

ARBEIDSSIKRING NÅR SKAL MAN BRUKE HVA, OG HVILKET OMFANG?

Sivilingeniør, NTNf-stipendiat Arild Palmstrøm

1. INNLEDNING

Erfaringer fra de mer enn 5000 km tunneler som er bygget i Norge er at det normalt er god til middels stabilitet, slik at det bare i relativt liten grad er nødvendig mer omfattende sikrings- eller forsterkningstiltak. Vanlig praksis er at denne sikringen tilpasses eller skreddersys til de berg- og stabilitetsforhold som råder på det aktuelle stedet i tunnelen.

2. HVA ER ARBEIDSSIKRING?

Ved tunnelsprengning i Norge er det etter hvert innarbeidet den praksis at sikringsarbeidene utføres etter to prinsipper. Det ene består i at sikringen har som hensikt å sørge for stabile (sikre) arbeidsforhold i tunnelen mens sprengningsarbeidene pågår, - arbeidssikring. Den andre formen for sikring - permanent sikring - har som mål å sørge for at ønsket langtids-stabilitet oppnås gjennom den tiden tunnelen skal være i bruk. Mens kravene til arbeidssikring er de samme for alle tunneler, nemlig at den skal ivareta sikkerheten til tunnelarbeiderne, vil kravene til permanent sikring kunne variere avhengig av tunnelens bruk og de påkjenninger den utsettes for.

Arbeidssikringen blir vesentlig utført der sprengningsarbeidene utføres, dvs. på eller nær stoff. Permanent sikring, derimot, blir i utgangspunktet utført bak stoff, ofte som en ytterligere forsterkning av arbeidssikringen. Tidspunktet når sikringen blir utført påvirker kostnadene. Dersom installasjon av sikringen hemmer inndriften av tunnelen, dvs. at bore-spreng-utlastingsarbeidene blir forsinket, må kostnadene for dette belastes sikringen. Dette innebærer at sikring utført på og nær stoff vil falle dyrere enn om de utføres bak stoff.

Ved å hindre fare for skader fra rasfarlig berg vil arbeidssikring inngå som et av de tiltak som gjøres for å oppnå et akseptabelt arbeidsmiljø i tunneler. Jeg skal ikke her komme inn på de konkrete kravene som stilles til arbeidsmiljøet, hvori sikkerhet inngår. Dette vil bli nærmere omtalt av Rolf Leistad i en senere forelesning.

Det har i Norge vært vanlig å forutsette at berget, dvs. grunnforholdene, er byggherrens ansvar, mens entreprenøren er ansvarlig for gjennomføring av tunnelarbeidene. Av dette følger at byggherren dekker kostnadene for sikringsarbeidene, mens det påhviler entreprenøren at arbeidene blir utført forsvarlig og kvalitetsmessig. I dette ligger entreprenørens vurdering av nødvendig arbeidssikring.

I de siste årene har en stadig større del av den permanente sikringen blitt utført i forbindelse med arbeidssikringen. Grunnen til dette kan dels være at noe av denne sikringen utføres på natten når det ikke foregår sprengning. I tillegg er utførelsen av både bolting og sprøytebetong blitt effektivisert, dette reduserer tapt tid for sprengningsarbeidene. Ved en slik "permanent kvalitet" stilles større krav til utførelsen av arbeidssikringen, noe vi skal komme mer inn på senere.

3. FORHOLD SOM PÅVIRKER OMFANGET AV ARBEIDSSIKRING

Arbeidssikring er et tema som er mye diskutert på anleggene og som ofte har opptatt de involverte parter sterkest under driving av tunneler. Årsakene til dette er mange, men viktigst er kanskje alle de komplekse forhold som inngår. Ikke bare er disse forholdene mange og uensartede, men de faktorene som innvirker, er oftest vanskelig

målbare. Og ikke minst er det ikke sjelden spørsmål om penger. Det blir i mange tilfelle en form for syensing som diskuteres, ofte er erfaringen til de motstridende partene forskjellig, både når det gjelder stabiliteten i tunnelen og hvilke metoder som egner seg best.

De bergmasser tunneler sprenges i, utgjør som regel et meget inhomogent og variabelt materiale med meget ulik kvalitet. Også tunnelsprengningen påvirker bergmassens kvalitet og dens oppførsel. Både bergmassene og bearbeidingen av disse innvirker således på hvordan bergmassene rundt tunnelen vil være og hva som må gjøres for at det skal være akseptable arbeidsforhold under sprengningsarbeidene. Det er derfor en mangeartet utfordring som møtes ved tunneldriften og som skal løses underveis. De ulike former og omfang av arbeidssikring bestemmes hovedsaklig av følgende forhold:

1. Bergmessige årsaker, hovedsaklig
 - bergmassenes sammensetning og oppbygning, samt
 - bergspenninger og vannforhold.
2. Anleggs- og tunnelmessige årsaker, slike som
 - tunnelens størrelse, stigning/synk og orientering,
 - boremønster, borenøyaktighet og ladning,
 - anleggstekniske, kontraktsmessige og erfaringsmessige forhold.

3.1. Bergmessige årsaker

De ulike typer bergmasser tunneler drives i vil hovedsaklig innvirke på følgende måter når det gjelder sikkerhet i tunneler:

- A. Stabilitet, dvs. fare for ras eller nedfall som kan skade personer eller utstyr.
- B. Vann - dvs. fare for vanninnbrudd som kan skade folk og/eller utstyr, samt sette tunnelens gjennomførbarhet i fare. Sikring mot vann kan i tillegg bedre det generelle arbeidsmiljøet ved utrivelige vannlekkasjer reduseres.
- C. Gass - dvs. fare for innbrudd av giftig eller brannfarlig gass som kan bety fare for tunnelarbeidernes sikkerhet.

A. Stabilitet

I norske tunneler utføres arbeidssikringen hovedsaklig for å bedre stabiliteten. En nærmere omtale av de viktigste forhold ved bergmasser som innvirker på stabiliteten, er gitt i kapittel 6.

B. Vann

Det er sjelden at utførelse av tetting mot vann har vært av en slik art at den kan karakteriseres som arbeidssikring. Dette forhold vil derfor ikke bli nærmere omtalt her. Tetting mot vann ved forinjeksjon inngår blant annet som en rutine ved bygging av undersjøiske vegg-tunneler. Jeg viser i den forbindelse til denne forelesningen. Nevnes bør, imidlertid, at der det er utført forinjeksjon, vil ofte stabiliteten være forbedret ved at injeksjonsmassen har fylt opp sprekker og økt friksjonen på disse. På slike steder er det derfor observert redusert bruk av arbeidssikring.

C. Gass

Bare i noen få tilfelle har vi i Norge merket gass (metan eller H₂S) i tunnelene ved at mindre lommer i bergmassene er punktert. Da dette ikke har ført til nevneverdige problemer, er emnet ikke nærmere omtalt.

3.2 Anleggs- og tunnelmessige forhold

Utover de bergmessige årsaker nevnt over, kan omfanget av arbeidssikringen være påvirket av følgende forhold ved sprengningsarbeidene:

- unøyaktig boring av konturhull,
- hard ladning av konturhull og av hullene i rasten innenfor,
- salvelengden.

Hvis vi ser nærmere på hva som kan oppnås med de boreriggene vi har i dag, er det visse praktiske forhold som begrenser nøyaktigheten av boringen. For å få plass til å bore konturhullene med boreriggen, må hullene vinkles ut slik at hullene innerst normalt er 20 - 25 cm lengre ut. Dette gir for normale salvelengder en vinkel på 2,5 - 5° og

fører til hakk i konturen for hver salve.

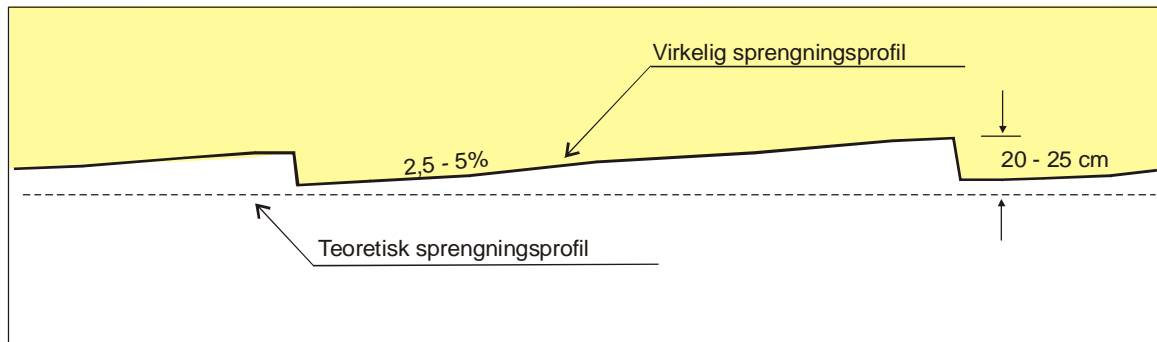


Fig. 1. Lengdesnitt langs hengen i en tunnel. For hver salve fremkommer hakk i tunneloverflaten. Dette er stabilitetsmessig sett ugunstig.

Dette forholdet influerer ofte på omfanget av sikring, særlig der det opptrer sprekker med liten vinkel til tunneloverflaten. I hakkene rives bergmassene lettere opp, særlig dersom det benyttes for sterk ladning i bunnen av hullene.

Nøyaktig boring fører til en jevnere fordeling av sprengstoffet i konturen, samt at størrelsen på hakkene blir minst mulig. Reduserte ladninger og mindre hullavstand i konturen river således bergmassene mindre opp. I denne forbindelse er det viktig at det også benyttes reduserte ladninger i hullrasten innenfor konturen.

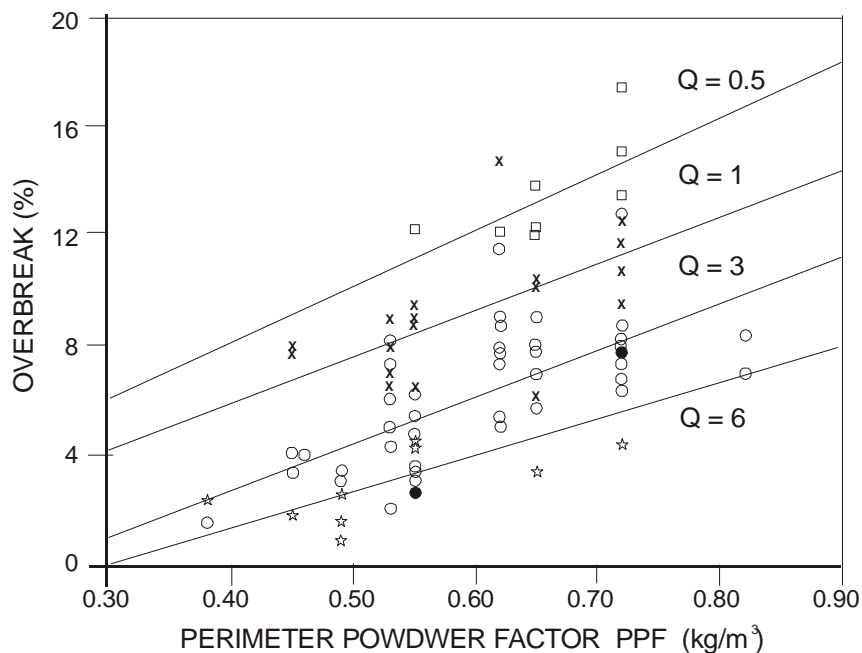


Fig. 2. % overmasse i tunnelen avhengig av bergkvalitet (se vedlegg) og ladning i konturhullene angitt som "perimeter powder factor". Etter Franklin og Ibarra.

I mange kontrakter stilles det krav til både boring og ladning nettopp med ønske om å redusere sikringsomfanget. Ofte er det i kontraktene trussel om bot som skal "tvinge" entreprenøren til å frembringe "en god tunnelkontur". I noen få tilfelle er det utformet en avregning med kombinasjon av bot/bonus avhengig av resultatet.

<p><u>Kontursprengning</u></p> <p><u>Standard arbeidsbeskrivelse</u></p> <p>a) Prosessen omfatter kontursprengning (presplitt eller slettsprengning), der det stilles særlige krav til jevnhet av den sprengte fjelloverflaten.</p> <p>c) Avstanden mellom konturhullene, forsetning og ladningsmengde fastlegges i samråd med byggherren. Konturhull skal ansettes med en nøyaktighet på 100 mm og ikke innenfor prosjektert kontur. Retningsavviket ved ansett skal ikke overstige 10%.</p> <p>f) Mengden måles som prosjektert lengde tunnel. Enhet: m</p> <p><u>Spesiell arbeidsbeskrivelse</u></p> <p>a) Prosessen omfatter kontursprengning av tunnelen.</p> <p>c) Kontursprengning skal foregå som slettsprengning med 22 mm rørladning. Hullavstand 0,6 m og avstand til nest ytterste hullrad 0,8 m. Nest ytterste hullrad skal ha redusert ladning i forhold til de øvrige strossehull.</p> <p>Det skal gis pris på kontursprengning med alternative konturhullavstander.</p> <p>Retningsavviket ved ansett skal ikke overstige 6%.</p> <p>Dersom flere enn 3 konturhull pr. salve ikke overholder kravet til borenøyaktighet betales det ikke for kontursprengning over salvelengden.</p>

Fig. 3. Utdrag av spesifikasjonene i en tunnelkontrakt for konturboring. Her stilles krav til boringen og straff der resultatet ikke er tilfredsstillende.

4. METODER SOM BENYTTES TIL ARBEIDSSIKRING

4.1 Sikringsrensk

Med rensk her menes løsgjøring og nedtaking av løse (rasfarlige) fragmenter og blokker i tunneloverflaten. Rensk kan foretas manuelt eller mekanisk.

Vanligvis benyttes manuell rensk med renskespett. Denne utføres enten fra salverøysa eller fra spesiell platting som kan beveges og forflyttes slik at rensking av heng og vegger og eventuelt av stoffen kan nås med spettet. I enkelte situasjoner har boreriggen blitt benyttet til å renske ned løst fjell når rensking med spett er vanskelig eller farlig.

Mekanisk rensk utføres oftest med spesielle maskiner påmontert en hammer på en bevegelig arm. I småfallent berg eller i svakhetssoner kan lett mekanisk rensk bli for hard, dvs. at rensken tar ned mer masser enn det som egentlig er nødvendig.

Bruk av rensk som arbeidssikring er kanskje den metoden som gjennom tidene har vært mest omtalt og diskutert. Etter salvesprengningen vil det alltid være noe løst berg hengende igjen i tunneloverflaten. Noe av dette er som nevnt tidligere, et direkte resultat av sprengningen. Som vi skal komme litt inn på senere, kan omfanget av slikt løst berg reduseres ved egnet opplegg for sprengningen.

Ved normal utførelse av tunnelsprengningen foretas rensk på røysa, - til dels mens utlastingen pågår; derved tas det mest løse ned. I en del tilfelle er imidlertid bergforholdene av en slik karakter at det må vesentlig mer rensk til for å få ned løst berg i tunneloverflaten. Noen ganger kan rensken nærmest fortsette i det uendelige. I vanlige tunnelkontrakter er det slik at entreprenøren skal dekke såkalt "nødvendig salverensk", altså et moderat omfang rensk som kan foretas uten at dette forsinker tunneldrivingen vesentlig. I de fleste kontraktene for noen år tilbake var det i mengdelisten egen post for ekstra rensk utover salverensken. Dette ble da betraktet som en form for sikring og ble betalt deretter. De mange diskusjoner som oppsto, skyldes dels uenighet om grensen mellom salve- og ekstra rensk, dels vanskelig kontroll fordi ekstra rensk gjøres opp som timeverk eller manntime. En kan vel si at utførelse og oppgjør for ekstra rensk ofte ble basert på et tillitsforhold mellom entreprenør og byggherre.

I dag inngår ofte ikke ekstra rensk som egen post i kontraktens mengdeliste, men dekkes forutsetningsvis av enhetsprisen for tunnelsprengningen. Der det forekommer såkalt "godt fjell" som krever lite ekstra rensk, vil ikke en slik kontrakt virke spesielt urettferdig. Men er det mye løst berg, slik at et større omfang ekstra rensk er

nødvendig, vil entreprenøren måtte bære utgiftene for forhold, som forårsakes av de mange usikre faktorer som er knyttet til det å forutsi bergkvaliteten i tunneler. Ved slike kontrakter, bør derfor grunnforholdene dokumenteres bedre enn det som i dag er vanlig i Norge.

Med den usikkerhet det er for entreprenøren å forutsi omfanget av ekstra rensk, vil det være knyttet "gambling" til beregning av sprengningsprisen. Teoretisk burde denne usikkerheten føre til at han legger inn en høyere enhetspris på sprengningen. Hvorvidt dette er tilfelle beror imidlertid på flere forhold ved anbudsregningen, hvori konkurranse og bestemmelser i anbudspapirene vel er de viktigste. På lengre sikt vil ofte byggherrene gjennomgående måtte betale mer med økende usikkerhet i anbudsregningen.

Et annet meget viktig forhold i denne sammenhengen er hvorvidt rensk - når den i sin helhet skal dekkes av entreprenøren - vil bli benyttet dersom det er mulig å erstatte den med andre sikringsmidler som det honoreres for. For byggherren kan dette bli kostbart.

4.2 Bolter

Bolter ble første gang tatt i bruk som fjellsikring i 1870-årene. Først fra 1950-årene ble imidlertid bolting anerkjent som brukbar sikring, og fra da av har det vært en kontinuerlig utvikling av metoder og utstyr. Rundt regnet 500 000 bolter innsettes årlig i norske tunneler.

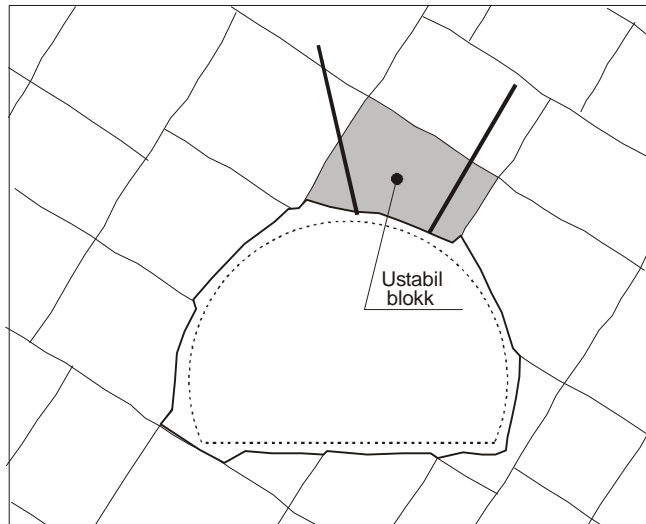


Fig. 4. Bolter egner seg først og fremst til sikring av avløste blokker og fragmenter i tunneloverflaten.

Metoden går i hovedsak ut på at ustabile, rasfarlige blokker i tunneloverflaten henges opp i bolter som gjennom et borehull festes til innenforliggende, stabile bergmasser. Ofte benyttes bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler slik som fjellbånd, nett eller sprøytebetong. Dette gjør at bolting er en meget fleksibel sikringsmetode som kan skreddersys til mange ulike bergkvaliteter.

De bolter som benyttes mest i dag, virker på 3 ulike måter:

- ved punktfeste i indre ende (ved ekspansjonshylse eller polyesterlim),
- ved innstøping (i form av mørtel eller polyester),
- ved friksjon mellom bolt og hullvegg (type swellex).

Av disse er det bolter med punktforankring som oftest blir benyttet til arbeidssikring pga. rask virkemåte. De såkalte rørboltene kan senere gyses slik at de får full innstøping og forspenning. Også enkelte andre punktforankrede boltetyper kan senere gyses. Derved får boltene bedre beskyttelse mot korrosjon og kan inngå som en del av den permanente sikringen.

Bånd og nett sammen med bolter benyttes oftest der det er mer småfallent berg eller der det opptrer sprakefjell. I bergmasser med særlig lav stabilitet er det med hell benyttet forbolting og hvis påkrevet kortere salvelengder. Disse inngår ofte i de mer spesielle sikringsmetoder omtalt senere i dette kapitlet.

4.3 Sprøytebetong

Sprøytebetong er en sikringsmetode som etter hvert er blitt hurtig og enkel å bruke og derfor attraktiv å benytte. Metoden ble tatt i bruk allerede i 50-årene, men kom først til mer organisert bruk i slutten av 60-årene og begynnelsen av 70-årene. I 80-årene ble tilsetning stålfibre innført, og det er denne "fiberbetong" metoden som i dag synes å bli mest benyttet.

Tidligere ble ofte sprøytebetongen armert med et lett armeringsnett; nå er denne metoden for det meste erstattet med fiberbetong, som med en gjennomgående langt bedre kvalitet av påført betong, regnes for å være en bedre sikring, forutsatt samme lagtykkelse.

Med sin inntrengningsevne og heft hindres deformasjoner av bergmassene nærmest tunneloverflaten, slik at innspenningen og friksjonen på sprekke i bergmassene rundt tunnelen opprettholdes. I mange tilfelle vil selv en beskjeden lagtykkelse gi stor bedring av stabiliteten, fordi bergmassene ved denne effekten blir i stand til selv å oppta belastningene.

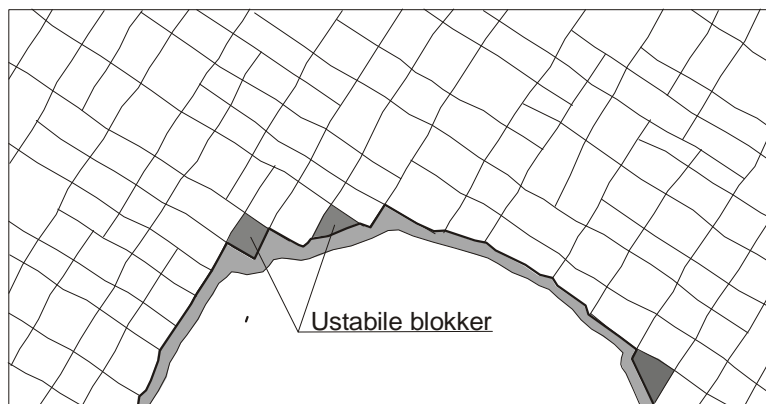


Fig. 5. Sprøytebetong er særlig godt egnet der det forekommer småfallent berg, idet den forhindrer blokker og stein fra å løsne. Derved forhindres begynnende utrasing.

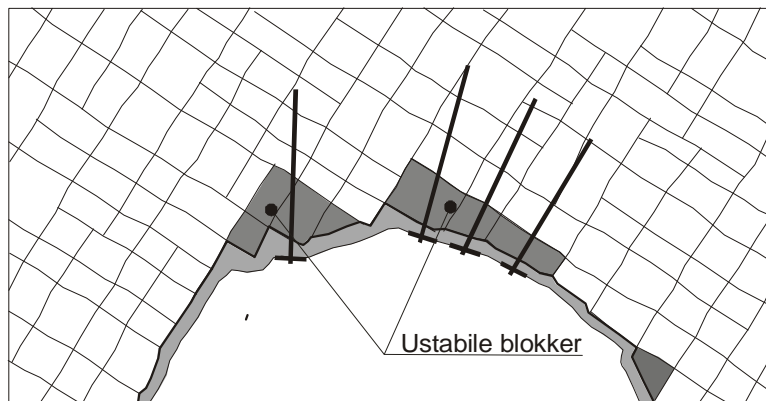


Fig. 6. Kombinasjon av bolter og sprøytebetong gir en meget fleksibel sikring som kan takle mange av de ustabile bergforhold som opptrer.

Kort tilriggingstid, hurtig avbinding, ingen forskaling samt uavhengighet av fjelloverflatens form gjør sprøytebetong velegnet til bruk som arbeidssikring.

Det er særlig ved småfallent berg at sprøytebetong er egnet. Blir det noe leire på sprekke slik at heften stedvis reduseres, er fiberbetong hensiktsmessig. Og er bergmassene litt omdannet eller det er sleppete berg, kan det være aktuelt å forsterke sprøytebetongen med bolter.

Også i sprøtt berg utsatt for høye bergspenninger der sprakefjell opptrer, er sprøytebetong med fordel blitt benyttet som arbeidssikring. Som permanent sikring er det viktig å forsterke sprøytebetongen med bolter.

I og med at det er så hendig å benytte sprøytebetong i forhold til for eksempel rensk og bolter, kan det være fristende overdrive bruken av denne metoden. Den stadige økende bruk av sprøytebetong kan til dels være begrundet av et generelt mindre omfang av rensk. Det kan også være et resultat av ønsket om "bedre stabilitet" kombinert med at stoffmannskapet som nevnt i siste kapittel, etterhvert får mindre "følelse" med variasjonene i bergkvaliteten og vil derfor uvilkårlig sikre mer enn tidligere.

Bruk av sprøytebetong tildekker bergkvaliteten - dette vanskeliggjør bestemmelse av permanent sikring, hvilket vi skal komme tilbake til senere.

4.4 *Betongutstøpning*

Ved særlig ustabile og rasfarlige bergforhold, for eksempel ved større, ofte leirholdige svakhetssoner der det er fare for at nedfall eller utrasning av større volum kan forekomme, er betongutstøpning ofte aktuelt som arbeids- (og permanent) sikring. Denne utføres vanligvis som uarmert kontaktstøp mot fjell. Da bergmassene ved utstøpning på stoff ofte er særlig rasfarlige, er sprøytebetong de senere årene stadig oftere blitt benyttet som midlertidig sikring før støpeskjoldet skyves fram. Dette for å sikre mot nedfall som kan skade folk; særlig der de må bevege seg under usikret berg utenfor skjoldet som ved etablering av indre endesteng. Samtidig vil sprøytebetongen redusere faren for ras i formen.

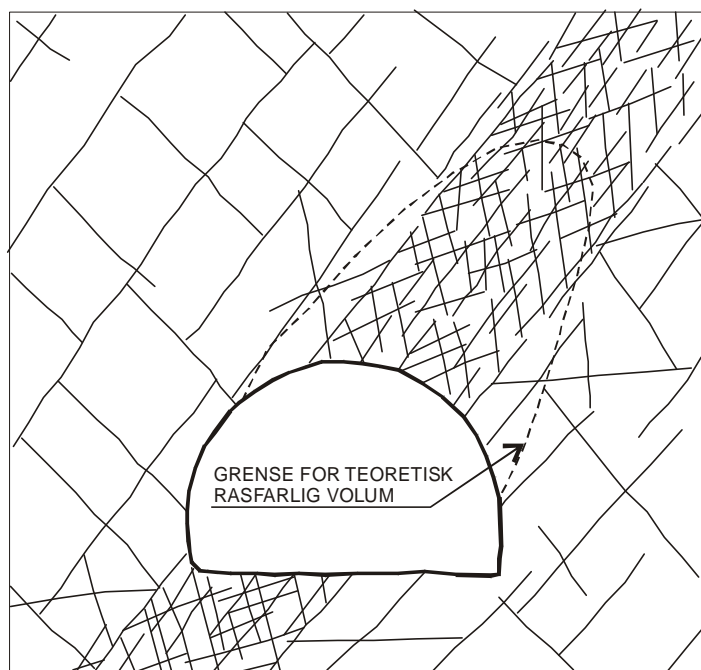


Fig. 7. Betongutstøpning benyttes ofte som arbeidssikring av større knusningssoner der det er fare for stor belastning på sikringen.

Utstøpning på stoff er tidkrevende og fører til stor heft for sprengningsarbeidene. Den blir derved kostbar. Av den grunn utsettes ofte sikring med utstøpning til etter gjennomslag, forutsatt at annen arbeidssikring er tilstrekkelig for å stabilisere bergmassene den tiden sprengningsarbeidene pågår.

4.5 *Spesielle sikringsmetoder i rasfarlige bergmasser*

I noen få tilfelle vil bergmassene rase ut så hurtig etter sprengning at det ikke blir tid til å få utført arbeidssikring ved vanlige metoder. Da har i noen tilfelle frysing av bergmassene foran stoff blitt benyttet. Dette har foregått ved Sira Kvina kraftanlegg og i adkomsttunnelen på Hjerkin i 60- og 70-årene, dessuten på Fjellinjen. Før berget tines blir det foretatt omfattende sikring med som regel utstøpning. Frysing er en særs tidkrevende og kostbar metode som brukes nærmest som siste utveg når andre metoder som nevnt over, ikke virker.

I enkelte andre tilfelle med meget ustabile bergmasser er andre omfattende metoder blitt benyttet med godt resultat. Som regel består disse av ulike kombinasjoner av de metodene som er omtalt foran. Under er skjematisk vist noen vellykkede utførelser. Felles for dem er enten at de er spesielt hurtige å utføre eller at de første faser av sikringen utsetter tiden før ras i bergmassene vil begynne.

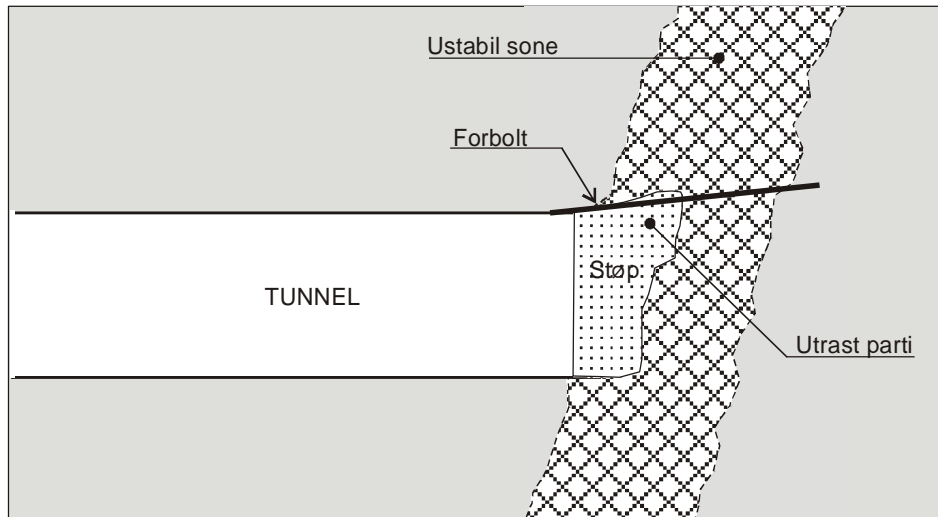


Fig. 8. Gjenstøping av stoffen er en metode som er blitt benyttet flere ganger med hell i meget ustabile bergmasser. Før salvesprengning foretas gjennom betongen, er det oftest en fordel å foreta forbolting.

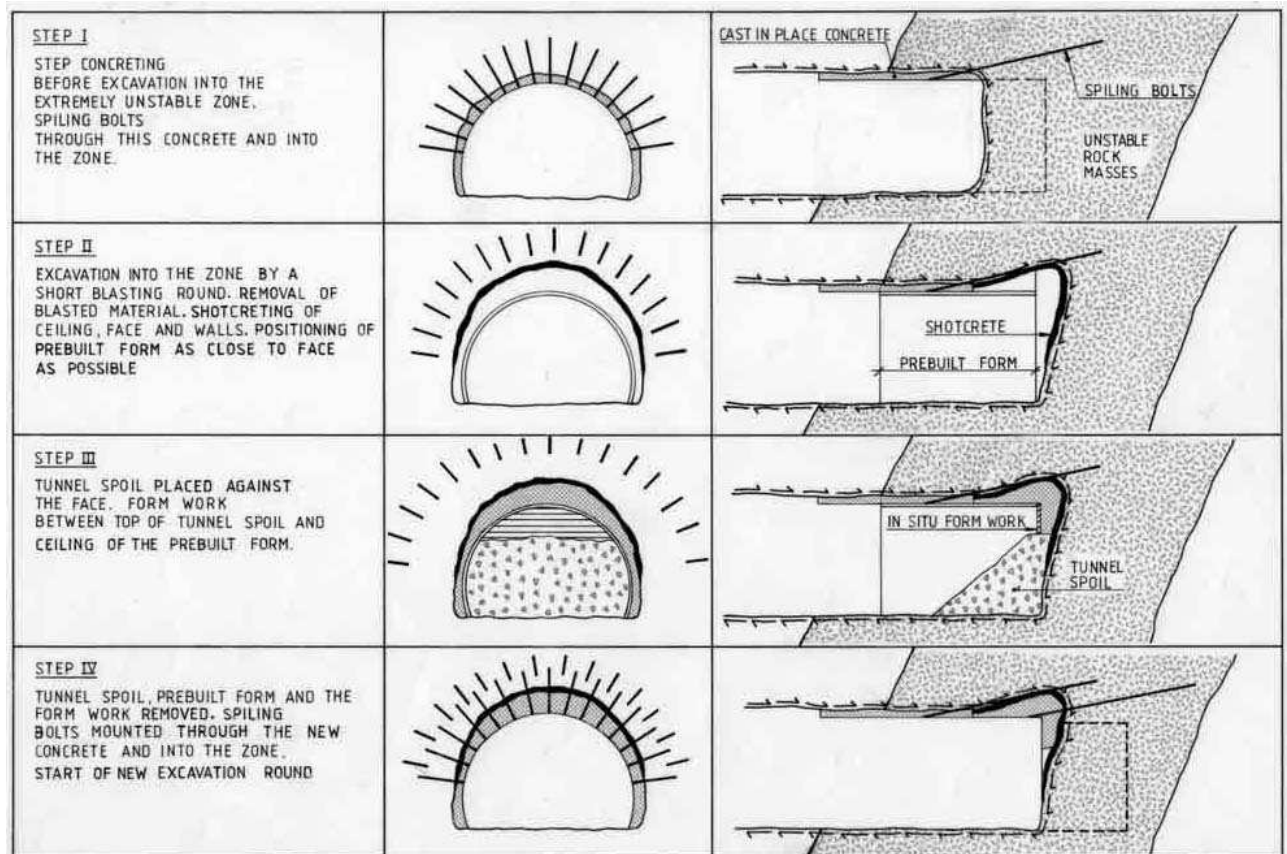


Fig. 9. Sikringsmetode som ble benyttet i en sone med særlig lav stabilitet og vanskelige driveforhold under bygging av Vardø-tunnelen.

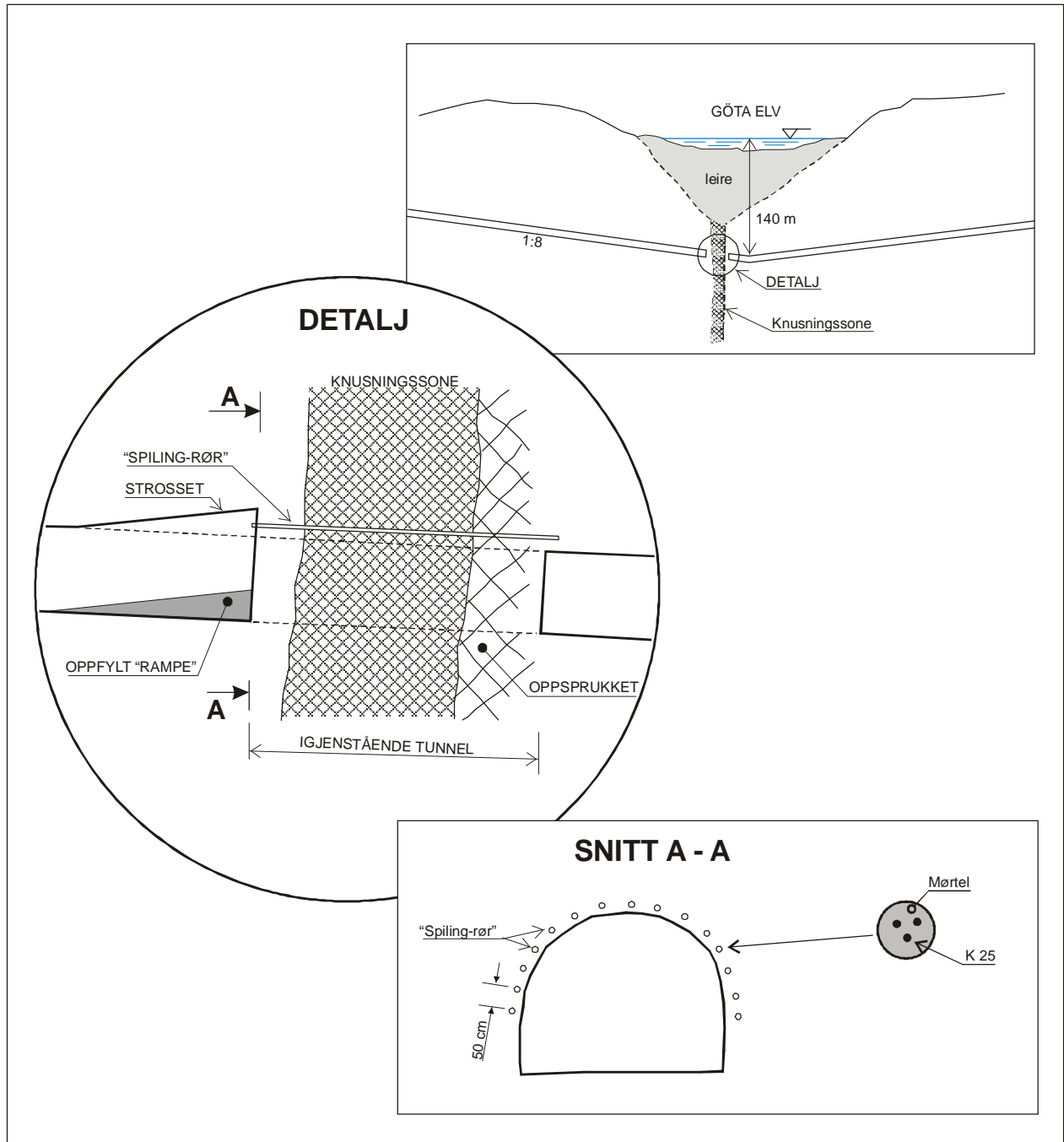


Fig. 10. Sikring med lange forbolter over en særlig ustabil sone i en tunnel under Göta elv i Sverige. Etter montering av boltene og forinjeksjon av sonen ble tunnelen drevet frem ved korte salvelengder, og suksessiv betongutstøpning.

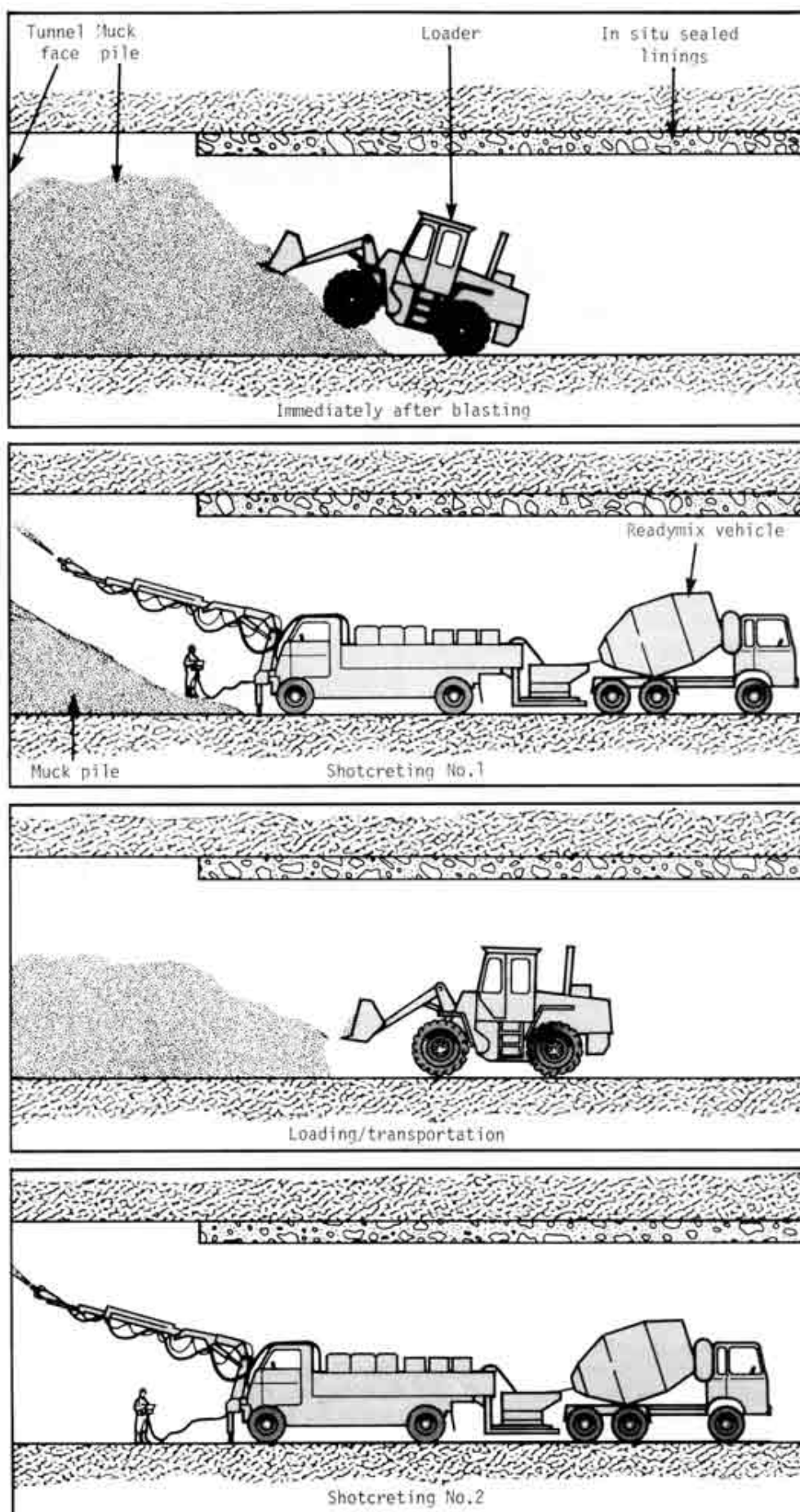


Fig. 11. Metode som ble benyttet på et ca. 200 m langt parti i den undersjøiske Karmsund-tunnelen. Her var det viktig at sprøytebetongen kunne utføres meget hurtig etter salve-sprengning.

5. SAMMENHENG MELLOM ARBEIDS- OG PERMANENT SIKRING

Både arbeids- og permanent sikring har som hensikt å bedre stabiliteten av tunnelen. Begge to bør derfor sees i sammenheng. Når arbeidssikringen er av "permanent kvalitet", kan den inngå i den permanente sikringen. Derved unngås "dobbeltsikring", slik det tidvis ble gjort for en del år siden, da for eksempel alle ekspansjonsbolter innsatt på stoff ble betraktet som midlertidig sikring og derfor måtte erstattes av permanente, innstøpte bolter.

Et permanent sikringsmiddel skal være og være effektivt i hele tunnelens levetid. Det foreligger ikke noen definisjon eller retningslinjer for hvordan en kan finne ut om det enkelte sikringsmidlet er permanent. Forhold som innvirker er i tillegg til levetid, hvor korrosivt miljøet i tunnelen er under bruk og hvilke påkjenninger bergmassene og sikringen utsettes for. Korrosjon på bolter og bestandighet av sprøytebetongen er elementer som diskuteres i denne sammenheng. Det er oftest byggherren alene som tar bestemmelsen om hva kravet til permanente sikringsmidler i den enkelte tunnelen skal være.

God kontakt mellom byggherre og entreprenør når det gjelder valg og opplegg av metodene for tunnelsikringen er viktig. Ved fornuftig opplegg for arbeidssikringen slik at denne i størst mulig grad har permanent kvalitet, kan det totale omfanget av sikring i tunnelen reduseres.

Som mye av det andre som skjer i anleggsdrift, er også arbeidssikring et spørsmål hvor dialog mellom de involverte parter er viktig for et fornuftig valg av metoder og omfang tilpasses de aktuelle bergforholdene. Slikkontakt er også en forutsetning for et trivelig samarbeid til beste for så vel gjennomførelse, kostnader og miljø.

6. DIMENSJONERING OG RIKTIG BRUK AV SIKRING

Bergmasse er et av de byggematerialer som oppviser størst variasjon i sammensetning, egenskaper og oppførsel. Av de viktigste parametre som innvirker på stabiliteten i en tunnel eller et bergrom skal nevnes

- A. Oppsprekking
- B. Bergarter
- C. Bergtrykk

To eller alle disse parametrene kan virke inn på hverandre og samlet influere på bergmassens stabilitet i tunnelen. Det foreligger i dag flere internasjonale system for å tallmessig beskrive en bergmasses karakter/kvalitet med hensyn på stabilitet og sikring. De viktigste av disse - Q-systemet utviklet i Norge (av NGI) og Geomechanics systemet utviklet i Sør-Afrika - benytter data som representerer disse parametrene.

I Q-systemet bygges tallmessige uttrykk for

- oppsprekingsgrad og antall sprekkeretninger,
- friksjon på sprekkeflater, og
- spenningsforhold, dvs. bergtrykk resp. svelletrykk

sammen til et tall (= Q-verdien) som angir bergmassens kvalitet når det gjelder stabilitet. Q-verdien og data for tunnelens/bergrommets størrelse og bruk, benyttes deretter for å bestemme aktuell sikring. I tabeller er metoder og omfang nærmere angitt. En nærmere omtale av Q-systemet er gitt i vedlegget.

Når det forekommer ustabile, rasfarlige bergmasser er som nevnt tiden det tar før ras oppstår, av stor betydning både for sikkerheten i tunnelen og for omfanget av arbeidssikringen. Et viktig teoretisk bidrag i så henseende ble utarbeidet av Lauffer i 1958 og videreført senere i Geomechanics systemet for stabilitetsklassifisering. I vedlegget er det vist diagrammer for disse to klassifiseringsmetodene. "Stand-up time" eller ståtid på norsk ligger også til grunn i den såkalte "nye østerrikske tunnelmetoden" (NATM).

Et bergteknisk klassifikasjonssystem kan aldri fange opp alle de variasjoner av bergforhold som kan forekomme i tunneler og bergrom. Bestemmelse av sikring vil i stor grad måtte bero på observasjoner gjort på stedet. Omfang og metoder for arbeidssikring blir som oftest bestemt av stoffmannskapet, som ikke har teoretisk kunnskap hverken om bergmasser eller om klassifikasjonssystem. De har imidlertid gjennom sitt arbeid med boring, sprengning og særlig rensk etter hvert ervervet seg en praktisk "følelse" av stabiliteten på stoff og hvordan berget oppfører seg.

7. EN DEL ERFARINGER

Ved en hurtig utført arbeidssikring etter salvesprengning av såkalt "dårlig fjell", dvs. bergmasser som vil kunne rase ut/falle ned kort tid etter sprengning, kan begynnende deformasjoner hindres. Derved opprettholdes innspenningen, slik at stabiliteten bedres og omfanget av sikring reduseres. Det er særlig sprøytebetong som har muliggjort en stadig hurtigere og effektiv utførelse av arbeidssikring i så henseende.

Bruk av sikringsmidler må tilpasses de aktuelle bergforhold som opptrer. Det må påses at det ikke benyttes gale metoder som ikke tåler de belastninger bergmassene vil utsette sikringen for. Særlig er det feil bruk av sprøytebetong som kan få store konsekvenser. Selv om det senere foretas forsterkning av sprøytebetong som ble utført på stoff som arbeidssikring, kan dette være utilstrekkelig når det opptrer ugunstige bergforhold. De fleste ras som har kommet i sprøytebetongsikrete tunneler har vært i vanntunneler der svelleleire har ekspandert etter at vannet er satt på tunnelen.

Ut fra våre erfaringer må bruk av sprøytebetong på svelleleire vurderes nøye. Som arbeidssikring slik sprøytebetong ofte ikke noe problem i og med at svelleprosessen sjelden mobiliseres mens tunnelen drives. Men bruk av sprøytebetong dekker til fjelloverflaten og vanskeliggjør eller hindrer en senere vurdering av nødvendig permanent sikring. For slike vurderinger er det helt nødvendig å kunne observere bergmassene, spesielt de geometriske forhold når det gjelder sprekker og slepper. Når bruk av sprøytebetong som dekker en vesentlig del av tunneloverflaten, må det foretas kartlegging av geologien før sprøyting påbegynnes.

Ut fra det som er omtalt over, fremgår at det ikke er lett å kunne angi et eksakt svar på hva som er riktig metode og omfang på arbeidssikringen. Blant annet vil valget av hvor mye av den permanente sikringen som skal inngå i arbeidssikringen kunne være utslagsgivende. Utøving av anleggs- og byggeledelse samt kontakts- og erfaringsmessige forhold er også viktige faktorer som innvirker.

Ved en viss bergkvalitet, hva kan gjøres for å redusere sikringsomfanget? I hovedsak kan byggherre og entreprenør minske omfanget av arbeidssikringen ved følgende tiltak:

- Fornuftige krav, spesifikasjoner og oppgjørsformer i kontrakten.
- Unngå salvelengder over 4 m i små tverrsnitt.
- Nøyaktig konturhullboring.
- Reduserte ladninger i kontur og i rasten innenfor.
- Bruke de best egnede sikringsmetoder for den aktuelle bergkvaliteten.
- Fornuftig kombinasjon av arbeids- og permanent sikring.
- God kvalitet på utførelse av sikringsarbeidene.
- Benytte stoffmannskap med god og allsidig erfaring.
- God kontakt mellom bygge- og anleggsledelse.

8. SANNSYNLIG FREMTIDIG UTVIKLING AV KRAV, METODER OG UTFØRELSE AV ARBEIDSSIKRING

Tunneldrift er blitt og ventes fortsatt å bli mer og mer mekanisert. Samtidig vil krav til såvel en sikker arbeidsplass som til bedre stabilitet i tunnelen øke. Enklere utførelse både av bolting og særlig sprøytebetong vil uvegerlig føre til at disse metodene vil bli mer benyttet. Alt dette vil sannsynligvis øke omfanget av arbeidssikringen.

Bruk av sikring er oftest påvirket av tidligere erfaring. Selv om bergmassenes kvalitet forandres slik at det ideelt sett kunne være riktigere å benytte en annen sikringsmetode, vil det som ble benyttet på forrige anlegg lett bli foretrukket. Den stadig reduserte bruken av rensk medfører at stoffmannskapet får mindre "kontakt" med berget og derved ikke den samme fjell-erfaring som tidligere tunneldrivere hadde. Dette forholdet påvirker både valg og omfanget av arbeidssikringen og vil på sikt ventelig føre til en generell økning av denne.

Bolter og sprøytebetong er i dag mest benyttet både til arbeids- og permanent sikring. Kombinasjonen av disse to vil i mange tilfelle erstatte betongutstøpning. Ved tykke lag av sprøytebetong slik at overflaten får bueform, kan større belastninger opptras pga. virkning tilsvarende som for betongutstøpning. For å øke styrken på

sprøytebetongen ytterligere, er armerte buer av sprøytebetong utført, blant annet på Granfosslinjen.

Vi har i det siste erfart at tiden til etterarbeider i vegtunneler er blitt stadig redusert. På siste Fjellsprengningskonferanse ble dette spesielt omtalt i foredraget av E. Einum om Rennfast-tunnelene: "Komplett tunnel like bak stuff".

Skal en spå noe ut fra de tendenser som er nevnt over, vil det være at om noen år vil hengen i de fleste tunneler bli arbeidssikret med sprøytebetong samt at en stadig mindre del av sikringen vil bli utført bak stuff eller etter gjennomslag.

Fortsetter den trenden som nå har pågått noen år, hos enkelte større byggherrer, vil tunnel-entreprisene kunne nærme seg totalentrepriser, der entreprenøren må innkalkulere en større del eller all arbeidssikring i sine sprengningspriser. I tillegg til å føre til dårligere kvalitet av sikringen samt lavere sikkerhet på stuff, kan følgene av en slik utvikling føre til flere større tvister og ditto rettssaker.

9. REFERANSER

Barton N., Lien R. og Lunde J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design og tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, No 4, 1974, side 189-236.

Bieniawski, Z.T. (1988): Rock mass classification as a design aid in tunnelling. Tunnels & Tunnelling, Juli 1988.

Franklin J.A. og Ibarra J. (1991): Tunnel overbreak in relation to rock quality and blasting methods. Proc. 9th Canadian Tunnelling Conf., Montreal, 1991.

Hoek E. og Brown E.T. (1980): Underground excavations in rock. Inst. of Mining and Metallurgy, London.

Lauffer H. (1958): Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. Geologie und Bauwesen no 24, side 46-51.

Norsk Bergmekanikkgruppe (1985): Håndbok i ingeniørgeologi, berg. Tapir forlag, Trondheim.

Selmer-Olsen R. (1964): Alminnelig geologi og ingeniørgeologi. Tapir forlag, Trondheim.

VEDLEGG

Kort om klassifikasjonssystemer

- Q-systemet
- Lauffer's: Stand-up time (diagram)
- Geomechanics-systemet (diagram)

Særrykk fra Våre Veger nr 8, 1988

Q-metoden – et praktisk redskap for optimal tunnelsikring

I Våre Veger nr 7/88 skrev Tore L. By, NGI første artikkel om NGIs aktiviteter i forbindelse med forundersøkelser og sikringsprognoser for undergrunnsanlegg. Her ble det innledningsvis fokusert på SINTEFs rapport om undersjøiske tunneler, hvor det ble konkludert med at feilslåtte prognoser og betydelige kostnadsoverskridelser (20–110%) er et hyppig fenomen.

Av Eystein Grimstad

NGI har utviklet og benytter en metode, Q-metoden, for å kontrollere fjellkvaliteten og gi sikrere sikringsprognoser. På denne måten reduserer man faren for uventede kostnadsoverskridelser.

Valg av sikring i norske tunneler er for det meste basert på skjønn. Fordi dette skjønnemåten varierer sterkt med personlig erfaring og holdning, vil sikkerhetsnivå og valg av sikringstype variere sterkt selv om bergmassekvaliteten er lik. Hvis alle tunnelprosjektene og anleggene blir vurdert på samme grunnlag ville vi kunne få en jevnere kvalitet både innen det enkelte anlegg og på landsbasis.

Tilfeldig sikring gir ekstra kostnader

Ujevn sikring tilsier at sikkerheten er for lav i noen partier eller anlegg, mens det er oversikret i andre partier eller anlegg. Dette gjelder både arbeidssikring og permanent sikring. Undersikring kan føre til ulykker og/eller økede vedlikeholdskostnader. Oversikring vil alltid gi unødvendig store kostnader.

Eystein Grimstad er cand.real fra Universitetet i Oslo (1972). Han var ansatt i Veglaboratoriet fram til 1986 og arbeider nå som senior ingeniørgeolog ved NGI.



Mellom entreprenør og byggherre oppstår det ofte diskusjoner om valg av sikring, særlig arbeidssikring. Diskusjonen baserer seg da som regel på sikkerhet og «synsing» uten dokumentasjon av bergmassekvaliteten fra noen av partene.

I den forbindelse vil et gjennomarbeidet dokumentasjonssystem som beskriver bergmassekvaliteten og stabiliteten rundt bergrommet være et kjærkomment redskap for å unngå tvister om det reelle sikringsbehovet.

Q-metoden beskriver kvaliteten i bergmasser

En internasjonalt meget brukt prognosemodell for sikring i undergrunnsanlegg er «Q-metoden» som er utviklet ved NGI, og ble publisert i 1974. Ved Q-metoden tallfestes seks forskjellige parametre som har stor betydning for stabiliteten i et bergrom. I korthet beskriver disse parametrene oppsprekingsgraden, bergmassens minste skjærefasthet og den aktive spenningen.

Når de seks parametrene er observert, regnes Q-verdien ut etter en enkel formel. Høy Q-verdi gir god stabilitet, mens lav Q-verdi tilsvarende dårlig stabilitet. Til de for-

Bildet viser gjennomslagssalven i Holmestrandstunnelen, hvor Q-verdien var meget lav (0,01). Her var det stopt til stoff og forbollet. Alt som var usikret falt med. Gjennomslaget ble tatt med redusert tverrsnitt.

skjellige intervaller av Q-verdien følger en sikringsbeskrivelse, som varierer med bergrommets spennvidde og bruksområde. Denne sikringsbeskrivelsen er basert på systematisk innsamling av data fra over 200 undergrunnsanlegg. De anbefalte sikringstiltak er ofte gjennomsnittsverdien fra et stort antall eksemplere. Q-metoden angir også grenseverdier for når sikring ikke er nødvendig, og hvor lenge et bergrom i en bestemt bergmassekvalitet kan stå usikret i ulike spennvidder.

Nyere data viser at Q-verdien har meget god korrelasjon med drivehastigheter i tunneler og bergrom.

Utviklingen av Q-metoden er basert på data fra ferdig sprengte og sikrede undergrunnsanlegg. Denne korrelasjonen som er utført mellom observerte bergmasseparametre og sikring, kan også nyttiggjøres i forprosjektstadiet. Ved å ta hensyn til

dagfjelleffekten kan observert bergmassekvalitet i terengoverflaten gi grunnlag for sikringsprognoser i prosjekterte anlegg. Kjerneboring o.a. undersøkelser kan gjøre dette sikrere.

Størst anvendelse har imidlertid Q-metoden ved direkte observasjon av parametre i utsprenget bergrom for bestemmelse av både arbeidsikring og permanent sikring.

Fiberarmert sprøytebetong kombinert med bolter

For få år tilbake eksisterte det i praksis ingen mellomting mellom systematisk bolting med nett og utstøping til stoff. Det ble derfor ofte støpt ut i relativt gode bergmasser, og med påfallende hurtige overganger til usikret fjell. Sprøytebetongen som ble brukt var av svært variabel kvalitet. Tilsetning av fiber var erstattet av nettarmering som var et tidkrevende og farlig arbeid. Betongkvaliteten ble sjelden kontrollert, men lå normalt under C25.

De siste årene etter at silikastøv og stålfiber har blitt tilsatt betongen

er også kravene til selve betongen blitt skjerpet vesentlig. Det er nå vanlig å kreve at betongen skal være av kvalitet C45 i prøver utboret fra tunneler. Når denne betongkvaliteten er dokumentert, kan stålfiberarmert sprøytebetong kombinert med bolter erstatte utstøping selv i svært dårlige bergmasser. Sprøytebetongtykkelsen kan i motsetning til hvelvstøpen dimensjoneres etter varierende bergmassekvalitet.

Det er i slike tilfeller viktig å bruke et klassifikasjonssystem som Q-metoden til å kontrollere at man dimensjonerer riktig.

Q-metoden oppdateres

Q-metoden har stor utbredelse over hele verden under varierende geologiske forhold og i mange typer anlegg og prosjekter. Det er gitt en god del tilbakemeldinger fra Q-metodens brukere.

NGI har etablert en database over norske underjordsanlegg, hvor geologi, bergmassekvalitet og utført

sikring er lagt inn. Vi ønsker å komplettere denne databasen med flere anlegg.

På dette grunnlaget vil Q-metoden bli oppdatert til å omfatte de nyeste sikringsformer og justert til å omfatte forhold som ikke tilstrekkelig er tatt hensyn til i dagens system.

Referanser

1. Barton, N., R. Lien and J. Lunde (1974)
Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Springer Verlag, Wien, Vol. 6/4, p. 189-236.
2. Lien, R. og F. Løset (1978)
Q-metoden. Bruk av denne til beskrivelse av bergmasser og som et hjelpemiddel ved vurdering av sikringstiltak i bergrom. NGI-rapport nr. 54001-3.
3. Grimstad, E. et al. (1986)
Klassifikasjon av bergmasser med hensyn til stabilitet i tunneler. Nye erfaringer med Q-metoden. Fjellsprenningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1986.

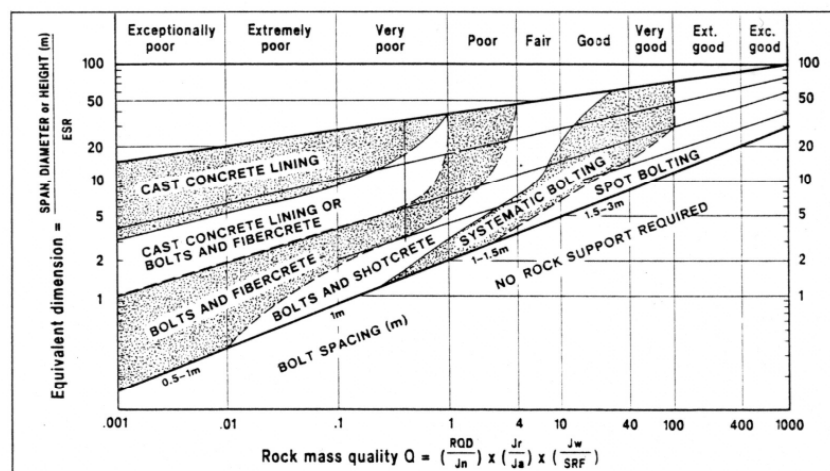
Q metoden bygger på følgende uttrykk:

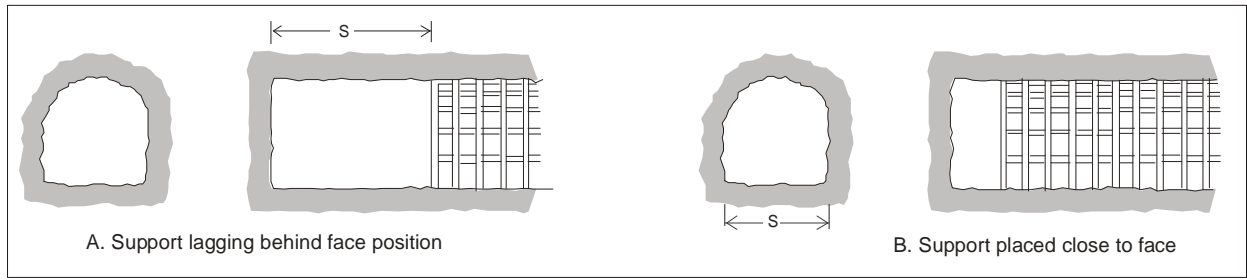
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

der parametrene som inngår, uttrykker:

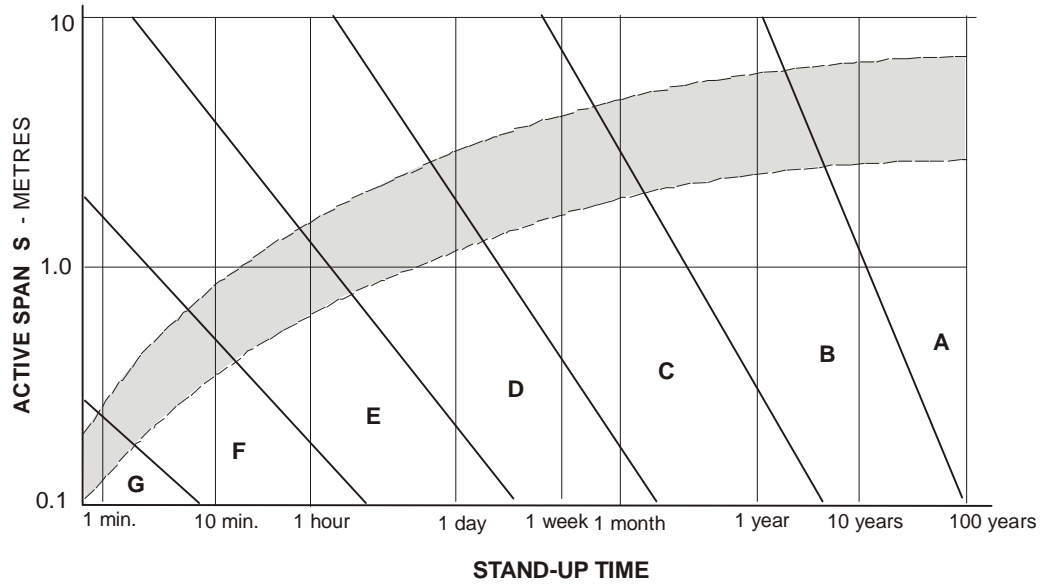
RQD	oppsprekningsgrad,	J_n	antall sprekkesett
J_r	sprekkeflatenes ruhet,	J_a	sprekkenes materialinnhold og omvandling
J_w	grunnvannforholdene,	SRF	spennings- og materialstyrken

Hver av disse parametrene er i Q systemet beskrevet og klassifisert med tall. Tallene sette i formelen og Q verdien som fremkommer er et tallmessig uttrykk for bergmassens kvalitet med hensyn til stabilitet.

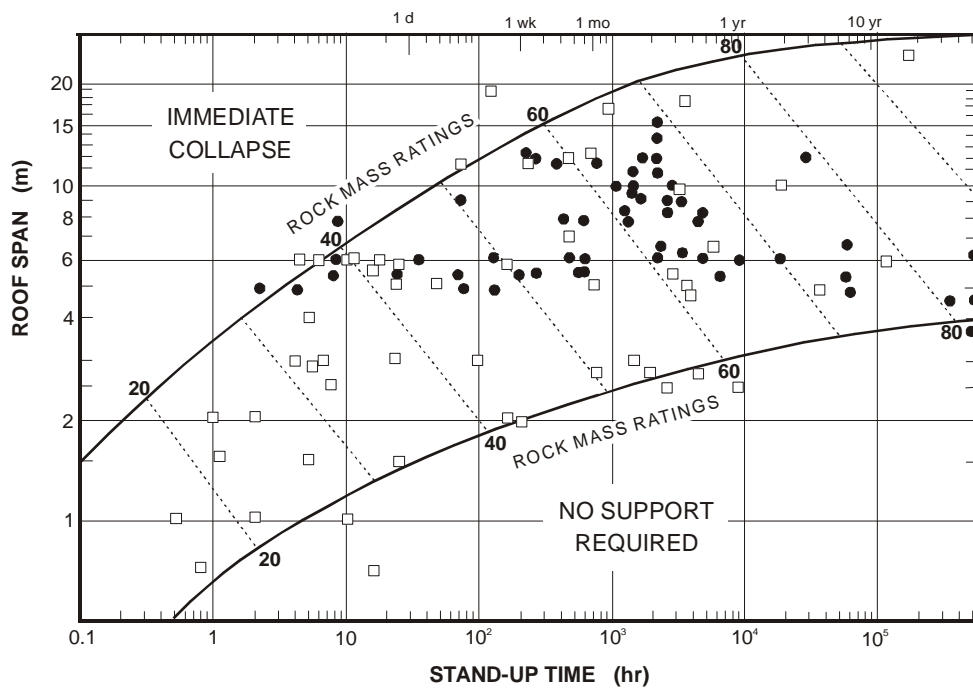




Lauffer's definisjon av "active span"



Lauffer's diagram for ståtid (stand-up time) som funksjon av bergkvalitet og spennvidde. Klasse A er beste klasse for bergkvalitet.



Sammenheng mellom ståtid og usikret spennvidde i Geomechanics-systemet (etter Bieniawski)