprenggasser. Mengden av diesellavgasser blir også redusert.

Skånsom metode

► I områder der det er mye eksisterende infrastruktur å ta hensyn til kan mekanisk bryting av fjell, også kalt «drill & split», være et alternativ til sprengning. «Drill & split» er en skånsom metode for driving av tunnel uten å bruke sprengstoff. Metoden gir få rystelser og veldig god kontroll. Driving av tunnel med «drill & split» tar lenger tid og innebærer høyere drivekostnader enn ved vanlig sprengning, men til gjengjeld er metoden mer skånsom for omgivelsene. «Drill & split» brukes for første gang i tunnel i Norge under utbyggingen av Follobanen, der deler av tunnelen skal drives forbi oljelagre, vei- og tunnelanlegg.

Slik utføres drill & split:



Det bores ca. 500 hull tett i tett etter et spesielt geometrisk mønster. Hullene har som regel en diameter på 76 eller 101 mm, og er 1,4 meter lange.



En hydraulisk jekk splitter så fjellet fra hverandre mekanisk. Jekken spyler samtidig ut vann og bryter løs fjellet. Det splittes rundt en meter tunnel i døgnet.

Slik sprenges tunneler

Moderne fjellsprengring er et resultat av at dynamitten ble alminnelig tilgjengelig på slutten av 1800-tallet. Norske fjellsprengrere regnes blant verdens fremste eksperter på området. I Norge er veg- og jernbanetunneler svært ofte drevet med bruk av sprengstoff.

Hovedaktiviteter ved en sprengningssyklus er:



1. Forinjeksjon:

Normalt bores 21-27 meter lange hull rundt hele tunnelvernsnittet. Sementmasse pumpes inn i hullene under høyt trykk. Sprekkene tettes i fjellet der tunnelen skal sprenges, slik at grunnvannet ikke lekker inn.



2. Boring og

lading: Det bores ca. 5 meter lange hull som lades med sprengstoff.



3. Sprengning: For å minske rystelsene på overflaten deles hver salve opp i serier som fyres av i rask rekkefølge (5-6 sekunder). Salvene tilpasses omgivelsene og fjellets beskaffenhet.



4. Utlasting: De utsprengte fjellmassene lastes på dumpere eller lastebiler avhengig av endelig deponiplasering. All masse transporteres til godkjente deponier. Kjøreruten er definert på forhånd.



5. Rensk og sikring: Løst fjell pigges ned med en hydraulisk hammer før en manuell rensk foretas. Tunneltak og til dels vegger sikres med bolter og sprøytebetong, og eventuelt med armeringsbuer. Fjellforholdene kontrolleres av en geolog etter hver salve, og omfanget av nødvendig sikring vurderes.

Tverrslag

I forbindelse med sprengning av tunneler etableres det ofte atkomsttunneler til selve hovedtunnelen – kalt tverrslag. Tverrslagene gir flere angrepspunkter og kortere byggetid. Atkomsttunnelene kan også fungere som nødutganger etter at tunnelen er tatt i bruk. Plassering av tverrslagene vurderes grundig før byggestart. Blant annet vektlegges miljøhensyn, fjellforhold, avstand til hovedtunnelen og kjøreruter for anleggstrafikken.

For hver syklus drives normalt ca. 5 meter av tunnelen. Syklusen gjentas slik at det vanligvis sprenges 10-25 meter i gjennomsnitt pr. uke fra hver stoff, men dette kan variere avhengig av fjellforholdene.

«Internasjonalt er tunnelboremaskiner mye brukt. Prosjektet London Crossrail er et godt eksempel.»

Fullprofilboring med tunnelboremaskin (TBM)

► Fra 1970 til 1990-tallet var den norske tunnelbransjen blant de ledende i verden når det gjaldt bruk av tunnelboremaskiner i hardt fjell. Maskinene ble først og fremst brukt til å bygge tunneler for vannkraftverk. Da den store vannkraftutbyggingen ble trappet ned, tapte TBM terreng i Norge. Nå er metoden på vei tilbake til norske samferdselsprosjekter. Jernbaneverkets prosjekter i Arna-Bergen (Ulriken) og Follobanen er eksempler på tunneldriving med denne metoden.

En tunnelboremaskin (TBM) borer sirkelrunde tunneler. TBM er et produksjonssystem med prefabrikerte, vannrette betongelementer montert i en sluttet ring for å ivareta bergsikring og vann- og frostsikring. Denne metoden benyttes i prosjekter med strenge krav til vannsikring og lang levetid. Fordelene med bruk av TBM er blant annet at fremdriften er langt raskere enn ved sprengning, og påvirkningen

på omgivelsene regnes som mindre. En unngår rystelser og støy som følge av sprengning, og behovet for mellomliggende tverrslagstunneler blir redusert eller eliminert.

Slik utføres fullprofilboring

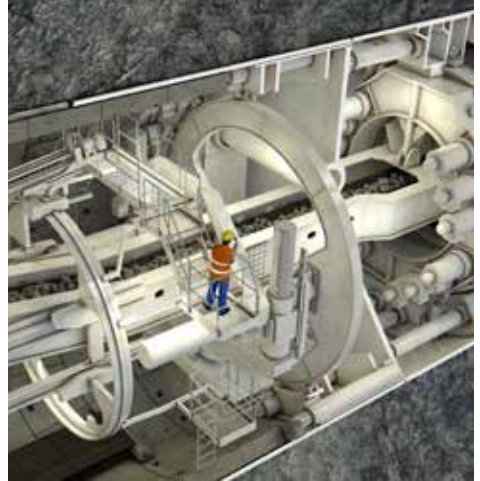
► En tunnelboremaskin (TBM) kan ha en diameter på opp til 18 meter. For å bore en enkeltspors jernbanetunnel med ett løp benyttes en tunnelboremaskin med en diameter på mellom 9-10 meter. Det finnes flere typer tunnelboremaskiner med ulike egenskaper. I Follobaneprosjektet bruker Jernbaneverket 4 dobbeltskjoldede tunnelboremaskiner med en total lengde på 140-150 meter. I Ulriken-tunnelen brukes en «åpen» TBM hvor bergsikring og forinjeksjon foregår etter samme prinsipper som ved sprengning.



TBM er et mer industrielt produksjonssystem sammenliknet med sprengning. Den totale vekten på en TBM med en diameter på 10 meter er om lag 2400 tonn, inkludert bakgriggen.



Elektriske motorer driver borhodet, i tillegg har man trykk framover. På borhodet er det montert kuttere som knuser berget til mindre biter. Her ses TBM'en Ulrikke i Arna-Bergen-prosjektet.



Berget som knuses av kutterne blir plukket opp og transportert ut av tunnelen på et transportbånd.



Ved bruk av skjoldmaskiner monteres prefabrikkerte, vanntette betongelementer i en lukket ring. Disse elementene føres inn i tunnelen og monteres fortløpende. Bildet viser produksjons- og lagerområde for slike betongelementer.

Noen utfordringer

► Anleggsdriften ved tunneldriving er underlagt strenge retningslinjer, og Jernbaneverket har det overordnede ansvaret for å overholde disse. Målet er å ivareta hensynet til omgivelsene på en best mulig måte slik at verken natur, miljø eller bygninger langs tunneltraseen påføres skader som følge av tunnelarbeidene.

Støy og rystelser ved sprengning

Anleggsnaboer vil kunne høre og føle det som foregår i tunnelen. Avstand til tunnelen og fjellforhold bestemmer hvor merkbare sprengningene blir.

Hus fundamentert på løsmasser er mindre utsatt for støy enn hus som står på fjell. Hvis fjellet er lagdelt og svakt, dempes støyen

bedre enn om fjellet er hardt (f.eks. granitt). Retningen på sprekke har også innvirkning på støynivået, og hvordan støyen sprer seg.

Grenser for rystelser er basert på Norsk Standard (NS8141). Beregningene følger en fastlagt formel som tar hensyn til konstruksjoner, vibrasjonskilde, grunnforhold og avstander. Rystelsesmålere monteres på nærliggende bygninger og leses av fortløpende. Dersom rystelsene nærmer seg grenseverdiene, kan sprengningsarbeidene justeres for å bedre forholdene.

Eventuelle arbeider som overskrider grenseverdier for støy utføres i samråd med lokale helsemyndigheter. Berørte naboer informeres på forhånd, og tilbys alternativ overnatting eller andre avbøtende tiltak.

Karakteristiske lyder ved tunnelarbeider

Arbeidsoperasjon	Varighet	Lyd, avhengig av avstand til tunnelen
Sprengning	5-6 sekunder	«Knatring/smel»
Tunnelrensk	30-60 minutter	«Hamring»
Boring for injeksjon, sprengning, bolting	1-3 timer	«During»
Fullprofilboring (TBM)	Vedvarende, men i kortere perioder for hver enkelt husstand	Svak/middels «during»

Støy ved fullprofilboring (TBM)

► Anleggsnaboer som bor rett over og i nærheten av tunneltraseer må være forberedt på noe støy i perioden tunnelboremaskinene passerer under nabolaget.

Støynivået vil variere fra hus til hus. I hus fundamentert direkte på fjell, vil støyen oppleves som en merkbar dur. I hus som står på løsmasser vil tunnelboringen være mindre merkbar.

Anleggsskader

► Før byggestart utføres en tilstandsregistrering av bygninger i tunnelens nærområder. Dette gjøres av et eksternt konsulentfirma som foretar utvendig og innvendig filming med videokamera. Det blir ikke foretatt ny tilstandsregistrering etter at tunnelbyggingen er avsluttet.

Strengt krav og tett oppfølging reduserer sannsynligheten for skader på bygninger og miljø. Skulle skader forårsaket av tunneldrivingen likevel bli påvist, vil disse bli erstattet eller utbedret av Jernbaneverket.

Ved skader som kan skyldes tunnelarbeidene, bør Jernbaneverket kontaktes så snart som mulig. Det er viktig at det blir fastslått med størst mulig sikkerhet når skaden oppsto. Skaden inspiseres og vurderes av sakkyndige, som samtidig innhenter data fra setnings- og grunnvannsmålinger i området, rystelsesmålinger og tilstandsregistreringen.

Grunnvann og setninger

► Hvis vann lekker inn i tunnelen kan grunnvannsbalansen påvirkes. Dette kan forårsake setningsskader på bygninger og

andre konstruksjoner som er fundamentert på løsmasser.

For å unngå slike skader stilles det strenge krav til tetting av tunnelen.

Langs tunneltraseen etableres en rekke målebørner for poretrykk og grunnvannsnivå. Børnene leses av fortløpende for å kontrollere at grunnvannstanden opprettholdes. Dersom grunnvannet synker, kan vann pumpes inn i grunnen for å stabilisere grunnvannsnivået. Tilføringen av vann opprettholdes inntil tunnelen er tilstrekkelig tett.

Setningsbolter monteres på utsatte bygninger som er fundamentert på løsmasser nær tunneltraseen. Innmålinger gjøres før, under og etter anleggsperioden for å kunne oppdage eventuelle setninger tidlig, slik at skader kan forhindres.



Liten tunnelordliste

Fremmedord	Forklaring
Bolt	Stålstang av forskjellig kvalitet og lengde som benyttes til å sikre og stabilisere fjell
Heng	Taket i tunnelen
Injeksjon	Tetting av naturlige sprekker i fjellet for å hindre vanninntrengning. Utføres vanligvis ved å pumpe tynn sementblanding inn i borhull
Kontur	Teoretisk omkrets av en tunnel
Overdekning	Avstand fra tunnelheng til terrengoverflaten enten i form av fjell eller løsmasser
Poretrykk	Grunnvannstrykket i bergmasser eller løsmasser
Salve	Sprengning av et visst volum fjell i tunnel, vanligvis ca. 5 meter
Setningsmålinger	Måling av evt. nedsynking på bygninger med millimeternøyaktighet før, under og etter at tunnelen er bygget. Større bevegelser kan skade bygninger

Fremmedord	Forklaring
Sikring	Arbeid for å stabilisere fjell, dvs. å hindre nedfall av stein og blokk, der dette er nødvendig
Rensk	Fjerning av løs stein fra vegger og heng etter salve
Sprøytebetong	Betong som sprøytes på vegger og heng for å stabilisere fjellet
Stross	Utvidelse av tverrsnitt
Stuff	Endeveggen i tunnelen - så langt som tunnelen er kommet
Såle, ligg	Gulvet i tunnelen
Vederlag	Overgang mellom vegg og tak (heng) i tunnel
Tverrslag	Atkomsttunnel som fører ned til hovedtunnelen
Borhode	Sirkulært roterende hode på TBM påmontert kuttere
Fullprofilboring	Boring av fullt tverrsnitt uten bruk av sprengstoff
Dobbelskjoldet	TBM hvor boring og montasje av betongelementer foregår samtidig





Utgitt av Jernbanelverket

Ny utgave ved: Follobaneprosjektet

Opplag: 800 eks.

Foto: Michael Hansen, Herrenknecht AG, Freddy Fagerheim, Øystein

Grue, Ghella S.p.A og Stang Media

Illustrasjoner: Arild. W. Solerød og Voxel

ISBN: 978-82-7281-259-0

www.jernbanelverket.no/prosjekter

www.jernbanelverket.no