



KVU OSLO- NAVET

Konvensjonelle drivemetoder

Ferdigstilt: 10. september 2014

Prosjekt: KVU Oslo-Navet

Forfattere: Anders Grendal, Torbjørn Johansen og Knut Boge, Aas-Jakobsen/Geovita

Prosjektkontakt: Terje Grytbakk, KVU-staben

Vedlegg til: Vedlegg 8, teknisk-økonomisk plan

Sammendrag:

I dette notatet er metodene ved konvensjonell driving av tunneler i berg samt overgangssoner gjennom løsmasse beskrevet prinsipielt. Videre er en metode for tunneldrift i berg ved mekanisk bryting i spesielt kritiske områder beskrevet.

Forord

Ved bygging av nye tunneler står man overfor flere valg. Et viktig valg er hvilken byggemetode som egner seg best. Dette vil være avhengig av flere forhold, blant annet hvor tunneltraseen legges og hvor dypt den går.

For tunneler i berg vil det være to hoved metoder og velge mellom. Enten konvensjonell drift med boring og sprengning, eller drift med TBM. I tillegg kan det i spesielt kompliserte soner benyttes en mer skånsom metode med boring og mekanisk bryting av berg.

I dette notatet er metodene ved konvensjonell driving av tunneler i berg samt overgangssoner gjennom løsmasse beskrevet prinsipielt. Videre er en metode for tunneldrift i berg ved mekanisk bryting i spesielt kritiske områder beskrevet.

Innhold

Teknisk ordliste	3
Byggemetoder tunnel i berg og håndtering av utfordringer	5
Konvensjonell drift med boring og sprengning	5
Påvirkning på omgivelser ved konvensjonell drift	18
Boring og mekanisk bryting av berg	21
Byggemetoder løsmassetunneler	26
Åpen byggegrop	26
Tette metoder	32
Fundamentering	33

Teknisk ordliste

Påhugg	Sprengt vertikal bergflate som markerer starten på tunnelen.
Tunneldriving	Bygging av tunnel i berg
Stuff	Endeveggen ved tunnelfronten under driving av tunnel
Tunnelhvelv	Buet vegg og tak i tunnel
Heng	Taket i tunnelen
Vederlag	Overgang mellom vegg og tak (heng) i tunnelhvelvet
Såle, ligg	Gulvet i tunnelen
Sprøytebetong	Betong som sprøytes direkte på bergflaten eller andre flater med høytrykkssprøyte
Sprøytebetongbuer	Forsterkning av tunnelhvelv med buer av armering eller stålgitterbjelker som støpes inn med sprøytebetong
Spiling	Bergbolter eller utstøpte stålrør som bores inn som forsterkende bjelkerist over tunnelheng
Pilottunnel	Mindre tunneltverrsnitt som sprenges ut først. Deretter utvides tverrsnittet til full størrelse
Strossing	Utvidelse av tunneltverrsnitt ved sprengning eller mekanisk bryting med pigg eller jekk
Forinjeksjon	Tetting av sprekksystemer i berget ved injeksjon med høyt trykk av sementbaserte eller kjemiske stoffer i forkant av tunneldriving
Etterinjeksjon	Tetting av berget ved injeksjon av sementbaserte eller kjemiske stoffer etter tunneldriving
Vanninfiltrasjon	Innpumping av vann i sprekker i berget for å kompensere for innlekkasjer i

	tunnel eller byggerop
TBM	Tunnel Bore Maskin.
Cut and Cover	Tunnel i løsmasse som bygges mellom vegger etablert fra terreng og under en takplate med reetablert terreng over.
Grunnvannsnivå	Kotehøyde som markerer nivået hvor løsmasse eller berget under er helt eller delvis mettet av vann
Poretrykk	Vanntrykket i løsmasse eller berg. Normalt tilsvarende hydrostatisk trykk fra grunnvannsnivået til aktuelt nivå, men kan være både høyere og lavere avhengig av topografiske forhold og massens permeabilitet

Byggemetoder tunnel i berg og håndtering av utfordringer

Ved bygging av nye tunneler står man overfor flere valg. Et viktig valg er hvilken byggemetode som egner seg best. Dette vil være avhengig av flere forhold, blant annet hvor tunneltraseen legges og hvor dypt den går. For tunneler i berg vil det være to hoved metoder og velge mellom. Enten konvensjonell drift med boring og sprengning, eller drift med TBM. I tillegg kan det i spesielt kompliserte soner benyttes en mer skånsom metode med boring og mekanisk bryting av berg. I det videre er metodene beskrevet prinsipielt samt hvordan noen av utfordringene kan løses.

Konvensjonell drift med boring og sprengning

Konvensjonell boring og sprengning har vært den dominerende byggemetoden i Norge. Alle samferdselstunneler i Oslo området har vært drevet med denne metoden. Foran tunnelfronten er det vanlig å foreta en forinjeksjon for å tette berget slik at innlekkasje i tunnelen reduseres. Deretter drives tunnelen gjennom det tette berget i sprengningssekvenser før ny forinjeksjon foretas. Lengden av hver sprengningssekvens vil avhenge av stedlige forhold og gitte krav til rystelser, men en typisk sekvenslengde vil være ca 5 meter.

Arbeidsoperasjonene for en typisk drivesekvens vil være som følger:

- Boring av konturhull som vil markere ytterkanten av tunneltverrsnittet, samt hull for lading med sprengstoff. Bormønster tilpasses lokale bergforhold.
- Lading av salve
- Salvesprengning
- Rensk av tunnelheng for løse steinblokker
- Utlasting av stein
- Sikring av tunnel med sprøytebetong og bergbolter
- Forinjeksjon utføres normalt for hver 3-5 salve

Nedenfor er det vist en presentasjon av forinjeksjon og en typisk drivesekvens hentet fra Statens Vegvesens nettsider og illustrasjonene er laget av Arne W. Solerød.

Forinjeksjon:

Det bores hull rundt tunneltverrsnittet samt i stoffen. Dybden på hullene varierer men er normalt ca 20-30 meter, alt etter fjellforholdene. Sement pumpes med høyt trykk inn i hullene. Sementen tetter sprekkene i fjellet rundt der tunnelen sprenges for å hindre/reducere innsig av vann i tunnelen



Boring og lading:

Etter at forinjeksjonen er herdet, bores ca. 100 hull som er fem meter dype. Hullene fylles med sprengstoff.



Sprengning:

Sprengingen tilpasses tilstanden på fjellet og det omliggende miljøet så skader på hus unngås. Under normale forhold blir hele salven sprengt i ett med intervalltennere, det vil si at ikke alt sprengstoffet detonerer på en gang. Det tar seks sekunder å sprengte hver salve. Er det nødvendig å minske vibrasjonene, blir det satt inn forsinkere som gjør at det blir detonert mindre sprengstoff pr. tenner. Sprengningstiden vil da øke litt.



Utlasting:

De utsprengte bergmassene lastes opp på dumpere eller direkte på lastebiler og kjøres til deponi eller til bruk andre steder i anlegget.



Rensk og sikring:

Løst fjell pigges ned med en hydraulisk hammer, som gjerne er festet til en gravemaskin. Blokker og sprekker i tunneltaket sikres med 3-4 meter lange bolter. Boltene gyses (støpes) fast med betong i borehullet. Fjellet sikres også med et minst åtte centimeter tykt lag av fiberarmert sprøytebetong. Forholdene i tunnelen kontrolleres av erfarne ingeniørgeologer etter hver sprengning.



På de neste sidene er det vist noen bilder fra forskjellige typiske arbeidsoperasjoner i forbindelse med driving av tunnel.



Figur 1: Tunnelborerigg i arbeid ved påhugg for Bærumstunnelen på Lysaker Vest



Figur 2: Lading for salvesprengning



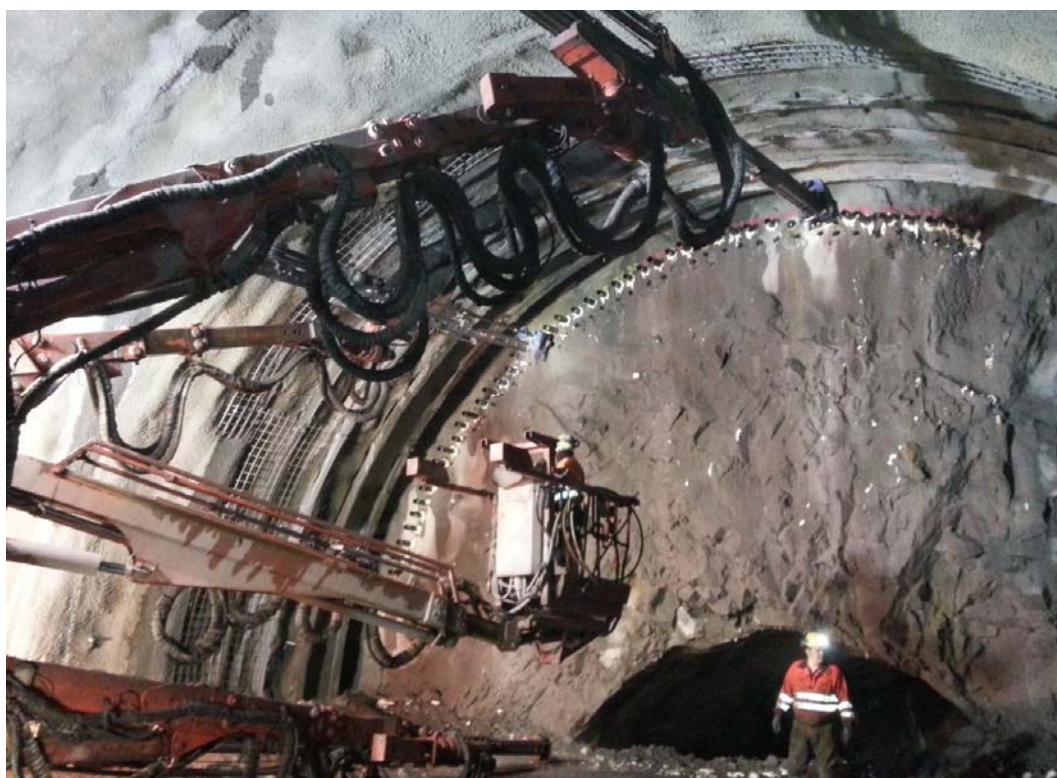
Figur 3: Løfteutstyr ved berginspeksjon på stoff i Bærumstunnelen



Figur 4: Sprøytebetongbil under arbeid i Bærumstunnelen



Figur 5: Boring av injeksjonshull i Bærumstunnelen. Sandvika Øst



Figur 6: Etablering av rørspiling ved passering av svakhetssone i Holmestrandtunnelen



Figur 7: Siloer til injeksjonssement, ventilasjonskanal og påhugg. Bærumstunnelen Lysaker Vest



Figur 8: Påhugg med liten overdekning, ventilasjonsvifte skjermet i container. Tverrslag Engervannet til Bærumstunnelen Sandvika Øst

Kompletteringsarbeider

Etter at tunnelen er drevet og sikret må den kompletteres og innredes innvendig. Trafikk tunneler i Oslo regionen enten det gjelder jernbane, vei eller T-bane må kles med en vann- og frostsikringskonstruksjon. Det er to prinsipielt forskjellige konsepter for kledning av tunneler, enten drenert eller vanntett kledning.

Det som hittil har vært mest benyttet er drenerte løsninger. Berget rundt tunnelen blir da injisert for å oppnå en tilfredsstillende lav innlekkasje, og kledningen fungerer som en paraply for å holde trafikkprofilen tørt. Her er det igjen et par hovedvalg. Enten et frittstående hvelv eller et hvelv støpt ut til kontakt med berget.

Av frittstående hvelv er løsninger med prefabrikkerte betongelementer enten i både vegg og heng, eller kun i vegg kombinert med et PE (polyetylen) hvelv i taket det mest vanlige. Andre varianter med aluminiumsplater, eller oppspennet duk har også blitt benyttet med varierende hell, og i høytrafikkerte veitunneler eller jernbanetunneler anses ikke dette som en aktuell løsning. Betongelementhvelv isoleres med faststøpt ekstrudert polystyren, og en vannsikringsmembran på baksiden. Betongelementhvelvet står på fundamenter på komprimert puk og er kun sikret med bergbolter som sidestøtte og for å hindre at de faller ned ved en eventuell påkjøring. PE hvelvet fungerer som både vann- og frostsikring, men siden platene er brennbare sprøytes de med et ca 8 cm tykt lag med armert sprøytebetong. PE-hvelvet er opphengt i bergbuen med bolter.

Ved støp av hvelv i kontakt med berget brukes forskalingsvogner som vil være konstruert spesielt for det aktuelle tunneltverrsnittet. Utstøpningen kan utføres med eller uten en vanntettingsmembran. Med bruk av membran blir hvelvet tett med en gang, men dersom det oppstår en rift i membranen ved montasje eller støp, kan det være meget vanskelig å få tettet denne senere. Det er også vanskelig å fastslå eksakt hvor lekkasjen er siden vannet kan transporteres langt bak betonghvelvet før det trenger gjennom. Hvis man velger å ikke bruke membran, må støpeskjøter og svinriss i betongstøpen injiseres i ettertid for å tette hvelvet. I kuldeperioder vil imidlertid nye riss kunne oppstå med nye runder med injisering. Ved å armere støpen kraftig kan rissene reduseres betraktelig. Lekkasjer gjennom betonghvelvet vil også kunne tette seg selv over tid ved kalkutfelling eller såkalt mauring.

For vanntette hvelv er det kun kontaktstøpte konstruksjoner som benyttes. Hvelvet må dimensjoneres for å tåle vanntrykket avhengig av tunnelnivået i forhold til grunnvannsnivå. For vanntette hvelv blir tunnelsålen normalt utført med en buet form slik at utstøpningen danner en trykkbue. Også for vanntette hvelv kan utstøpningen utføres både med eller uten vanntettingsmembran.

Etter at tunnelkledningen er etablert blir resten av utstyret som innvendig drenering, kabler for teknisk anlegg, overbygning for vei eller bane, belysning og annet teknisk utstyr installert.

På de neste sidene er det vist noen typiske bilder i forbindelse med kompletteringsarbeider.



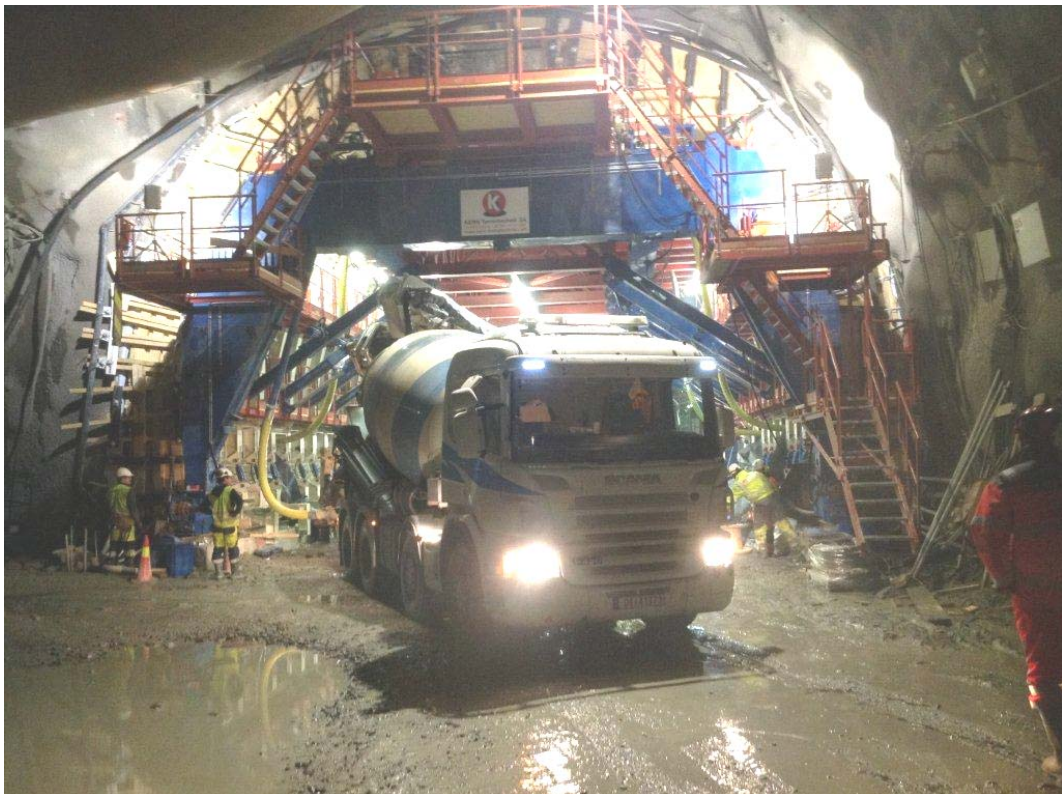
Figur 9: Tunnel sikret og utjevnet med sprøytebetong før membranmontering. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen



Figur 10: Montering av membran i Ulvintunnelen. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen



Figur 11: Sveising av membranskjøt i Ulvintunnelen. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen



Figur 12: Støp av kontaktstøpt betonghvelv i Ulvintunnelen. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen



Figur 13: Ferdig kontaktstøpt betonghvelv i Ulvintunnelen. Fellesprosjektet E6-Dovrebanen



Figur 14: Montasje av bolter for PE hvelv i Bærumstunnelen



Figur 15: Betong elementhvelv under montering

Byggetid med konvensjonell drift

Utstyret som benyttes med konvensjonell drift er standard maskiner og tunneldriving kan starte opp ganske raskt etter at forskjæring er tatt ut og påhuggsområdet er sikret. Framdriften er i stor grad avhengig av omfanget av forinjeksjon og bergsikring samt eventuelle restriksjoner med hensyn til rystelser eller sprengningstider. En normal framdrift ved omfattende grad av forinjeksjon, noe som vil være tilfelle under Oslo sentrum, kan typisk ligge i området 15 - 20 meter i uka.

For strekninger med sterke restriksjoner for sprengningstidspunkt kan framdriften være vesentlig lavere.

Anleggs-, riggområder og massetransport med konvensjonell drift

Ved konvensjonell drift kan man klare seg med relativt små riggområder dersom arealer ikke er tilgjengelig. I nærheten av tunnelmunningen trenger man en driftsrigg med minimum plass for et verkstedtelt, ventilasjonsvifter, vannrenseanlegg, sprøytebetongsiloer, lagercontainere og skifte- og spisebrakker. Hovedrigg med kontor og hovedlager kan ligge mer perifert. Dersom det ikke er

mulig å plassere driftsriggen ved selve tunnelen, kan den plasseres ved et tverrslag som leder ned til tunneltraseen. Riggfasilitetene kan også etableres inne i haller i berg dersom det ikke er noe plass oppe i dagen.

Ved bygging av Nationalteatret stasjon ble tverrslag etablert fra Løkkeveien og deler av riggfasilitetene etablert inne i tverrslaget. Selve riggen ble lagt mellom Vestbanetomta og Munkedamsveien delvis under bruene fra Vestbanekrysset til Dronning Mauds gate.

Noen eksempler på tunnelriggområder ved bygging av jernbanetunnelen mellom Lysaker og Sandvika er vist i bildene under.



Figur 16: Riggområde for Bærumstunnelen ved tverrslag Engervannet – Sandvika Øst 2008

Flyfoto er hentet fra Finn.kart «historiske kart»

Riggen omfatter stor verkstedhall, kontorrigg i to etasjer, lager og containere, renseanlegg for driftsvann og parkeringsplasser. Riggområdet betjente både tunnelrigg og et større dagsoneanlegg.

Verkstedhallen ble bygget som en stålhall som senere skulle benyttes som tennishall.



Figur 17: Riggområde for Bærumstunnelen Tverrslag Skallum samt hovedrigg byggherre 2008
Flyfoto er hentet fra Finn.kart «historiske kart»

Riggen omfatter verkstedtelt, kontorrigg i to etasjer, lager og containere, sedimentasjonsbasseng og parkeringsplasser.

Hovedrigg for Jernbanelverket er vist innenfor den røde streken.

Forsering av dårlig grunnforhold og kryssing av dyprenner med konvensjonell drift

Konvensjonell drift er en fleksibel byggemetode som kan benyttes ved alle bergforhold. Selv i soner med sterk grad av oppsprekking vil metoden være anvendbar. Ved forhold der berg lokalt er av så dårlig kvalitet at det ikke kan dannes

en selvbærende hvelvbue kan ulike forsterkningsmetoder tas i bruk uten å endre selve konseptet. Ved passering av svakhetssoner eller soner med svært liten bergoverdekning kan lange skrå spilingbolter som bores i vifte over hengen benyttes i kombinasjon med for eksempel forsterkning med sprøytebetongbuer.

Ved helt spesielle forhold som for eksempel uventet tap av bergoverdekning eller andre uforutsette hindringer kan man sprengre en omgående tunnel under eller forbi hindringen. Deretter kan man fortsette med normal tunneldrift på den andre siden i påvente av at hindringen kan forseres med spesielle metoder og forsterkninger. Dette kan hindre store forsinkelser i total framdrift for prosjektet.

Utvidelser, avgreininger og stasjoner ved konvensjonell drift

Konvensjonell drift er også en meget fleksibel drivemetode for å kunne ivareta ulike behov for utvidelser av tunneltverrsnittet. Dette kan være utvidelser for havarilommer, tekniske rom, av- eller påramper, eller tverrsnittsendringer på grunn av behov for spesielle forsterkninger som f.eks full utstøping. Drivemetoden er også fleksibel med tanke på tverrsnittstørrelser, og kan benyttes på alt fra små tverrsnitt på 20 m² eller mindre og opp til store haller på 400-500 m². For eventuelle nye stasjonshaller i berg må berget tas ut ved konvensjonell drift.

For samferdselstunneler er det normalt å sprengre hele tverrsnittet i en salve, men ved dårlige bergforhold eller andre restriksjoner kan det være aktuelt å sprengre en pilot først og strosse ut til fullt tverrsnitt etterpå. Ved store tverrsnitt som er så høye at tunnelriggen ikke når helt fra bunn til tak blir tverrsnittet sprengt ut i etapper, der det normale er å sprengre hengen først og deretter bunnseksjonen. På store tverrsnitt kan man benytte både to og tre tunnelrigger samtidig på samme stuff.

Påvirkning på omgivelser ved konvensjonell drift

Anleggsstøy og rystelser

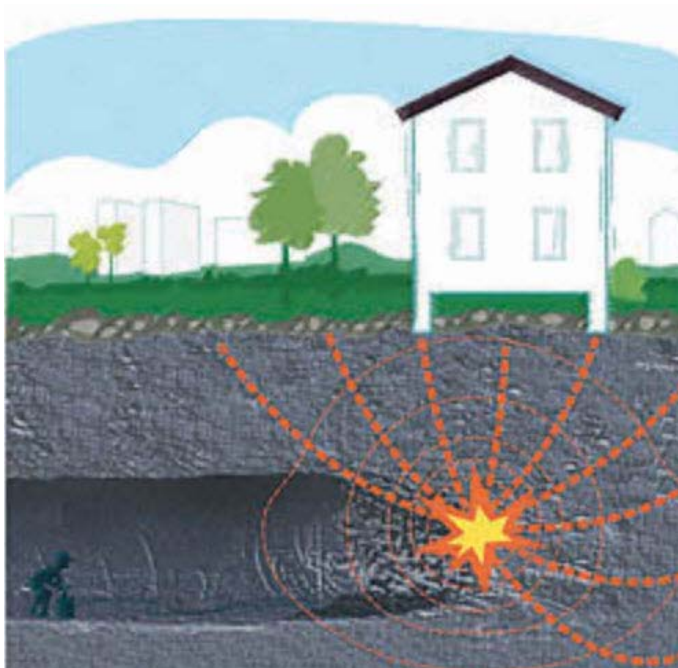
For å ventilere ut avgasser fra dieselmaskiner, støv og sprenggasser kreves det store ventilasjonsanlegg. Viftene er plassert i tunnelåpningen og pumper luft inn til stuffen ved hjelp av fleksible ventilasjonskanaler, mens avgassene presses ut gjennom tunneltverrsnittet. Tunnelviftene er en av de store støykildene ved tunneldriften.

Strukturstøy er rystelser med så høy frekvens at de ikke gir følbare vibrasjoner, men vibrasjonene kan forplante seg gjennom berget til bygninger i nærheten. Avhengig av byggets struktur og fundamentering kan det da oppstå støy inne i bygningen. Det er spesielt arbeider med boring, pigging og annen mekanisk bearbeiding av berget som kan gi strukturstøy. Det er gitte grenseverdier for hvor mye strukturstøy som kan aksepteres, men i noen tilfeller vil det ikke være mulig å overholde disse kravene. Ulempene vil da bli regulert ved hjelp av begrensning i arbeidstid.



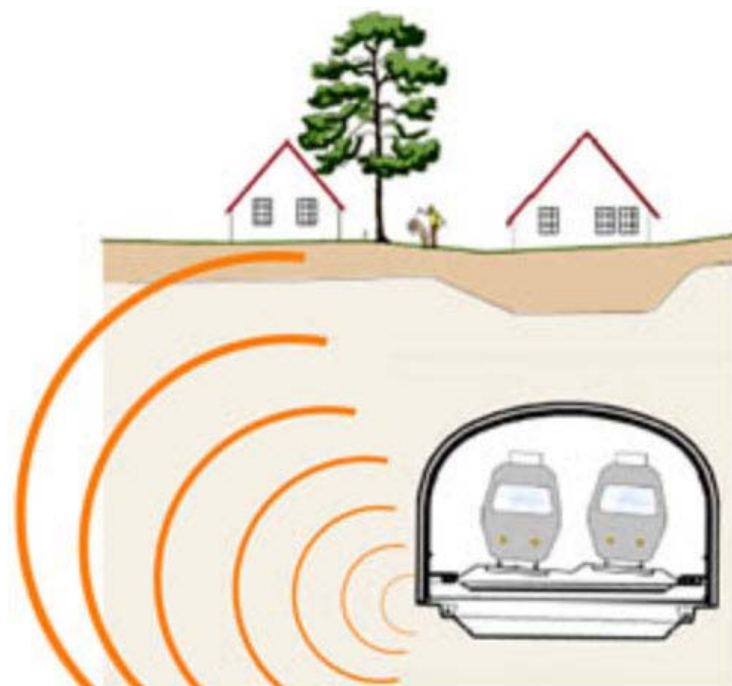
Figur 18: Strukturlyd i bygning fra boring i tunnel. (Illustrasjon fra Statens Vegvesen, Arild W. Solerød)

Rystelser oppstår ved salvesprengning. For å minske rystelsene på overflaten blir hver sprengning delt opp i mange små salver som blir avfyrt i rask rekkefølge. Salvene blir tilpasset omgivelsene og kvaliteten på fjellet. Rystelseskravene vil være tilpasset sårbarheten av bygninger og installasjoner i nærheten.



Figur 19: Rystelser fra sprengning (Illustrasjon fra Jernbaneverket)

I permanent fase vil ikke rystelser fra tunneler utgjøre noe problem, men det kan oppstå stukturstøy for eksempel fra togskinner. Denne støyen kan dempes ved hjelp av isolerende matter som demper vibrasjonene mellom skinner og berget.



Figur 20: Stukturstøy fra tog tunnel. (Illustrasjon fra Jernbaneverket)

Metoder for å hindre poretrykksreduksjon og setningsfare i anleggsfasen og permanent tilstand

Når en ny tunnel drives avskjæres vannfylte sprekker i berget. Tunnelen vil fungere som et drenerør og grunnvannet tappes ut av sprekke. Dette fører til at poretrykket lokalt reduseres, og via kryssende sprekkssystemer kan reduksjonen spre seg langt fra selve tunnelen. Poretrykksfallet avhenger av hvor stor lekkasjen er i forhold til nytt tilsig av grunnvann. Reduksjon av poretrykk i berg forplanter seg opp i overliggende løsmasse med påfølgende setninger som resultat. Denne problemstillingen er relevant både i anleggsfasen og i permanent situasjon.

Forinjeksjon kombinert med poretrykksovervåking:

Ved å ha kontroll på innlekkasjen i tunnelen samtidig som man måler det aktuelle poretrykket kan man få kontroll på setningsrisikoen. Ved konvensjonell drift er det vanlig å utføre tetting av berget i forkant av tunneldrivingen. Injeksjonsomfanget tilpasses slik at man oppnår en tetthet som sikrer at innlekkasjen holder seg under en på forhånd angitt maksimal verdi. Avstanden mellom injeksjonshullene vil avhenge av kravet til tetthet. Deretter injiseres mikroementbasert masse inn i hullene under stort trykk tilpasset aktuell bergoverdekning. Maksimaltrykk opp mot 80 bar er vanlig. Injeksjonsmassen trenger inn i små sprekker i berget og tetter disse slik at kommunikasjonen av grunnvannstrøm til tunnelen stoppes eller begrenses kraftig. Etter hvert som man sprenger seg videre må det settes ny injeksjonsskjerm med overlapp til den foregående slik at bergmassen hele tiden er tettet før tunnelen sprenges.

Svaret på om man har lyktes helt får man imidlertid ikke før man har sprengt ut tunnelen. Dersom innlekkasjen overskrider de gitte verdier kan dette gi seg utslag i at poretrykket synker og setningsfaren øker. Poretrykket måles ved at det bores ned brønner og installeres poretrykksmålere, slik at man får oversikt over aktuelt poretrykk.

Vanninfiltrasjon og etterinjeksjon:

Ved fall i poretrykket kan det være behov for å gjøre avbøtende tiltak i form av vanninfiltrasjon eller etterinjeksjon. Hvis man registrerer unaturlig fall i poretrykket kan man pumpe inn vann i sprekksystemene via på forhånd etablerte vanninfiltrasjonsbrønner. På den måten kan man kompensere for innlekkasjen og opprettholde poretrykket. Denne metoden kan være en bra løsning dersom problemet med poretrykksfall og potensielle setninger er lokal både i utstrekning og tid. Tunnelen må i dette tilfellet bygges med vanntett utstøping slik at lekkasjen elimineres i permanent fase.

Det finnes eksempler på tunneler i Oslo området hvor man ikke har lyktes med permanent tetting og hvor vanninfiltrasjonsanleggene må driftes også i permanent situasjon.

Dersom innlekkasjen er for stor kan også etterinjeksjon benyttes. Det er imidlertid ikke lett å tette lekkasjer med denne metoden fordi sementen vaskes ut av lekkasjevannet før sementen herder. I Romeriksporten ble det behov for utstrakt bruk av etterinjeksjon, men likevel er det behov for permanent vanninfiltrasjon.

Vanntett utstøping:

I permanent tilstand er en vanntett tunnel den sikreste metoden for å hindre poretrykksfall og setninger. Selv om nye tunneler har blitt injisert med strenge lekkasjekriterier har den totale innlekkasjen øket ettersom stadig nye tunneler er bygget i Oslo. Det er derfor naturlig å vurdere fullstendig vanntetting ved at tunnelen fores med et vanntett betonghvelv. Vanntett betongutstøping har også vært benyttet tidligere i tunneler i Oslo, for eksempel for Oslotunnelen og Fjellinjen.

Vanntett betongutstøping sikrer en tett tunnel i permanent tilstand, men også i anleggsfasen må det sikres at innlekkasje ikke medfører poretrykksfall som kan gi setningsskader. En måte er å utføre den vanntette støpen umiddelbart etter sprengning, men det er store praktiske og økonomiske ulemper med å etablere den utstøpingen på stoff i takt med drivesekvensen. Dette gjøres bare unntaksvis der spesielle forhold krever dette. Ved innlekkasjer utover det omgivelsene kan tåle selv i en kortere anleggsfase må poretrykksnivået da opprettholdes ved vanninfiltrasjon før den vanntette utstøpingen er etablert.

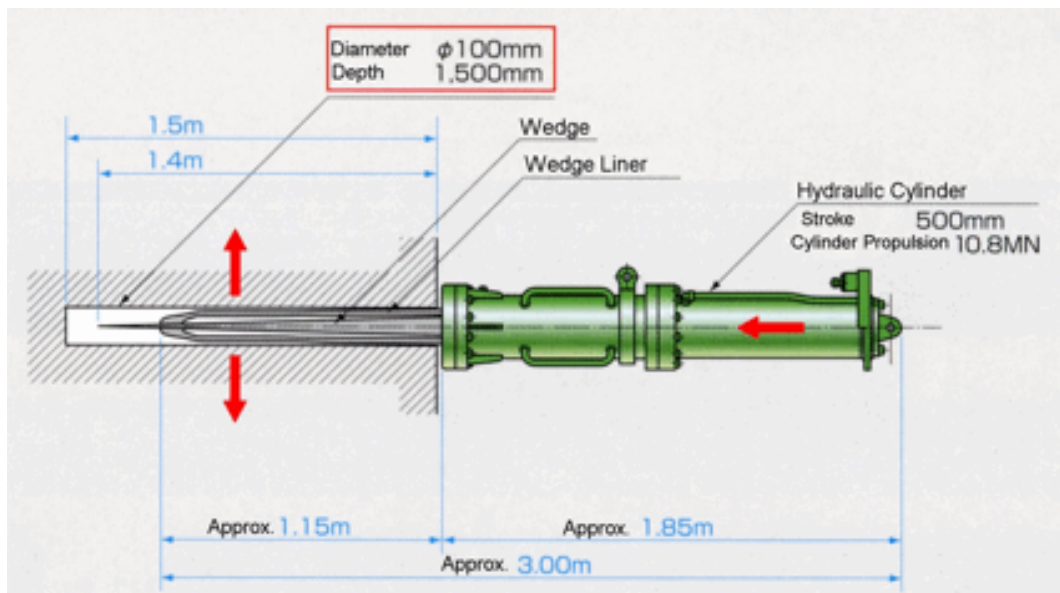
Boring og mekanisk bryting av berg

Ved forhold som krever spesielt skånsomt berguttak kan tunnelen drives ved hjelp av boring og mekanisk bryting av berget. Denne metoden har så vidt vi vet ikke vært benyttet ved tunneldrift i Norge, men har blitt benyttet for berguttak i byggeproper tett inn mot eksisterende bygg. I utlandet har metoden blitt benyttet også i tunneldrift og uttak av haller i berg med et relativt effektivt masseuttak begrensningene tatt i betraktning.

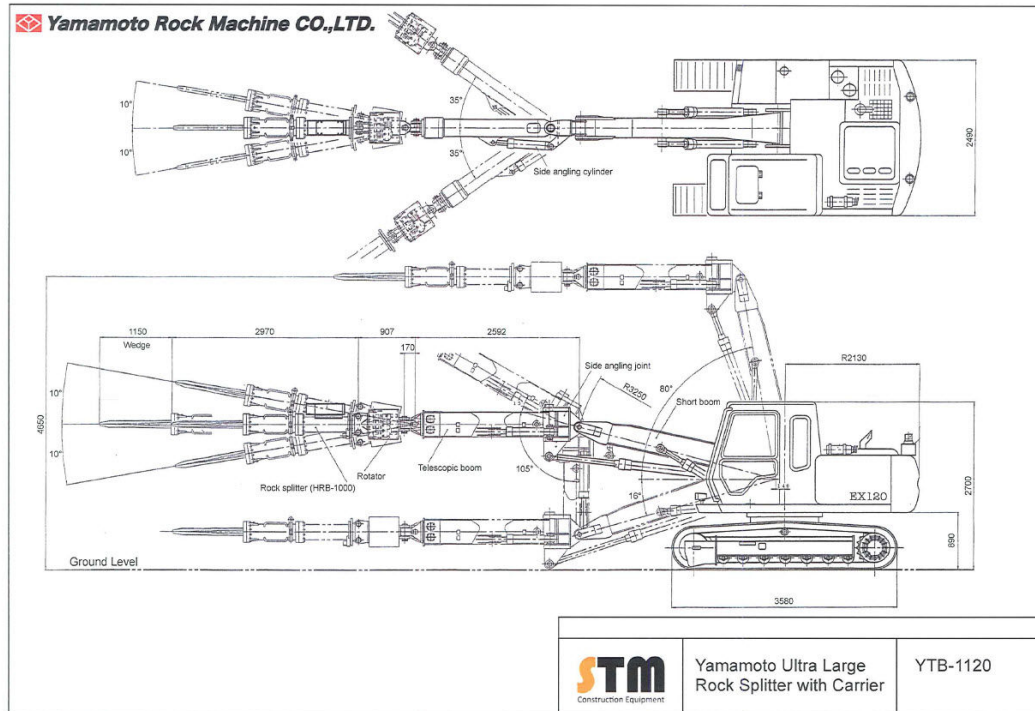
For partier på indre del av Follobanen er metoden foreslått benyttet ved passering tett inn mot eksisterende tunnelanlegg og berghaller.

Metoden krever at det bores et hullmønster på stoffen tilsvarende som for konvensjonell boring og sprengning, men med et noe større omfang. Et normalt borehull for salvesprengning er $\varnothing 42\text{-}45\text{ mm}$, men for mekanisk bryting er normal hull diameter $\varnothing 100\text{-}125\text{ mm}$. Avstanden mellom borhullene vil være mindre enn for salvesprengning. Hullavstand og mønster vil også være svært avhengig av de stedlige bergmekaniske egenskaper.

Selve bergbrytingen gjøres ved bruk av hydrauliske jekker som presser kiler inn i borhullene og dermed splitter berget. Utstyret kan monteres på en vanlig tunnelborerigg, bergboringsrigg eller gravemaskin.



Figur 21: Hydraulisk bergbryter utstyr med kile som presses inn i borhullet



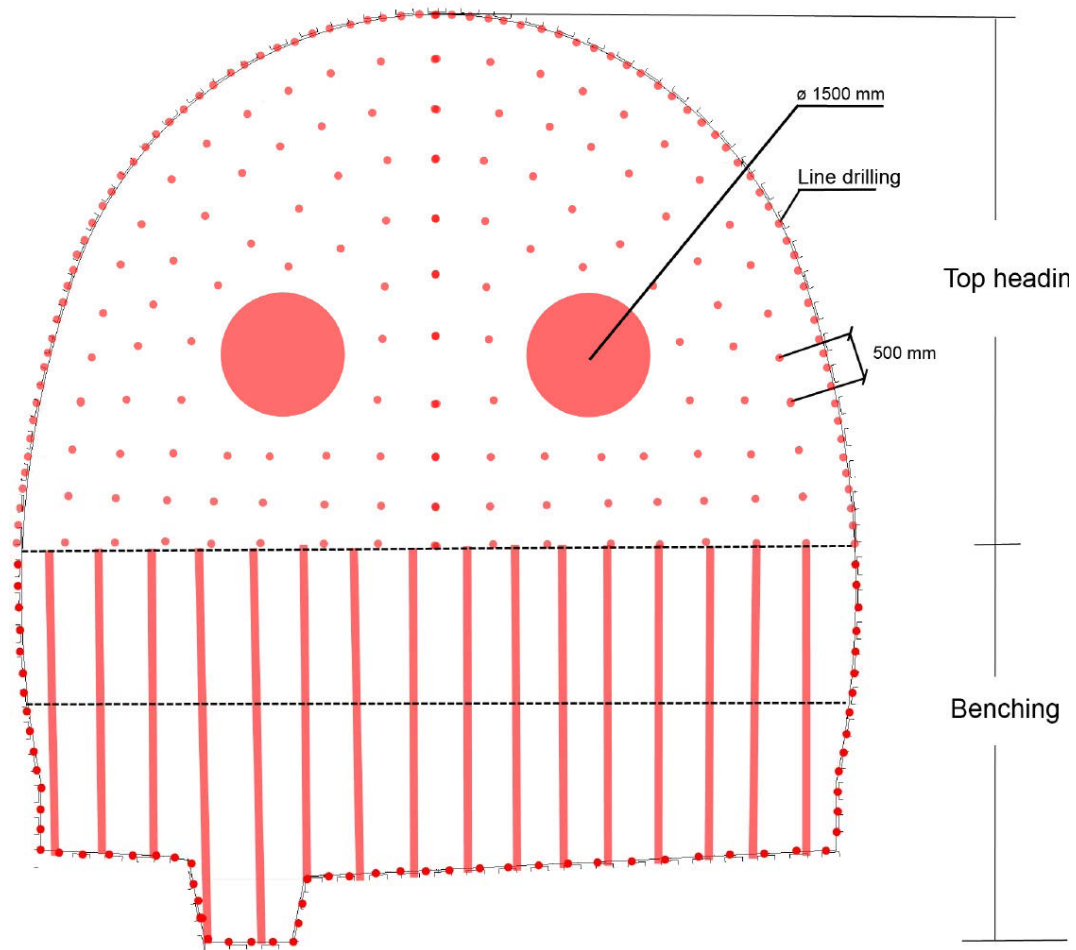
Figur 22: Figuren viser en gravemaskin utstyrt med en hydraulisk bergbryter av kilettype

En annen variant er å benytte en sylinderjekk som føres inn i borhullet med hydrauliske tverrstempler som presser mot veggen i borhullet



Figur 23: Hydraulisk bergbryter utstyr; sylinder med tverrstempel som presses ut inne i borhullet

For å ha en åpning å starte brytingen mot er det normalt å bore spalter eller et større pilothull i senter av tunnelen. I tillegg bores tett kontur mot tunnelens ytterkant. Det kan være effektivt å bryte den øvre delen av tunnelverrsnittet med horisontal boring og splitting, mens den nedre delen bores med vertikale hull og splittes mot den frie overflaten. Dette gir mindre innspenning og mer effektiv bryting av berget. Den vertikale brytingen kan deles i flere høyder avhengig av tunnelprofilets totale høyde og bergets mekaniske egenskaper.



Figur 24: Figuren viser et mulig bormønster og pilothull for bryting av berg. Øvre del av tunnelen brytes med horisontal boring, mens nedre del brytes med vertikal boring.

Tilsvarende som for konvensjonell boring og sprengning blir det normalt boret en kontur rundt tunnelprofilen med liten hullavstand for å få en jevnest mulig tunnelflate med minst mulig bergutfall utover foreskrevet profil.

Metoden anses som aktuell i spesielle tilfeller ved passering nær eksisterende underjordsanlegg med strenge krav til sprengningsrystelser og sterke begrensninger med hensyn til sprengningstidspunkt. Selve hullboringen introduserer strukturstøy som må tilpasses lokale støykrav men for øvrig er metoden svært skånsom. Det blir

ingen rystelser og arbeidet kan dermed foregå uavhengig av rystelsesbegrensninger. Derfor kan metoden i enkelte tilfeller vise seg å være effektiv i tillegg til å være skånsom.

Vann- og frostsikring og innredningsarbeider blir tilsvarende som for en konvensjonelt drevet tunnel.

Byggemetoder løsmassetunneler

Åpen byggegrop

Byggegropp som tas ut fra terreng og helt ned til bunn konstruksjon. Konstruksjonen bygges opp og det fylles over til slutt. Byggegroppen må sikres med støttekonstruksjoner.

Løsmassetunnelene er ofte en del av et tunnelsystem med bergtunneler og benyttes for å lage forbindelsen med bane i dagen og bergtunnelen.

Spunt innvendig/utvendig avstivet

De fleste byggegropene avstives med stålpunt. Stålpunten rammes eller vibreres ned i løsmassene fra terreng. Spunten avstives enten innvendig med stålstivere på tvers eller utvendig med stag som bores ned og inn i berg.



Figur 25: Byggegropp for rampe fra Operatunnelen. Stålpunt med innvendige stålstivere. (Foto: Geovita AS)

Et eksempel på en byggegrop for løsmassetunnel inn mot en bergtunnel avstivet med stålpunt og utvendige stag er vist under. Dette er byggegropen for jernbanetunnelen fra Lysaker til Sandvika.



Figur 26: Byggegropp Lysaker Vest. (Foto: Geovita AS)

En utfordring med byggegropene for veg og bane er ofte at de bygges tett inntil eksisterende veger eller baner som er i drift. Forholdene er derfor trange med begrenset plass til anleggsdrift. Forskjæringen for Bærumstunnelen ved Lysaker vest er vist som eksempel i bildet under.



Figur 27: Flyfoto er hentet fra Finn.kart «historiske kart»

Et annet eksempel er byggegropen for tunnelen for Lørenbanen på Hasle som drives tett inntil Grorudbanen og som viser en innvendig avstivet spuntgrop.



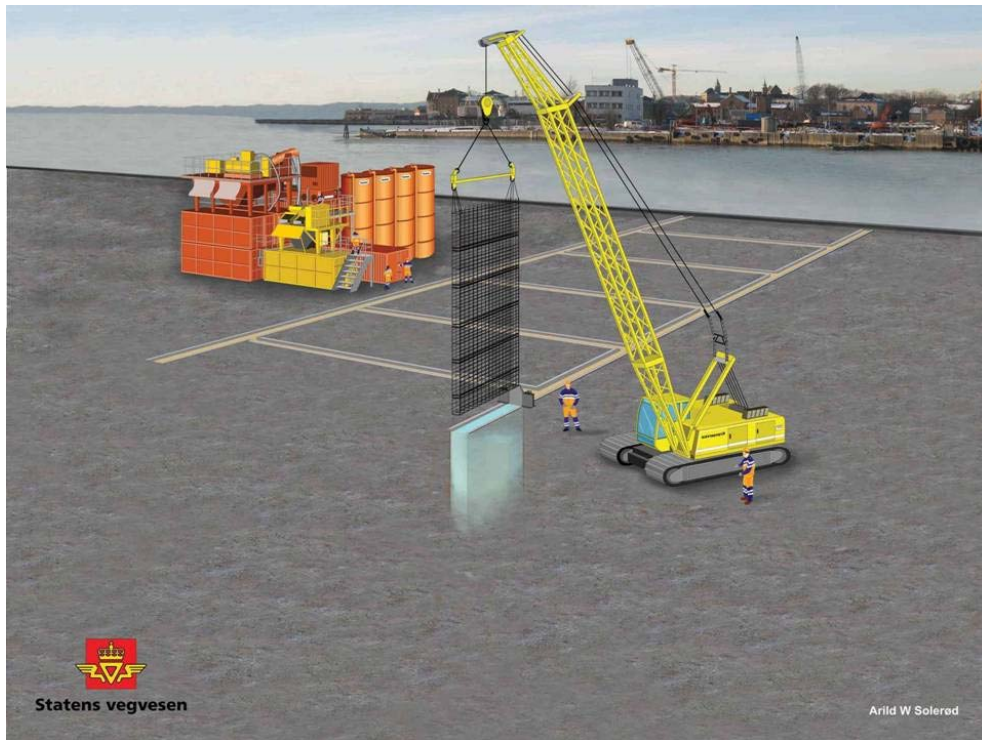
Figur 28: Lørenbanen (Foto: Geovita AS)

Slissevegger

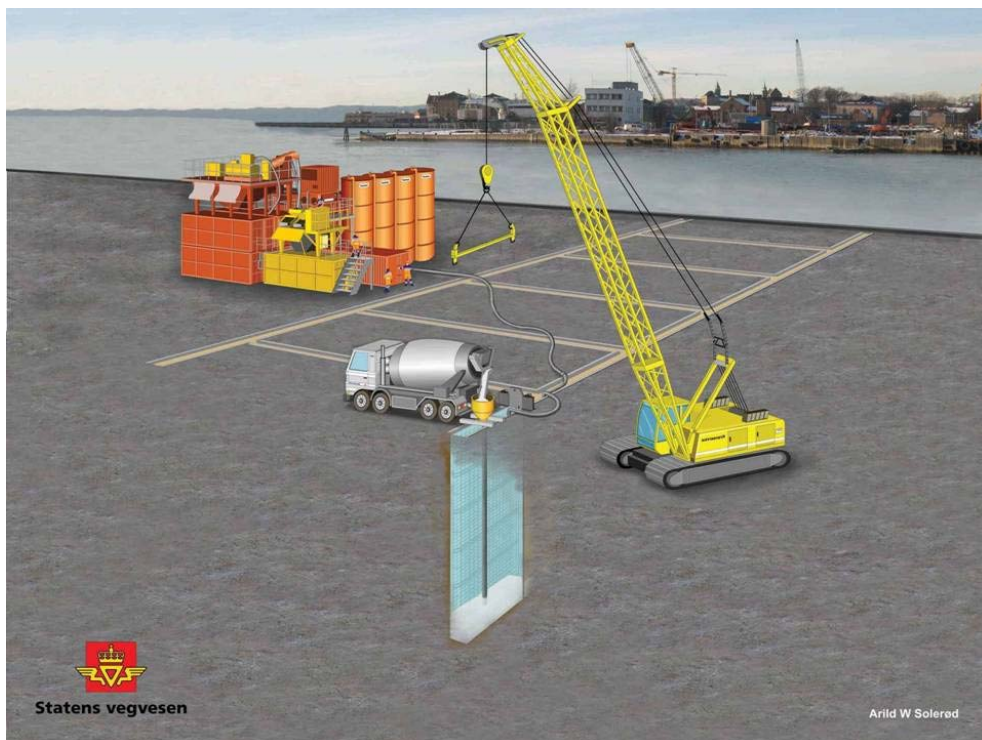
Slissevegger er betongvegger utstøpt direkte i grøfter utgravet i løsmasser.



Figur 29: Slissevegger - graving av grøft (Illustrasjon: SVV)



Figur 30: Slissevegger – nedsekning av armering (Illustrasjon: SVV)



Figur 31: Slissevegger - betongstøp (Illustrasjon: SVV)



Figur 32: Metoden er benyttet ved byggingen av løsmassetunneldelen av Operatunnelen på Sørenga. (Foto: SVV)



Figur 33: Løsmassetunnel Sørenga med slissevegger (Foto: SVV)

Metoden ble også brukt ved byggingen av fellestunnelen i Studenterlunden og Oslo-tunnelen fra Kirkeristen til Trakta på 70-tallet.

Slisseveggene kan enten være midlertidige (som Operatunnelen på Sørenga), eller være permanente og inngå som del av den ferdige tunnelkonstruksjonen (som fellestunnelen).

Slissevegger er i utgangspunktet en kostbar metode, men dersom slisseveggene kan inngå som del av den permanente konstruksjonen, kan metoden være gunstig.

Sekantpeler

Sekantpeler kan settes sammen til en sammenhengende vegg. Det bors primær- og sekundærpeler del pelene overlapper.

Pelene støpes ut med betong og sekundærpelene kan armeres.

Sekantpelevegg er lite brukt på byggegrøper for tunneler, men er i Norge brukt blant annet på sjakt S9 for Midgardsormen i Oslo og enkelte byggegrøper.



Figur 34: Sekantpelevegg på Fellesprosjektet langs Mjøsa (Foto: JBV)

Cut & cover

Byggegrøp som tas under en takplate. Støtteveggene etableres fra terreng først. Deretter bygges takplate og terrenget reetableres før videre bygging som tunneldrift i løsmasser.

Byggemetoden muliggjør at overflaten raskere kan tas i bruk. Dette vil kunne være en fordel i bystrøk i forhold til trafikk og handel.

Ulempene er at det er generelt mer kostbart å drive tunnel under takplata enn å grave åpent i en byggegrop.



Figur 35: Oddernestunnelen. (Foto: www.veidekke.no)

Eksempler på denne metoden er Oddernestunnelen for E18 i Kristiansand og Vaterlandstunnelen i Oslo på Ring 1.

Grunnforsterkning

I forbindelse med bygging av løsmassetunneler kan det være behov for å forbedre løsmassene. Store deler av løsmassene i Oslo sentrum består av leire, som stedvis er meget bløt og sensitiv (kvikkleire).

Leire kan forsterkes ved innblanding av kalksement. Dette gjøres med egne maskiner som visper inn bindemiddelet i form av peler (kalksementpeler).

Ved vanskelige forhold kan det også være aktuelt å benytte jetpeler. Jetpeler støpes ut i bakken ved at de finere deler av kornene i løsmassene eroderes ut og erstattes av sement.

Grunnfrysing kan også benyttes ved vanskelige forhold.

Tettemetoder

Løsmassetunneler må, som for bergtunneler, ikke medføre uønsket drenering av grunnvann og senkning av poretrykk.

I byggetiden oppnås dette ved å benytte tette støttevegger i kombinasjon med midlertid vanninfiltrasjon.

I permanent situasjon må normalt løsmassetunneler i Oslo bygges vanntette. Dette oppnås normalt ved å bygge de i armert betong. Tunnelene må sikres mot oppdrift.

Bare unntaksvis kan det bygges drenerte tunneler.

Fundamentering

Løsmassetunnelene kan enten fundamenteres til berg eller fundamenteres direkte i løsmassene.

Normalt vil løsmassetunnelen føre til en avlastning av grunnen slik at byggingen av tunnelen ikke vil føre til setninger. Selv store løsmassetunneler kan derfor fundamenteres direkte. Eksempler på direktefundamenterte tunneler er Bjørvikatunnelen ute i havnebassenget og inne på Sørenga.

I bystrøk kan utenforliggende forhold medføre at løsmassetunnelen bør fundamenteres til berg. Dette kan være behov eller et senere ønske om å fundamenterer ny bebyggelse på tunnelen, omkringliggende utbygging som kan føre til setninger, mm.

Å fundamenterer løsmassetunnelen til berg vil være en robust løsning som vil kunne takle fremtidig byutvikling og vil vanligvis være å foretrekke i Oslo.