



Fjellbolting

VEILEDNING

Håndbok V224



Statens vegvesens håndbokserie får nye nummer fra 1. juni 2014.

Håndbøkene i Statens vegvesen er fra juni 2014 inndelt i 10 hovedtema der hvert tema får sin unike 100-nummerserie. Under hvert hovedtema er håndbøkene, som før, gruppert etter normaler, retningslinjer og veiledninger. Håndbøkene får oppdaterte kryssreferanser til de andre håndbøkene i samsvar med det nye nummereringssystemet.

Se håndboksidene (www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker) for mer informasjon om det nye nummereringssystemet og dokument-speil som viser oversikt over nye og gamle nummer.

Det faglige innholdet er uendret. Det er kun håndboknummeret på forsiden og kryssreferanser som er endret. Nye håndboknummer influerer ikke på gyldigheten av separate kravdokumenter, som for eksempel rundskriv, som er tilknyttet håndbøkene med den gamle nummerserien.

Denne håndboken erstatter etter omnummereringen håndbok 215, Fjellbolting, 2000.

Vegdirektoratet, juni 2014



Statens vegvesen

Fjellbolting

Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet har ansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Denne håndboka finnes kun digitalt (PDF) på Statens vegvesens nettsider, www.vegvesen.no.

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1: • **Oransje** eller • **grønn** fargekode på omslaget – omfatter *normal* (oransje farge) og *retningslinje* (grønn farge) godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2: • **Blå** fargekode på omslaget – omfatter *veiledning* godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Fjellbolting
Nr. V224 i Statens vegvesens
håndbokserie

ISBN 82-7207-495-8

Forord

Denne håndboka er en revidert utgave av "Håndbok i fjellbolting" utgitt i april 1994. Ved revisjonen er det tatt hensyn til de erfaringer og det utviklingsarbeid som er gjort. Samtidig er det lagt vekt på forenklinger slik at håndboka blir mest mulig brukervennlig.

En har dessuten lagt spesielt vekt på bolter og forankringssystemer som er godkjent i Statens vegvesen. Funksjonskrav og dimensjoneringsregler for fjellbolting må sees i sammenheng med de krav som er gitt i håndbok R761prosesskode -1.

Revisjonsarbeidet er utført av en gruppe bestående av:

- * Harald Rostad, Statens vegvesen Nordland
- * Kåre Ingolf Karlson, Statens vegvesen Møre og Romsdal
- * Knut Borge Pedersen, Vegdirektoratet
- * Heidi Fostad, Vegdirektoratet, sekretær

Vegdirektoratet
Vegteknisk avdeling
November 1999

Innhold

Innledning	7
1 Boltetyper	9
1.1 Historikk	9
1.2 Endeforankrede bolter	11
1.3 Fullt innstøpte bolter	16
1.4 Kombinasjonsbolter	20
1.5 Andre boltetyper	24
1.6 Kabler og stag	29
1.7 Boltmaterialer og tilbehør	33
1.8 Korrosjonsvern	34
2 Utstyr og montering	37
2.1 Borutstyr og boring av boltehull	37
2.2 Utstyr for montering av bolter	41
2.3 Montering av bolter med ekspansjonshylse	44
2.4 Montering av bolter med polyestepatron	45
2.5 Innstøping av bolter	49
2.6 Førspenning av bolter	55
3 Bruk av bolter	57
3.1 Sikringspraksis	57
3.2 Bolting ved ulike fjellforhold	60
3.3 Valg av boltetyper ved ulike fjellforhold	66
3.4 Bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler	68
3.5 Spesielle forhold	70
4 Dimensjonering	71
4.1 Dimensjonering av sikring	71
4.2 Spredt bolting	73
4.3 Systematisk bolting	74
4.4 Bolting i vegger og skjæringer	76
4.5 Q-metoden og bolting	78
5 Kvalitetssikring	81
5.1 Kvalitetsplan	81
5.2 Avviksbehandling og korrigerende tiltak	82
5.3 Opplæring - "oppfrisking"	83
5.4 Kontrollmetoder	84
5.5 Stikkprøvekontroll	86

Referanser	89
Figuroversikt	91
Tabelloversikt	92
Vedlegg 1	93
Eksempler på trykkfasthet over tid for to boltemørtler (oppgitt av leverandørene)	93
Vedlegg 2	94
Prinsipper for dimensjonering ved bruk av bruddgrensetilstanden	94
Vedlegg 3	95
Beregning av antall bolter ved blokkbolting i tunnel	95
Vedlegg 4a-d	96-99
Beregning av antall bolter ved sikring av vegger og skjæringer	96-99
Vedlegg 5a-d	100-103
Angivelse av tallverdier for parametre til bestemmelse av Q-verdien	100-103
Vedlegg 5e	104
Forholdstall for bergromsikring (ESR)	104
Vedlegg 6	106
Begreper i NS 5800	106

Innledning

Denne boken er primært rettet mot stoffarbeideren, basen, oppsynsmannen, formannen og kontrollingeniøren, men ingeniørgeologen og andre fagpersoner vil også kunne ha nytte av boken i sitt arbeid. Det er ønskelig at boken blir aktivt brukt av entreprenører, konsulenter, byggherrer og andre i fagmiljøet.

Hensikten med denne boken er bl.a. å utfylle manglende beskrivelser om bolting. Boken skal være et bidrag til å sikre kvalitet på boltingen.

Boken tar for seg bolter til fjellforsterkning. Bolter for å feste eller henge opp installasjoner i fjell eller betong blir ikke behandlet.

Bolter er den mest brukte og billigste metoden til sikring ved de fleste fjellforhold. Det finnes en rekke ulike boltetyper. Boltene kan ha ulik utforming og virkemåte. Dette fortrinnet kan utnyttes til å sikre fjell med svært ulik karakter. Bolter kan endeforankres og forspennes, eller de kan støpes inn og fungere som en armering av fjellet.

Bolter kan brukes sammen med andre sikringsmidler som bånd, nett og sprøytebetong. Normalt er bolter enkle å installere og de kan ta opp relativt høye laster. Dessuten kan bolter brukes i bergrom med nesten hvilken som helst geometri.

Det er ofte store spenninger i fjellet, som vil kunne medføre store lastpåkjenninger på eventuelle sikringsmidler. Fjellet bør derfor i størst mulig grad bære seg selv, og bolter og andre sikringsmidler skal hjelpe fjellet å bli selvbærende.

Norsk sikringspraksis har vært og er i stor grad basert på å gjøre vurderinger og foreta beslutninger etter hvert som fjellet avdekkes ("design as you go"). Bolter som virker øyeblikkelig brukes som arbeids-sikring og bidrar til høy inndrift. Valg av boltetype kan gjøres etter hvert som fjellet blir avdekket.

"Low cost tunnelling" er et godt kjent begrep når det gjelder tunneldriving i Norge. Selv om vi produserer billige tunneler og sikrer billig, er det viktig at sikringen er dimensjonert og utført tilstrekkelig for anleggets levetid.

Fjellsikring i Norge er i stor grad basert på at samtlige bolter skal gå inn i den permanente sikringen for fjellanlegget. Bruk av bolter gjøres derfor i stor grad ut fra valg av bolter som tilfredstiller krav til lang levetid.

I tillegg til senere erfaringer og undersøkelser er grunnlagsmaterialet til denne boken bl.a. hentet fra tidligere utgitte bøker om bolting /2/, /3/, /4/.

1 Boltetyper

1.1 Historikk

Sikring av bergrom, tunneler, fjellskjæringer og -skråninger med bolter har pågått i lang tid. De første boltene til fjellforsterkning som vi kjenner til, ble satt inn i forbindelse med bygging av Telemarkkanalen i 1855-61. Det ble benyttet korte, tykke bolter, ca. Ø40 mm, som ble satt på rent skjær for å stabilisere blokker i en fjellside.

Bolting ble introdusert i USA rundt århundreskiftet, men det var først i 1950-årene at sikringmetoden slo igjennom og ble allment anerkjent. Gruveselskapene var foregangsbedriftene innen fjellbolting, først og fremst bedrifter i USA og Syd-Afrika, men norske A/S Sulitjelma Gruber var også med.

De første boltene som ble tatt i bruk i undergrunnen, var såkalte splitt- og kilebolter. Disse brukes ikke lenger til fjellsikring i Norge, fordi de anses som usikre. Bolter som endeforankres med ekspansjon, har erstattet splitt- og kileboltene. Fra begynnelsen av 1970-årene er bolter som endeforankres med polyester, blitt mye brukt. Friksjonsbolter ble introdusert i slutten av 1970-årene. Senere er kombinasjonsbolter, f.eks. rørbolten, kommet på markedet. Bolter som er fullt innstøpt med sementbasert mørtel, har fått stadig større anvendelse.

Under jord var det i kullgruvene i typisk lagdelt fjell at bolter først ble tatt i bruk som fjellforsterkning. Fjellbolting ble raskt en økonomisk og praktisk sikringsmetode. I dag er bolting den vanligste sikringsmetoden i tunneler, bergrom, fjellskjæringer og byggegroper i fjell. Fjellbolter blir også nytt til fundamentforsterkning i forbindelse med broer, kaier og dammer der disse er fundamentert på fjell.

Omfanget av fjellsikring med bolter har økt betydelig i anleggsindustrien i de siste 25 år. Frem til 1970 ble sikringsarbeider vesentlig utført manuelt. Sikringsarbeidene bestod først og fremst av spetterensk, stemming og utstøpning med betong. Bolter og nett ble i noe omfang brukt fra 1960-årene. Kombinasjonen fjellbolter og sprøytebetong kom i 60-årene, først som tørrsprøytet sprøytebetong, senere som våtsprøytet. I begynnelsen av 1980-årene slo sikring med stålfiberarmert sprøytebetong igjennom for alvor.

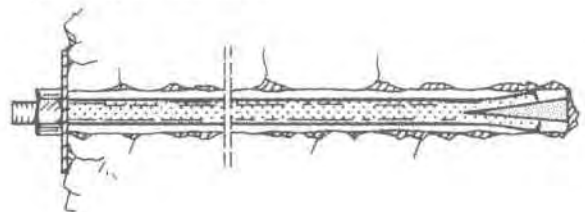
Økende problemer med fjellet kom samtidig med at mekaniseringsgraden økte som følge av krav om høyere tempo. Samtidig økte tverrsnittet på tunneler og sjakter og dermed også stabilitetsproblemene. Med 20m² tunneler eller mindre kunne de fleste vanskelige profiler forseres relativt enkelt, men i store tverrsnitt på 90m² og oppover kunne problemene virke uløselige.

Overgangen fra patroniserte sprengstoffer til pulversprengstoffer førte i begynnelsen til økt sprengstofforbruk og dermed større belastning på gjenstående fjell. Krav om nøyaktig boring og forsiktig sprengning reduserte snart sprengstoffmengden og til en viss grad sikringsbehovet.

Figur 1 Prinsippskisse av sikring med bolter i fjellside fra ca. 1860



Figur 2 Splitt- og kilebolt



Fra 1970-årene er rensk i større grad blitt utført med mekanisk utstyr. I dag finnes det en rekke utrustninger til dette formålet. Det har resultert i at en del soner som tidligere ville ha krevd sikring med bolter, nå bare renskes.

De fleste stabilitetsproblemer kan i dag løses med boltesikring, gjerne sammen med sprøytebetong. Med dagens effektive tunnelutstyr og moderne sprøytebetongroboter gir dette en rask og sikker sikringsmetode. Spesialutstyr for montasje av fjellbolter, som bolterigger og roboter, er utviklet, og nyttes i stadig større grad i gruver og på enkelte store og kompliserte prosjekter.

Krav til sikkerhet som stilles i de fleste fjellanlegg, er vesentlig strengere i dag enn tidligere. En

sterkt trafikkert vegtunnel, en lagringshall eller en publikumshall har helt andre krav til permanent sikkerhet mot nedfall enn hva vanntunnelen til et kraftverk tradisjonelt har hatt.

Sikringsomfanget bestemmes i stor grad ut fra tidligere erfaringer. I de siste årene har mer eller mindre avanserte metoder basert på empirisk grunnlag blitt tatt i bruk. Årsaken til dette er bl.a. kravene fra byggherrer til dokumentasjon i forbindelse med vanskelige og kompliserte prosjekter. Norske entreprenørers internasjonale markedstilpasning vil kreve ytterligere bruk av teoretiske beregningsmodeller for dimensjonering av nødvendig sikring. Her ligger det fortsatt store utfordringer i å komme frem til praktisk anvendbare metoder.

1.2 Endeforankrede bolter

Endeforankrede bolter kan brukes når det er behov for hurtig sikring (oftest til sikring på stuff) og for å øke innspenningen av fjellet. Forspenning av boltene fører til større friksjon på sprekkene og gir fjellet høyere fasthet. Endeforankrede, forspente bolter betegnes som aktive bolter.

Ved høye bergtrykk, som kan gi sprakefjell og store deformasjoner, blir endeforankrede bolter brukt til ettergivende (fendrende) sikring. I disse tilfellene strammes mutteren inntil underlagsplaten, men boltene forspennes ikke. De blir forspent i takt med fjellets deformasjoner. Hvis boltene likevel forspennes, kan belastningen ved f.eks. høye bergtrykk bli så stor at de ryker.

Endeforankrede bolter forankres med en ekspan-

sjonshylse, polyester eller mørtel innerst i et boltehull. Forspenningen skjer ved at en mutter dras til mot underlagsplaten, som igjen presses mot fjelloverflaten. Dette gir et strekk i boltene.

Boltestålet er normalt enten rundstål eller kamstål.

Det er spesielt viktig at leverandør- og/eller produktbeskrivelsen med hensyn på lagring og montering med polyester følges. (Se også kapittel 2.7 og 3.4.)

Ulike endeforankrede bolter blir presentert i tabell 1-4 med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

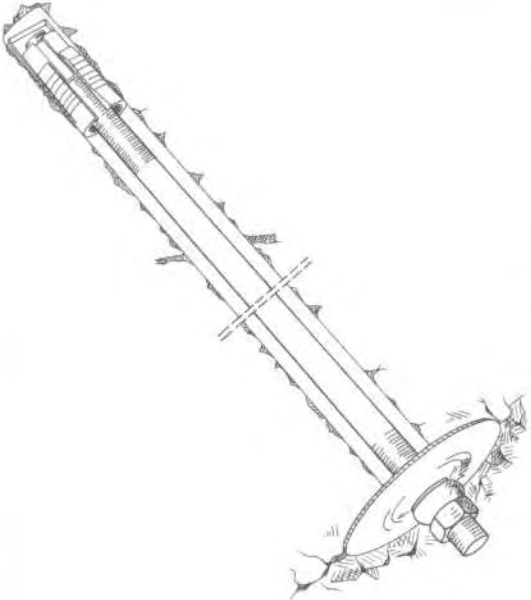
Hovedtyper av endeforankrede bolter:

- bolt forankret med ekspansjonshylse
- polyesterforankret bolt
- bolt endeforankret med mørtel

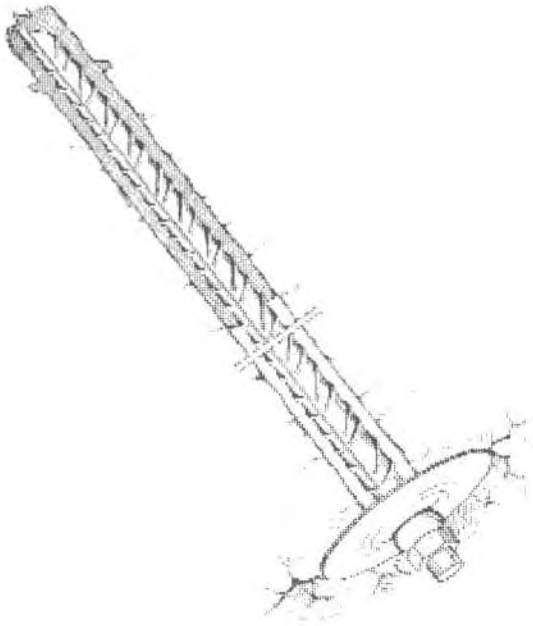


Montering av polyesterforankret bolt. (Foto: H. Berg)

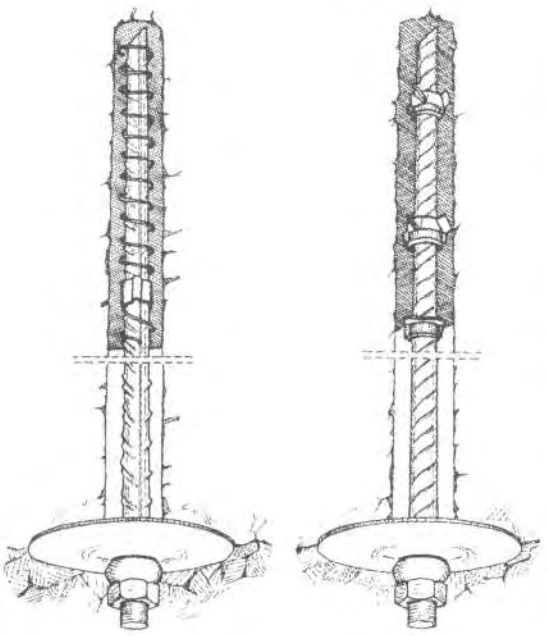
Tabell 1 Bolt forankret med ekspansjonshylse

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Rundstål (St. 37) eller kamstål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: 1,5-6 m</p> <p>Boltehull: Ø33-Ø48 mm,</p> <p>Bolt: Ø16-Ø20 mm</p> <p>Flytegrense: 60-120 kN</p> <p>Bruddlast: 100-150 kN</p> <p>Vekt: 1,6-2,3 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 4-10%</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring: - Ekspansjonshylse Underlagsplate, halvkule og mutter må brukes.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes i middels hardt til hardt fjell når det er behov for øyeblikkelig sikring og for innspenning av fjellet. Brukes ikke i sterkt oppsprukket fjell. Mye brukt i vanntunneler. Bolten gjøres aktiv ved at den blir forspent. Godkjennes ikke som permanent sikring ved enkelte typer fjellanlegg, men kan tilfredstille kravene ved ettergysing.</p> <p>Montering:</p> <p>Bolteenden med ekspansjonshylse skyves inn i boltehullet. Bolten strammes opp ved å trekke til mutteren mot underlagsplaten. Se også kapittel 2.3.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Rask å montere. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Rask forspenning. Høy belastningskapasitet i godt fjell. Bolten kan strammes opp igjen om den løsner.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Gir dårlig forankring i myke bergarter, sterkt oppsprukket fjell og svakhetssoner. Kan gi dårlig forankring i svært harde bergarter, og forankringen bør da kontrolleres. Kan miste forspenningen på grunn av rystelser fra sprengning og avskalning under underlagsplaten, og bolten bør da spennes opp igjen.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten blir ikke godkjent ved veganlegg hvis den ikke er ettergyst.</p>

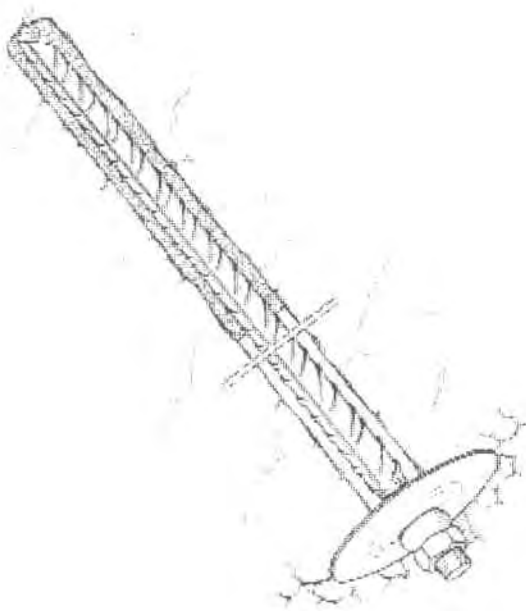
Tabell 2 Polyesterforankret bolt - boltehull Ø25-Ø32 mm

	<p>Vanlige tekniske data: Materiale: Kamstål (500 N/mm²) Lengde: 1,5-6 m Boltehull: Ø25-Ø32 mm Bolt: Ø20 mm Flytegrense: 120 kN Bruddlast: 150 kN Vekt: 2,3 kg/m Bruddforlengelse: 4% Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert Forankring: - Polyesterpatron Underlagsplate, halvkule og mutter må brukes.</p>
<p>Bruksområde: Brukes både i harde og myke bergarter. Kan til- late noe oppsprukket fjell, men polyester kan gi dårlig feste i tett oppsprukket fjell eller myke/ løse bergarter. Brukes når det er behov for rask sikring og for innspenning av fjellet. Godt egnet i sprakefjell. Boltene blir aktive ved forspenning. (Boltene godkjennes normalt som permanent sikring dersom den er varmforsinket.)</p> <p>Montering: Polyesterpatronen skyves inn til hullbunnen ved hjelp av boltene eller en ladekjepp. Boltene roteres og mates sakte gjennom polyesterpatronen. Boltene forspennes (i sprakefjell må mutteren strammes inntil underlagsplaten, men boltene skal ikke forspennes). Se også kapittel 2.4.</p>	<p>Fordeler: Gir rask sikring etter installasjon, mulighet for forspenning etter 4-5 minutter for de hurtigste polyester typene.</p> <p>Ulemper: Flere muligheter for feilmontering: avhengig av riktig tilpassede dimensjoner på bolt, polyesterpatron og borhull, samt riktig rotasjonstid og - hastighet, se også montering, kap. 2.4. For- spenningen kan reduseres på grunn av avskalling under underlagsplaten, boltene bør da etterstrammes. Monteringspersonell må oppholde seg under usikret heng under rotering og reversering (ca. 1 minutt). Uherdet polyester har begrenset lagringstid, normalt 1 år ved 20 °C (leverandørens anbefalinger må følges).</p>

Tabell 3 Polyesterforankret bolt- boltehull Ø43-Ø48 mm

	<p>Vanlige tekniske data: Materiale: Kamstål (500 N/mm²) Lengde: 1,5-6 m Boltehull: Ø43-Ø48 mm Bolt: Ø20 mm Flytegrense: 120 kN Bruddlast: 150 kN Vekt: 2,4 kg/m Bruddforlengelse: 4% Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert Forankring: - Polyesterpatron Underlagsplate, halvkule og mutter må brukes.</p>
<p>Bruksområde: Kan brukes både i harde og myke bergarter. Polyesterpatroner kan gi dårlig feste i tett oppsprukket fjell eller myke/løse bergarter. Brukes når det er behov for rask sikring og for innspenning av fjellet. Godt egnet i sprakefjell. Mye brukt i vegtunneler. Boltene blir aktive ved forspenning. (Boltene godkjennes normalt som permanent sikring dersom de er varmforsinket.)</p> <p>Montering: Polyesterpatronen skyves inn til hullbunnen ved hjelp av boltene. Boltene med underlagsplate, halvkule og mutter roteres og mates gjennom polyesterpatronen. Boltene forspennes ved å stramme mutteren mot underlagsplaten. (I sprakefjell må mutteren strammes inntil, men boltene skal ikke forspennes.) Se også kapittel 2.4.</p> <p>Fordeler: Patentene er utviklet for å kunne bruke samme</p>	<p>borrigg/borkrone til lade- og boltehull. Blandemekanismene (fjær, propeller) gjør at polyester og herderen blandes i borhull med stor diameter i forhold til boltediameteren. Gir rask sikring etter installasjon, mulighet for forspenning etter 4-5 minutter for de hurtigste polyestertypene. Kan brukes på stoff (løsner ikke av rystelser fra sprengning).</p> <p>Ulemper: Flere muligheter for feilmontering: avhengig av riktig tilpassede dimensjoner på bolt, polyesterpatron og borhull, samt riktig rotasjonstid og -hastighet, se også montering, kap. 2.4. Forspenningen kan reduseres på grunn av avskalling under underlagsplaten, boltene bør da etterstrammes. Monteringspersonell må oppholde seg under usikret heng under rotering og reversering (ca. 1 minutt). Uherdet polyester har begrenset lagringstid, normalt 1 år ved 20 °C (leverandørens anbefalinger må følges).</p>

Tabell 4 Bolt endeforankret med mørtel

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: 1,5-6 m</p> <p>Boltehull: Ø30-Ø43 mm</p> <p>Bolt: Ø20-Ø25 mm</p> <p>Flytegrense: 120-220 kN</p> <p>Bruddlast: 150-250 kN</p> <p>Vekt: 2,4 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 4%</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mørtelpatron(er) - Perfohylse (kort hylse innerst i boltehullet) <p>Underlagsplate, halvkule og mutter må brukes.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Brukes ved små boltearbeider der det ønskes innstøping med sement.</p> <p>Montering:</p> <p>En vannmettet sementpatron føres inn i hullet med bolten. Bolten presses gjennom mørtelen. Mutteren skrues inn til endeplaten og bolten forspennes etter at mørtelen har herdet. (Ved bruk av flere patroner kan bolten gis full innstøping, den skal da ikke forspennes.)</p> <p>Endeforankring med perfohylse (kort hylse innerst i boltehullet), se kapittel 1.3 og 2.5.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Enkel å montere. Trenger ikke spesialutstyr ved montering. Bolten kan forspennes når mørtelen har herdet.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Sement har normalt lang herdetid. Forankringslengden er avhengig av korrekt hulldybde og -diameter.</p> <p>Anmerking:</p> <p>Det må brukes godkjent boltemørtel ved varmforsinkede bolter.</p>

1.3 Fullt innstøpte bolter

Fullt innstøpte, ikke-forspente bolter brukes ved de fleste fjellforhold. Boltene blir særlig brukt til etter-sikring og systematisk bolting for å låse fast stabiliteten i fjellet. Boltetypen brukes ofte til forbolting. Sikrings-systemet er passivt, boltene blir først satt i funksjon når fjellet deformeres og gir tøyninger i boltene.

Ved stor deformasjon i bergmassen er bolten for stiv. Det kan føre til brudd i bolten i de områdene der spenningen konsentreres.

Ved montering fylles boltehullet med innstøpningsmiddel før bolten skyves inn. Kamstål er vanlig som boltestål. I Norge brukes normalt sementbasert mørtel som innstøpnings-middel, men polyester kan også nyttes. Dersom det brukes underlagsplate, halv-kule og mutter skal mutteren bare strammes inntil. Fullt innstøpte bolter skal ikke forspennes.

Full innstøpning gir økt korrosjonsvern. Brudd i mørtelen, utvasking av mørtel på grunn av rennende vann, luftlommer og usentrisk beliggenhet av bolten i boltehullet gjør at mørtel som eneste korrosjonsvern ikke alltid er tilstrekkelig.

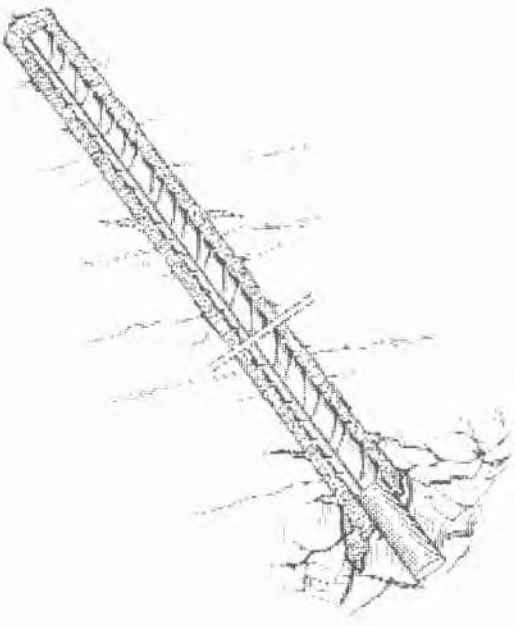
Mørtel kan virke irriterende på hud og slimhinner ved kontakt. Verneutstyr anbefales derfor ved montering. Korrekt montering stiller store krav til mørtelens konsistens og sammensetning.

Ulike fullt innstøpte bolter blir presentert i tabell 5-7 med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

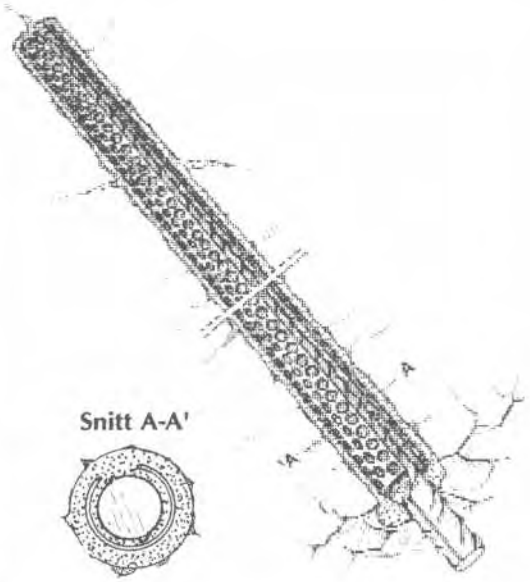
Hovedtyper av fullt innstøpte bolter:

- mørtelinnstøpt kamstålbolt
- perfobolt
- polyesterinnstøpt bolt

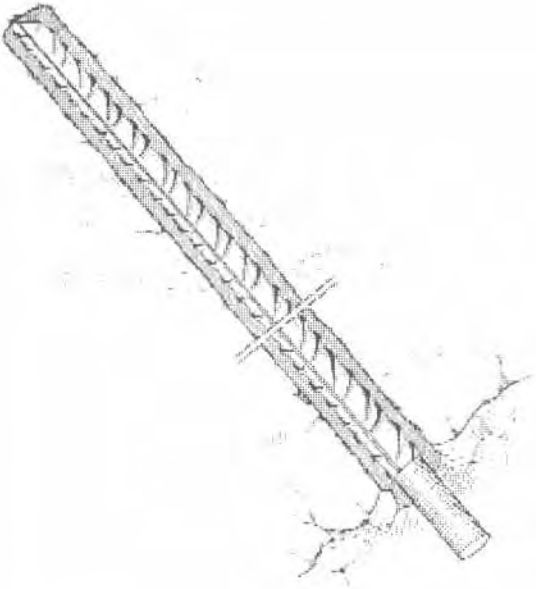
Tabell 5 Mørtelinnstøpt kamstålbolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål, gjenget stål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: 0,8-6 m</p> <p>Boltehull: Ø30-Ø45 mm</p> <p>Bolt: Ø20-Ø25 mm (Ø25 og Ø32 mm ved forbolting)</p> <p>Flytegrense: 120-220 kN</p> <p>Bruddlast: 150-250 kN</p> <p>Vekt: 2,6-4,2 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: fullt innstøpt » stivt system</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring: - Sementmørtel</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes i alle bergarter og oppsprekningsgrader. Er imidlertid en stiv boltetype og derfor ikke egnet ved store deformasjoner, f.eks. ved høye bergtrykk (sprakefjell). Mye brukt til systematisk bolting bak stuff og forbolting. Boltene er godt egnet til sikring i fjellskjæringer.</p> <p>Montering:</p> <p>Mørtel pumpes inn i boltehullet ved hjelp av en mørtelpumpe. Boltene presses deretter inn i hullet. Se også kapittel 2.5.</p> <p>Fordeler:</p> <p>Relativt rask montering bak stuff. Fullt innstøpte bolter gir høy lastkapasitet ved ulike fjellforhold. Mørtelen gir økt korrosjonsvern (mørtel som eneste korrosjonsvern er ikke alltid tilstrekkelig).</p>	<p>Ulemper:</p> <p>Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen. Lite egnet ved kontinuerlig rennende vann i borhullet. Kontroll av mørtelkvaliteten er vanskelig. Godt innstøpingsresultat er avhengig av korrekt montering, spesielt bruk av riktig mørtelkonsistens, se også kapittel 2.5.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Det må brukes godkjent boltemørtel ved varmforsinkede bolter.</p>

Tabell 6 Perfobolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: opp til ca. 3 m</p> <p>Boltehull: Ø33-Ø38 mm</p> <p>Bolt: Ø20-Ø25 mm</p> <p>Perforør: Ø29 mm</p> <p>Flytegrense: 120-220 kN</p> <p>Bruddlast: 150-250 kN</p> <p>Vekt: 2,6-4,2 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: fullt innstøpt » stivt system</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring: - Sementmørtel</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes i alle bergarter og oppsprekningsgrader (ikke sprakefjell). Perfobolten er tidligere mye brukt, i dag brukes den i noen grad ved mindre boltearbeider.</p> <p>Korte perfolengder kan brukes til å danne ankerfeste for endeforankrede bolter.</p> <p>Montering:</p> <p>Et perforert blikkrør fylles med mørtel og skyves inn i boltehullet. Bolten presses inn, og mørtelen drives ut gjennom hullene i perforøret. Mellomrommet mellom rør og borhullsvegg fylles. Se for øvrig kapittel 2.5.</p> <p>Fordeler:</p> <p>Gir god forankring i alle bergarter. Enkel å bruke dersom dimensjonen på bolten og perforøret er</p>	<p>riktig tilpasset boltehullet. God kontroll av forankringen. Krever ikke pumpeutstyr ved monteringen. Full innstøping gir økt korrosjonsvern (mørtel som eneste korrosjonsvern er ikke alltid tilstrekkelig).</p> <p>Ulemper:</p> <p>Tidkrevende og lite produksjonsvennlig monteringen. Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen, og er derfor normalt lite egnet til bolting på stuff eller til å sikre løse blokker. Lite egnet ved kontinuerlig rennende vann i boltehullet. Boltelengder over 3 meter er vanskelige å få inn i boltehullet.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Det må brukes godkjent boltemørtel ved varmforsinkede bolter.</p>

Tabell 7 Polyesterinnstøpt bolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål, gjenget stål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: 0,8-6 m</p> <p>Boltehull: Ø30-Ø45 mm</p> <p>Bolt: Ø20-Ø25 mm</p> <p>Flytegrense: 120-220 kN</p> <p>Bruddlast: 150-250 kN</p> <p>Vekt: 2,6-4,2 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: fullt innstøpt » stivt system</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Injisering av polyestermasse - Polyesterpatroner for bolter opp til ca. 2 meter
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes i de fleste bergarter og oppsprekningsgrader. Sikringssystemet kan gjøres aktivt ved bruk av hurtigherdende polyester innerst i borhullet og forspenning. Bolter som er fullt innstøpt med polyester, må ikke brukes i sprakefjell. Injisering med polyestermasse brukes i utlandet. Full innstøping med polyester er lite brukt i Norge (brukt på Svalbard).</p> <p>Montering:</p> <p>Boltene injiseres med polyestermasse. For boltelengder opp til 2 meter kan polyesterpatroner skyves inn i hullet, boltene roteres så inn. Ved bruk av hurtigherdende polyester innerst og sakteherdende ytterst kan boltene forspennes. For montering, se også kapittel 2.4.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Bolten gir raskt virkning etter installasjon om den brukes hurtigherdende polyester. Innstøpingen gir økt korrosjonsvern.</p>

1.4 Kombinasjonsbolter

En kombinasjonsbolt er en bolt som endeforankres og kan ettergyses. Hensikten med en kombinasjonsbolt er å kunne bruke den samme boltetypen til øyeblikkelig sikring (arbeidssikring) og til permanent sikring. Kombinasjonsboltene er godt egnet der det ønskes å forspenne boltene før innstøping.

Kombinasjonsbolter kan brukes ved de fleste fjellforhold. Unntaket er ved store deformasjoner, f.eks. ved høye bergtrykk (sprakefjell). Forspenning og ettergysing gjør bolten svært stiv. Ved store deformasjoner konsentreres derfor spenningene mer i dette systemet enn i andre mindre stive systemer og kan føre til brudd i boltene.

Mørtelen gir økt korrosjonsvern. Boltetypen er derfor mye brukt i svært korrosivt miljø, f.eks. under sjøiske tunneler. Brudd i mørtelen, utvasking av mørtel på grunn av rennende vann og luftlommer gjør at mørtel som eneste korrosjonsvern ikke alltid er tilstrekkelig. Boltene bør da i tillegg belegges med ekstra korrosjonsvern.

Montering av kombinasjonsbolter foregår i to operasjoner. Boltene monteres først som en vanlig endeforankret bolt. Den ettergyses normalt bak stuff. Gysingen foregår ved at mørtel pumpes inn i boltehullet og luft presses ut. Det stilles store krav til mørtelens konsistens for å oppnå god kvalitet på innstøpingen.

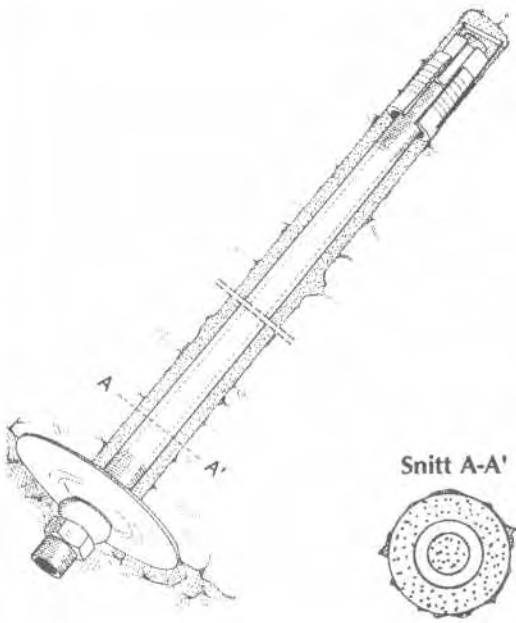
Mørtel kan virke irriterende på hud og slimhinner ved kontakt. Verneutstyr anbefales derfor ved montering.

Ulike kombinasjonsbolter blir presentert i tabell 8-10 med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

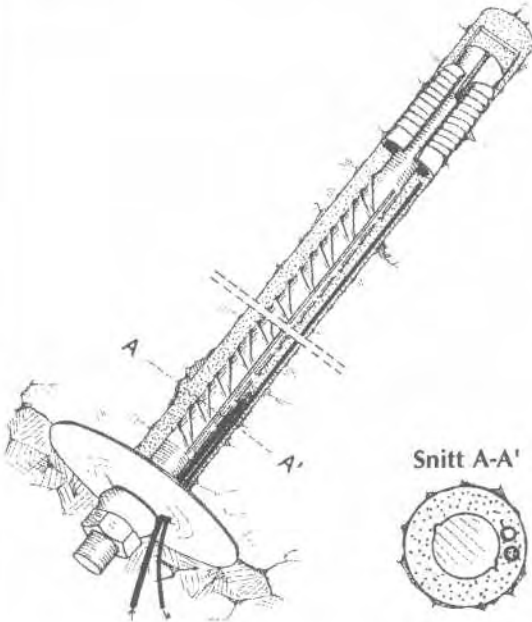
Hovedtyper av kombinasjonsbolter:

- rørbolt
- endeforankret og ettergyst bolt
- CT-bolten

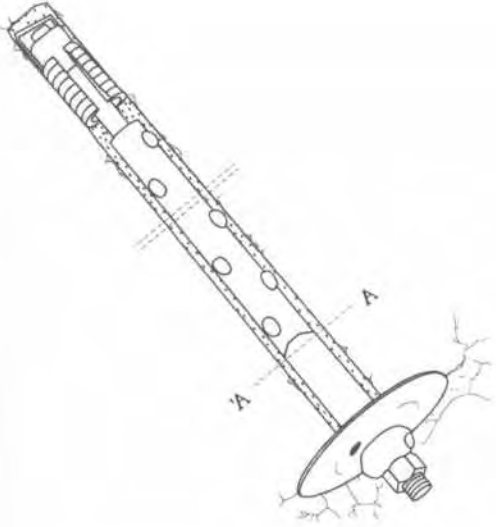
Tabell 8 Rørbolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Rørstål (Rst. 52-3)</p> <p>Lengde: 1,5-6 m</p> <p>Bolte hull: Ø45-Ø48 mm</p> <p>Bolt: Ø27 mm</p> <p>Flytegrense: 100 kN</p> <p>Bruddlast: 130 kN</p> <p>Vekt: 2,4 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: ca. 8% (før innstøping)</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring: - Ekspansjonshylse + mørtel</p> <p>Må bruke underlagsplate, halvkule og mutter.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes ved de fleste fjellforhold. Brukes når både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Mye brukt i undersjøiske tunneler.</p> <p>Montering:</p> <p>Bolten endeforankres med ekspansjonshylse. En mørtelsslange kobles på bolteenden, og mørtel pumpes opp innvendig i røret og fyller boltehullet. Se også kapittel 2.5.</p> <p>Skal bolten sprøytes inn før den ettergyses må ekstratiltak iverksettes, f.eks. kan bolteenden forsynes med en mørtelsslange og en slange i skiven for utlufting.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Gir øyeblikkelig sikring. Permanent sikring etter innstøping. Innstøping gir økt korrosjonsvern (mørtel som eneste korrosjonsvern er ikke alltid tilstrekkelig).</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i myke bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket fjell. Store krav til mørtelens konsistens. (Tiltak må iverksettes ved innstøping av varmforsinkede bolter for å unngå reaksjon mellom sink og sement, se kapittel 1.8.)</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten blir ikke godkjent ved veganlegg hvis den ikke er ettergyst.</p>

Tabell 9 Endeforankret og ettergyst bolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål (500 N/mm²) eller rundstål (St. 37)</p> <p>Lengde: 1,5-6 m</p> <p>Boltehull: Ø45-Ø48 mm</p> <p>Bolt: Ø16-Ø20 mm</p> <p>Flytegrense: 60-120 kN</p> <p>Bruddlast: 100-150 kN</p> <p>Vekt: 1,6-2,3 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 4-10% (før innstøping)</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ekspansjonshylse + mørtel - Polyester + mørtel <p>Må bruke underlagsplate, halvkule og mutter.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan brukes ved de fleste fjellforhold. Brukes når både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Brukt bl.a. i undersjøiske tunneler. Boltene blir aktiv ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.</p> <p>Montering:</p> <p>Bolten monteres som en endeforankret bolt og ettergyses. Ved innstøping brukes polyuretanskum mellom underlagsplaten og fjelloverflaten, samt utluftings- og gyseslange. Se også kapittel 2.5.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Gir øyeblikkelig eller hurtig sikring. Innstøpingen gir økt korrosjonsvern (mørtel som eneste korrosjonsvern er ikke alltid tilstrekkelig).</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i myke bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket fjell. Midlertidig sikring med polyesterpatroner kan gi dårlig feste i tett oppsprukket fjell eller myke/løse bergarter. Kvaliteten på polyesterforankring er avhengig av korrekt montering.</p> <p>(Tiltak må iverksettes ved innstøping av varmforsinkede bolter for å unngå reaksjon mellom sink og sement, se kapittel 1.8.)</p>

Tabell 10 CT-bolten

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Kamstål (500 N/mm²)</p> <p>Lengde: 1,5-6 m</p> <p>Boltehull: Ø43-Ø47 mm</p> <p>Bolt: Ø20 mm</p> <p>Flytegrense: 120 kN</p> <p>Bruddlast: 150 kN</p> <p>Vekt: 2,4 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 5% (før innstøping)</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + pulverlakkert</p> <p>Forankring: - Ekspansjonshylse + mørtel Må bruke underlagsplate. Mutter og spesialhalvkule følger bolten.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kombinasjonsbolt som kan brukes ved de fleste fjellforhold. Brukes når både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Etter innstøping blir bolten helt forseglet inne i polyetylenrøret, som gir svært god korrosjonsbeskyttelse og godt egnet for undersjøiske tunneler. Bolten blir aktiv ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.</p> <p>Montering:</p> <p>Bolten endeforankres med ekspansjonshylse. Ved hjelp av et gysemunnstykke, som kobles til hullet i halvkulen, pumpes mørtelen opp gjennom polyetylenrøret til enden av bolten og videre på utsiden av røret til mørtelen kommer ut rundt underlagskiven. Skal bolten dekkes med sprøytebetong før den blir gyst, må det på forhånd festes en mørtelslange til halvkulen og en til underlagskiven.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Gir øyeblikkelig sikring ved endeforankring. Permanent sikring etter innstøping. Polyetylenrøret gir en total forsegling av bolten og lang levetid.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i myke bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket fjell.</p> <p>Ved stort hullavvik, boltelengder over 3 m, kan ettergysing noen ganger være problematisk. (Tiltak må iverksettes ved innstøping av varmforsinkede bolter for å unngå reaksjon mellom sink og sement, se kapittel 1.8.)</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten blir ikke godkjent ved veganlegg hvis den ikke er ettergyst.</p>

1.5 Andre boltetyper

I dette kapitlet presenteres ulike boltetyper som ikke klart kommer inn under de andre nevnte boltegruppene, eller som hittil har vært lite brukt i Norge.

Kabler og stag presenteres i kapittel 1.6.

Friksjonsbolter brukes til øyeblikkelig sikring i de fleste bergarter. Friksjonsboltene er lite brukt her i landet.

Glassfiberbolter kan monteres som stålbolter og brukes ved de fleste fjellforhold. Glassfiberbolter er hittil lite brukt i Norge. (Trebolter er noe brukt i gruveindustrien.)

Borstangbolter brukes til gysing i tett lagdelt, skifrig eller sterkt oppsprukket fjell der det er fare for at deler av borhullet vil rase sammen når borstangen trekkes ut etter boring. Boltene kan brukes til forbolting. Boltetypen brukes også i fjell med løsmasseoverdekning uten at løsmassene må fjernes før montering av boltene.


En boltetype som finnes på det internasjonale markedet, men som ikke brukes i Norge, er en hul kamstålbolt som endeforankres og ettergyses. Denne kombinasjonsbolten regnes som for dyr for det norske markedet. En annen boltetype som foreløpig ikke er tatt i bruk i Norge, er en pluggbolt som brukes i gruveindustrien i USA. Boltene forankres etter de samme prinsippene som en betongskrue.

Andre boltetyper blir presentert i tabell 11-14 med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

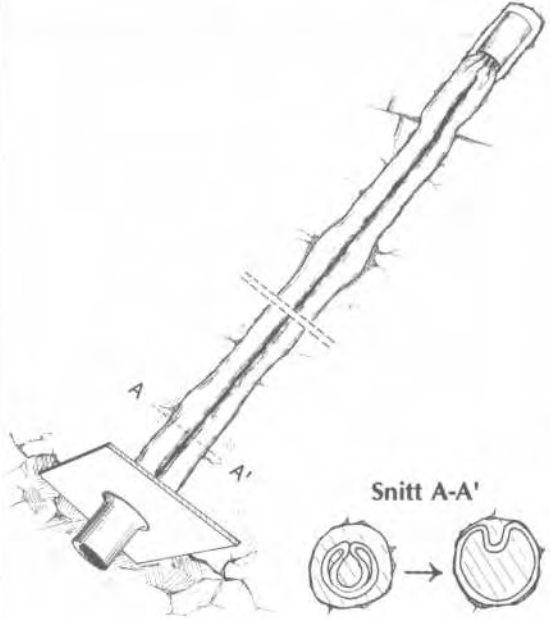
Boltetyper som er plassert i gruppen "andre boltetyper":

- friksjonsbolter (Split Set, Swellex)
- borstangbolt
- glassfiberbolt

Tabell 11 Friksjonsbolt - Split set

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Stål</p> <p>Lengde: 0,9-3 m</p> <p>Boltehull: Ø32-Ø45 mm</p> <p>Bolt: Ø33-Ø46 mm</p> <p>Flytegrense: 90 kN (for Ø39 mm bolt)</p> <p>Bruddlast: 70-140 kN</p> <p>Vekt: 1,8 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 16%</p> <p>Korrosjonsvern: Kan varmforsinkes</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Friksjon mellom stål og fjell
<p>Bruksområde:</p> <p>Split Set brukes til øyeblikkelig sikring ved de fleste fjellforhold. Mye brukt i gruvesammenheng i USA. Ettergivende (fendrende) sikring ved at bolten har stor evne til å deformeres uten at det oppstår brudd i bolten.</p> <p>Montering:</p> <p>Split Set-bolten slås inn i boltehullet. Bolten må ha større diameter enn boltehullet.</p> <p>Fordeler:</p> <p>Lett og rask å installere. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Stor evne til skjærdeformasjon (ettergivende sikring).</p>	<p>Ulemper:</p> <p>Bolten er korrosjonsutsatt. Borhullsdiameteren er kritisk. (For lite boltehull gjør det vanskelig eller umulig å få inn bolten. For stort hull fører til liten friksjon mellom bolt og fjell og redusert lastkapasitet.) Installasjon av lange bolter kan være vanskelig. Kan ikke forspennes (underlagsplaten kan imidlertid gi et trykk mot fjelloverflaten etter montering). Kan oppta høy skjærdeformasjon, men har relativt lav skjærkapasitet.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten er ikke godkjent til permanent sikring i Statens vegvesen.</p>

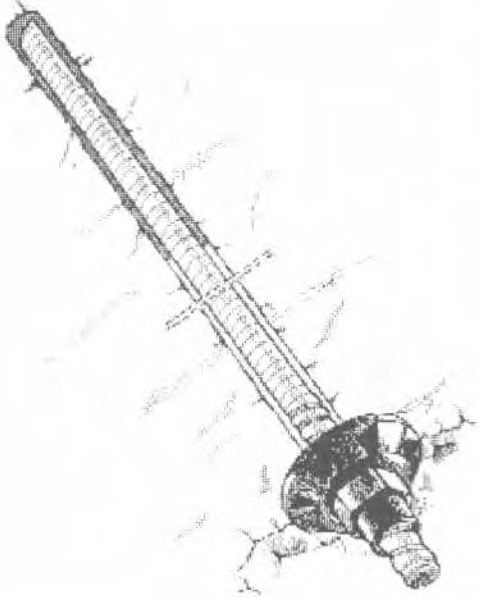
Tabell 12 Friksjonsbolt - Swellex

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: DOMEX 220 (SS 1232-04)</p> <p>Lengde: 1,5-5 m</p> <p>Boltehull: Ø32-Ø39 mm eller Ø43-Ø52 mm</p> <p>Bolt: Ø26 mm</p> <p>Flytegrense: 130 kN</p> <p>Bruddlast: 130 kN</p> <p>Vekt: 2 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 10%</p> <p>Korrosjonsvern: Bitumenbasert maling</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Friksjon og mekanisk motstand
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan i prinsippet brukes ved de fleste fjellforhold. Noe brukt i gruver i Norge. Brukes bl.a. på anleggsmarkedet i Europa.</p> <p>Montering:</p> <p>Bolten skyves inn i boltehullet. En vannpumpe festes til enden av den hule bolten, høyt vanntrykk settes på og bolten ekspanderer i hullet. Stålet former seg inntil borhullsveggen.</p> <p>Fordeler:</p> <p>Enkel og sikker montering. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Tåler vibrasjon.</p>	<p>Ulemper:</p> <p>Bolten er korrosjonsutsatt. Spesialutstyr trengs for å installere boltetypen. Kan ikke forspennes.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten er ikke godkjent til permanent sikring i Vegvesenet.</p>

Tabell 13 Borstangbolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Spesiellagde, hel-gjengede borstangbolter. Brukte borstenger</p> <p>Lengde: 2-6 m, muligheter for skjøting</p> <p>Bolte hull: Ø30-Ø70 mm</p> <p>Bolt: Ø25-Ø40 mm</p> <p>Flytegrense: 130-490 kN</p> <p>Bruddlast: 200-660 kN</p> <p>Vekt: 2,5-6,9 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: fullt innstøpt » stivt system</p> <p>Korrosjonsvern: Varmforsinket, varmforsinket + epoxybelagt, rustfritt stål</p> <p>NB! Tekniske data varierer med produsent.</p> <p>Forankring:</p> <p>- Sementmørtel - Polyester - Ekspansjonshylse</p> <p>NB! Forankring varierer med produsent.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Borstangbolten er påmontert borkrone og fungerer som borstang under boring. Bolten kan brukes til forbolting og gysing i tett lagdelt, skifrig eller sterkt oppsprukket og løst fjell der det er fare for at deler av borchullet vil rase sammen når borstangen trekkes ut etter boring. I dagen kan bolten med fordel brukes i fjell med løsmasseoverdekning, fordi løsmassene ikke behøver og fjernes ved boring/montering av bolten.</p> <p>Montering:</p> <p>Borstangbolten trekkes ikke ut igjen etter boring (bolten kan eventuelt trekkes ut og borkronen skrues av for gjenbruk). Mørtel gyses inn gjennom den hule stangen.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Slipper å trekke ut borstangen etter bruk. Slipper å fjerne løsmasseoverdekning før forankring i fjellet. Borkrona kan brukes om igjen. Gysing kan foregå samtidig som borstangbolten bores inn i fjellet. Får injisert et stort område rundt bolten. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Borkrona går tapt om boret/bolten ikke trekkes ut etter boring. Kontroll av mørtelkvaliteten er vanskelig. Godt innstøpningsresultat avhenger av korrekt montering. Mørtel som eneste korrosjonsvern er ikke alltid tilstrekkelig.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Det må brukes godkjent boltmørtel ved varmforsinkede bolter.</p>

Tabell 14 Glassfiberbolt

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Massiv glassfiberbolt (eller rørbolt av glassfiber)</p> <p>Lengde: Skjøtbare</p> <p>Bolte hull: Ø27-Ø48 mm</p> <p>Bolt: Ø22-Ø25 mm (Rørbolt: Ø40 mm)</p> <p>Flytegrense: -</p> <p>Bruddlast: 85-250 kN (Rørbolt: > 62 kN)</p> <p>Vekt: 0,7-0,9 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: Ekspansjonverdi på ca. 0,5% for massiv glassfiberbolt (Rørbolt av glassfiber: 2%.)</p> <p>Korrosjonsvern: -</p> <p>NB! Det finnes flere varianter av glassfiberbolter.</p> <p>Forankring: - Mørtel - Polyester - Epoxy</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kan med fordel brukes der sikrede områder senere skal inngå i produksjonen, f.eks. under oppfaring i gruveindustrien. Boltene har et fortrinn i nærheten av kuttende maskiner, f.eks. ved TBM-drift. Kan brukes i korrosive omgivelser, f.eks. i vannførende fjell med veldig surt vann (lav pH). Boltene har hittil vært lite brukt i Norge.</p> <p>Montering:</p> <p>Rørbolter av glassfiber forankres ved å gyse gjennom boltene.</p> <p>Massive glassfiberbolter kan forankres som stålbolter, f.eks. med mørtel, epoxy eller polyester.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Lett å kutte. Korroderer ikke. Relativt høy strekkfasthet, høy lastkapasitet. Lav spesifikk vekt.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Relativt stiv bolt med liten evne til å deformeres. Begrenset skjærkapasitet.</p> <p>Anmerkning:</p> <p>Bolten er ikke godkjent til permanent sikring i Vegvesenet.</p>

1.6 Kabler og stag

Kabler og stag er her gitt som betegnelse på lange bolter (normalt over 6 meter) som består av en eller flere wirer (lisser) eller av høyfast stangstål.

Kabler og stag er presentert, men behandles ikke detaljert i denne boken.

Virknings- og monteringsprinsippene skiller seg ikke fra vanlige bolter, men både dimensjonering og montering med kabler og stag betegnes vanligvis som spesialarbeider. Normalt må monteringen utføres av personer med høy fagkompetanse og erfaring med denne type arbeid.

Kabler (ikke-forspente kabelbolter) består av wirer (lisser) og brukes til stabilisering av bl.a. store bergrom, dammer, fjellskråninger, høye fjellskjæringer og ellers der det er behov for lange bolter.

Lissestag (forspent kabel) er satt sammen av flere wirer (lisser) og kan brukes til stabilisering av bl.a. fjellskråninger, store bergrom, dammer og bygge-

groper i fjell. Lissestagene har høye lastkapasiteter og gis normalt høy forspenning.

Stangstag er bolter av høyfast stål som kan brukes til stabilisering av høye fjellskjæringer, store bergrom, dammer og byggegroper i fjell. Stangstag har normalt høye lastkapasiteter, og må forspennes for å utnyttes fullt ut.

I forbindelse med bl.a. store og kompliserte fjellanlegg under jord, samt sikring av høye fjellskråninger eller -skjæringer, kan det ventes økt anvendelse av kabler og stag i Norge.

Kabler og stag blir presentert i tabell 15-17 med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

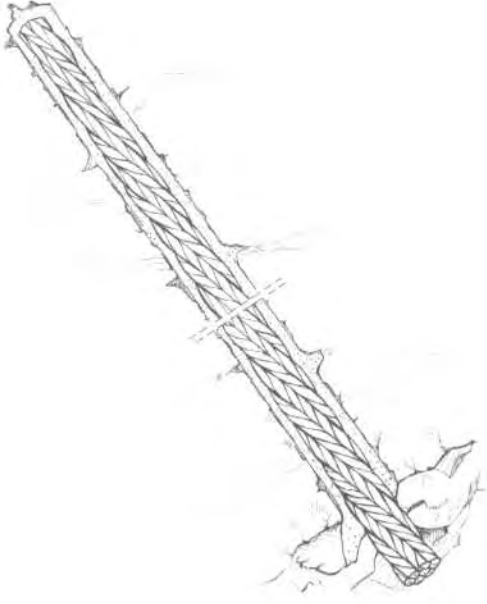
Hovedtyper av kabler og stag:

- kabler (ikke-forspente kabelbolter)
- lissestag (forspent kabel)
- stangstag

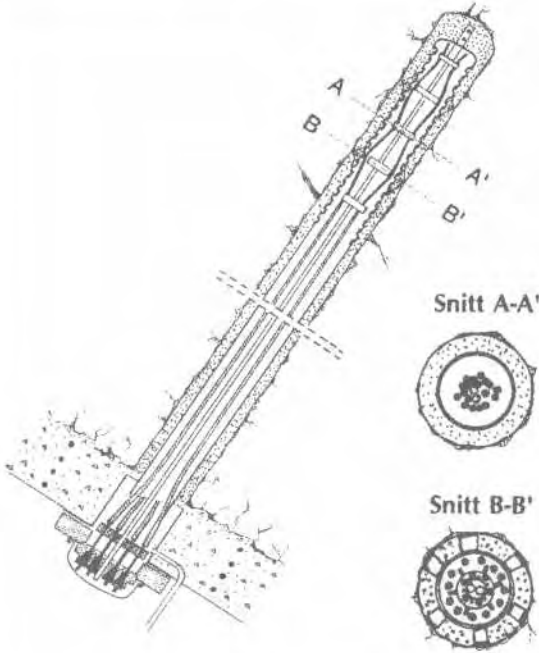


Bolting med stangstag i skjæring. (Foto: K.B. Pedersen)

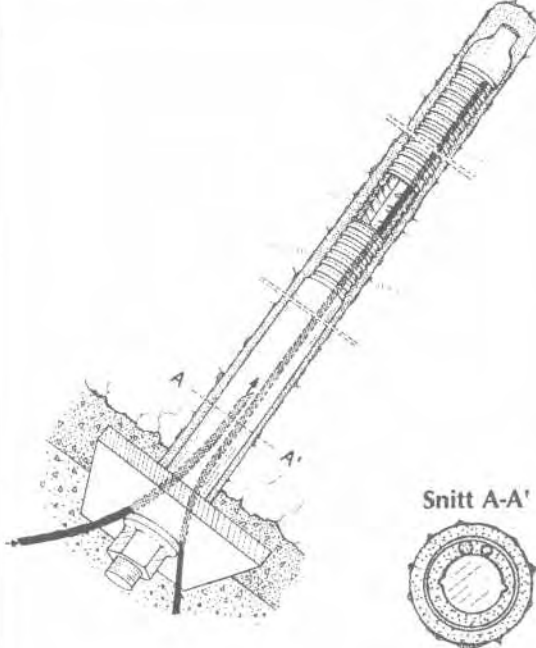
Tabell 15 Kabler (ikke-forspente kabelbolter)

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Wirer ($F_y = 1770 \text{ N/mm}^2$), wirer bygges sammen til kabler</p> <p>Lengde: Ønsket lengde</p> <p>Boltehull: Ø35 mm og oppover</p> <p>Bolt: Ø28 mm og oppover</p> <p>Flytegrense: 500 kN og oppover</p> <p>Bruddlast: 500 kN og oppover</p> <p>Vekt: 3,1 kg/m og oppover</p> <p>Bruddforlengelse: 3%</p> <p>Korrosjonsvern: -</p> <p>NB! Det finnes mange varianter av kabler, og tekniske data varierer bl.a. med produsent.</p> <p>Forankring:</p> <p>- Fullt innstøpt med mørtel (Kan endeforankres og forspennes.)</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Kabler brukes til sikring av bergrom og skjæringer der lange bolter (kabler) er ønskelig. Det innebærer stabilisering av bl.a. fjellhaller, høye fjellskjæringer, fjellskråninger og dammer.</p> <p>Montering:</p> <p>Kabel og gyseslange føres til bunnen av boltehullet samtidig. Innpumping av mørtel starter. Slangen presses ut av boltehullet av pumpetrykket, og gir fullt innstøpt ikke-forspent kabel. Det kan brukes flere kabler i samme borchull.</p> <p>(Kabler med ekspansjonshylse og kabellås kan forspennes og gyses til full innstøping er oppnådd /5/.)</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Lange bolter kan monteres inn selv fra små rom. Høy lastkapasitet. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Det kan være vanskelig å kontrollere kvaliteten på innstøpingen. Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av lang herdetid for mørtelen. Leveres normalt ikke med korrosjonsbeskyttelse.</p>

Tabell 16 Lissestag (forspent kabel)

 <p>The diagram illustrates the structure of a prestressing tendon. It includes a perspective view of the tendon, showing its central core and the surrounding sheath. Two cross-sections are provided: Snitt A-A' shows a circular cross-section with a central core and an outer sheath. Snitt B-B' shows a more detailed cross-section of the tendon, highlighting the internal arrangement of wires and the surrounding sheath.</p>	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Wirer ($F_y = 1670 \text{ N/mm}^2$), wirer bygges sammen til kabler</p> <p>Lengde: Ønsket lengde</p> <p>Bolte hull: Ø76-Ø200 mm (for permanente kabler)</p> <p>Bolt: (1 wire: Ø12,5-Ø15,7 mm), Ø60-Ø165 mm (for permanente kabler)</p> <p>Flytegrense: (1 wire: 167-276 kN) I praksis opptil ca. 8500 kN</p> <p>Bruddlast: (1 wire: 167-307 kN) I praksis opptil ca. 9500 kN</p> <p>Vekt: (1 wire: 0,8-1,3 kg/m) I praksis opptil ~42 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: $\geq 3,5\%$</p> <p>Korrosjonsvern: Mørtel + plasthylse</p> <p>NB! Flere produsenter og dermed varierende tekniske data.</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Endeforankret med mørtel - Fullt innstøpt i mørtel
<p>Bruksområde:</p> <p>Stabilisering av store bergrom, fjellskråninger, dammer og byggegropen i fjell.</p> <p>Montering:</p> <p>Prinsippet for montering er at lissestaget først endeforankres med mørtel. Etter herding forspennes og ettergyses lissestaget. Monteringsarbeidet må utføres av erfarent personell og leverandørens monteringsanvisning må følges.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Stor lastkapasitet, kan forspennes med stor kraft. Får kontroll på forankringskapasiteten under forspenningen. Mørtel og eventuell plasthylse gir økt korrosjonsvern.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Montering av forspente, innstøpte lissestag krever spesialkompetanse. Lissestag gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen.</p>

Tabell 17 Stangstag

	<p>Vanlige tekniske data:</p> <p>Materiale: Stag ($F_y = 835-1230 \text{ N/mm}^2$)</p> <p>Lengde: Skjøtbare til ønsket lengde</p> <p>Bolte hull: Ø35-Ø100 mm</p> <p>Bolt: Ø15-Ø36 mm</p> <p>Flytegrense: 159-1099 kN</p> <p>Bruddlast: 195-1252 kN</p> <p>Vekt: ca. 1,5-10 kg/m</p> <p>Bruddforlengelse: 0-5%</p> <p>Korrosjonsvern: Mørtel + plasthylse</p> <p>NB! Flere produsenter og dermed varierende tekniske data.</p> <p>Forankring:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fullt innstøpt i mørtel - Endeforankret i mørtel - Endeforankret i polyester <p>Må ha bæreskive og mutter ved endeforankring.</p>
<p>Bruksområde:</p> <p>Stabilisering av høye fjellskjæringer, store bergrom, dammer og byggegropen i fjell.</p> <p>Montering:</p> <p>Stag kan forspennes og støpes helt inn i mørtel, eller bare endeforankres i mørtel eller polyester. Monteringsprinsipper er som for kombinasjonsbolter. Leverandørens monteringsanvisning må følges.</p>	<p>Fordeler:</p> <p>Stor lastkapasitet, kan forspennes med stor kraft. Mørtel og eventuell plasthylse gir korrosjonsvern.</p> <p>Ulemper:</p> <p>Liten skjærkapasitet i forhold til strekk-kapasitet. Noe mer omfattende monteringsarbeid enn for vanlige bolter. Stangstag gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen.</p>

1.7 Boltematerialer og tilbehør

Ulike boltematerialer og tilbehør er i det foregående behandlet i noen grad, men blir samlet presentert nedenfor.

Materialet i boltestammen

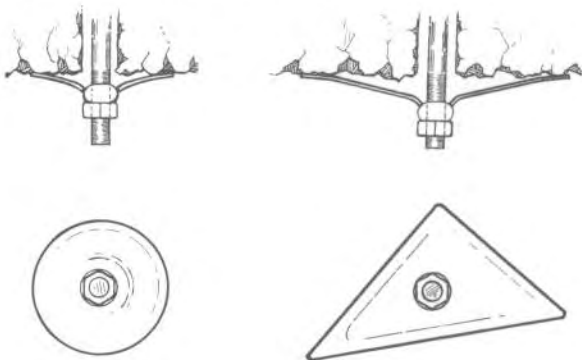
Materialet i boltestammen varierer med leverandør og boltetype. I Norge er bolter av kamstål K500TE (500 N/mm²) med bruddforlengelse på ca. 4% mye brukt. Rundstålbolter, enten som massivt stål eller som rørbolter, brukes også. Massive glassfiberbolter og rørbolter av glassfiber er hittil lite brukt i Norge. Se for øvrig tekniske data for de ulike boltetypene.

Underlagsplater og halvkuler

Det finnes en rekke forskjellige underlagsplater på markedet. Mest brukt er sfæriske underlagsplater, f.eks. 6 x Ø150 mm eller 6 x Ø200 mm. I sprakefjell brukes vanligvis store trekantplater, 5 x 400 x 500 mm, som gir stor anleggsflate mot fjellet.

Halvkuler som brukes i Norge i dag, har et funksjonsområde mellom 0-25°. Halvkule bør brukes for å få best mulig samvirke mellom underlagsplate, bolt og fjell.

Figur 3 Eksempler på underlagsplater



Ekspansjonshylser

Det finnes flere varianter av ekspansjonshylser. I Norge brukes hovedsakelig en såkalt "bailtype" som består av en konisk mutter og to kileformede, fortanede blad. Se f.eks. forankringen på skissen i tabell 1.

Polyester

Leverandør- og/eller produktbeskrivelsen med hensyn på lagring og montering med polyester må følges. Se kapittel 2.4.

Polyesterpatronene leveres normalt med begrenset lagringstid på ett år ved ca. 20 °C. Polyesterpatronene må ikke utsettes for sollys eller høy temperatur ved lagring (maks. 30 °C).

Polyesterens herdetid er temperaturavhengig. Dersom polyesterpatronene lagres kaldt, bør de tempereres før de brukes. Polyester bør holde en temperatur på ca. 20 °C ved bruk for at blandingen skal bli best mulig og herdingen skje raskt.

Det er ikke oppdaget forandring i den kjemiske sammensetningen til herdet polyester etter ca. 13 år i en tunnel /6/.

Mørtel

Korrekt montering stiller store krav til mørtelens konsistens og sammensetning. Det er spesielt viktig at riktig mengde vann tilsettes. Mørtelen skal ha en kremaktig konsistens. Tilsetningsteknologien gjør at de ulike mørtelproduktene behøver ulik vanntilsetning for å oppnå riktig konsistens. Riktig vanntilsetning skal angis av leverandør.

Mørtel kan virke irriterende på hud og slimhinner ved kontakt. Verneutstyr anbefales derfor ved montering. For innstøping av bolter, se også kapittel 2.5.

Mørtel har relativt lang herdetid. Trykkfasthet over tid for to boltemørtelprodukter er vist i vedlegg 1.

Reaksjon mellom sink og sement behandles i kapittel 1.8.

Ved gysing av varmforsinkede bolter skal det brukes godkjent boltemørtel.

1.8 Korrosjonsvern

I Norge har stålbolter vært brukt til stabilitetssikring med et visst omfang i over 40 år.

Undersøkelser av bolter i vanntunneler har ikke påvist svikt i bolters forankring som kan tilskrives korrosjon på boltene /7/. Undersøkelse av bolter med ulike stålqualiteter og korrosjonsvern i undersjøiske tunneler har vist til dels sterk korrosjon på enkelte av boltene /8/.

Det er behov for systematisk og detaljert kartlegging av korrosjon på fjellbolter.

Korrosjonsmiljø

Malm er omdannet til metall ved energitilførsel og får en ustabil tilstand på et høyere energinivå. Litt forenklet kan det sies at korrosjon oppstår når metallet forsøker å frigjøre tilført energi for å gå tilbake til en lavere energitilstand. For at stål skal korrodere (ruste)

i vanlige omgivelser, kreves tilgang på både oksygen (surstoff) og vann /9/.

Det er primært to forhold det må tas hensyn til ved valg av korrosjonsvern på fjellbolter:

- bergrommets dimensjonerende levetid
- korrosjonsmiljøet

Vann har stor innvirkning på korrosjonshastigheten, og korrosjonsforløpet i vann er meget komplisert.

Bergarter med høyt innhold av kis, f.eks. alunskifer, kan gi meget korrosivt miljø.

Det atmosfæriske miljø har også stor innvirkning på korrosjonshastigheten. Det atmosfæriske miljøet deles normalt inn i kystklima, innlandsklima samt by- og industriklime.

Generelt er et tunnelmiljø i utgangspunktet vanskelig å klassifisere, fordi variasjonene er store og flere miljø kan opptre i en og samme tunnel.



Korrosjon på 50 år gamle svartstålbolter. (Foto: K. B. Pedersen)

Behov for korrosjonsvern

Ved de fleste typer fjellanlegg er det satt krav til at boltene må korrosjonsbeskyttes dersom de skal inngå i den permanente sikringen.

Endeforankrede bolter har en fri overflate som vil korrodere i de fleste tunnelmiljøer.

Fullt innstøpte bolter er tidligere vurdert som permanente bolter, fordi de er omhyllt av sementmørtel. Mørtel vil gi korrosjonsvern, fordi det skapes et basisk miljø. Erfaringer de senere årene (/6/, /10/) viser at innstøpningen ikke alltid gir det tiltenkte korrosjons- vernet, se figur 4. Dette tilsier at bolter som skal støpes inn og inngå i den permanente stabilitets- sikringen må korrosjonsbeskyttes i sin helhet, f.eks. med et sinkbelegg.

Årsaker til at full innstøping ikke alltid gir tilstrekkelig korrosjonsvern på bolter:

Vannførende hull

Delvis utvasking av mørtel i vannførende hull.

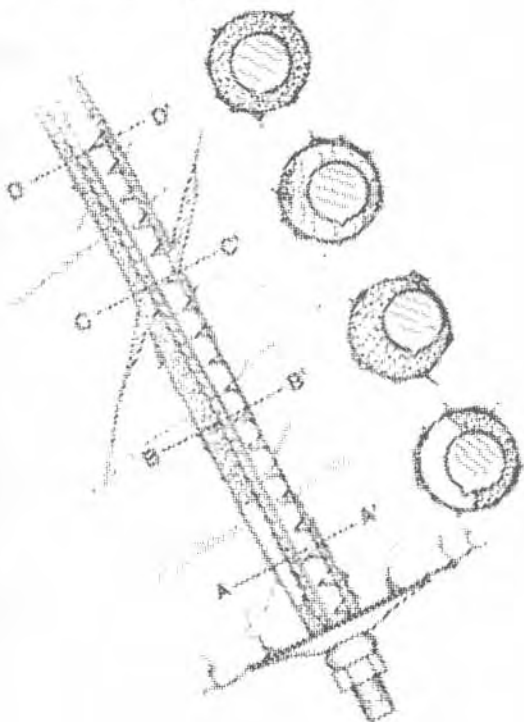
Usentrisk beliggende bolt

Bolten ligger inntil hullveggen i boltehullet. Det kan medføre at områder av boltene ikke er omgitt av mørtel. Skjeve borhull kan medvirke til kontakt mellom hull- vegg og bolt. Det anbefales at man bruker sentrerings- fjær eller sentreringsklips.

Operatørfeil

Feil under montering kan føre til luftlommer og redusert fyllingsgrad av mørtel. Vanlig feil er bruk av for tynn mørtel.

Figur 4 Kvalitetsavvik på innstøpte bolter



Snitt A - A' : Luftlomme

Snitt B - B' : Usentrisk beliggende bolt

Snitt C - C' : Vannførende sleppe

Snitt D - D' : Full mørteloverdekning

Systemer for korrosjonsvern

Varmforsinking

Det vanligste vernesystemet for fjellbolter de siste 20 år har vært varmforsinking. Det er en prosess som ble patentert så tidlig som i 1837. Sinken er relativt billig og legges på med en tykkelse på 0,06 mm (60 mm) til 0,15 mm (150 mm). Sinktykkelsen varierer med godstykkelsen og silisiuminnholdet i stålet. Krav til sinktykkelse på bolter og tilbehør bør være i henhold til NS 1978 /11/.

Varmforsinking + pulverbelegging

Siden 1985 er det på enkelte anlegg brukt fjellbolter med ekstra korrosjonsvern utenpå sinken. Dette systemet ("combi coat") blir primært brukt i undersjøiske tunneler, og for øvrig der sink alene vil ha begrenset levetid. Dette korrosjonsvernet består av varmforsinking + pulverbelegging. Pulverbelegget består av polyester eller epoxy som smeltes inn i overflaten.

Maling

Tradisjonelt har maling blitt brukt som tilleggsværn på sink, men malingen har vist seg å ha for dårlige mekaniske egenskaper, samtidig som den er for lite bestandig og tett. Den er derfor ikke godkjent som permanent korrosjonsvern.

Rustfritt stål

Rustfritt stål brukes i mange sammenhenger der det stilles spesielle krav til levetiden, og der miljøet ofte er meget korrosivt. I forbindelse med fjellbolter er rustfritt stål lite brukt. En naturlig årsak til dette er at rustfritt stål er mye dyrere enn varmforsinket eller pulverlakkert stål. Hvis det ønskes å bruke rustfritt stål, må man likevel være oppmerksom på at rustfritt stål kan korrodere raskere enn vanlig lavlegert stål i en del sammenhenger /8/.

Reaksjon mellom sement og sink

For å redusere sementallergi blandt arbeidere som kommer i kontakt med sement, har arbeidstilsynet satt krav til lavt innhold av løselige kromater i sementen /12/. Dette er årsaken til at norsk sement dekromatiseres. Det er kjent at sementbasert mørtel med lavt innhold av løselige kromater reagerer med sink. Reaksjonen medfører en gassutvikling som danner porer i mørtelen og samtidig reduserer heften til stålet /10/, /13/.

For å unngå reaksjonen mellom sink og sement må boltene overflatebehandles eller belegges utenpå sinken. Mulige beleggtypen er maling, polyester, epoxy eller andre tette belegg.

Generelt skal det brukes godkjent boltemørtel til gysing.

2 Utstyr og montering

Bolter og andre sikringsmidler skal sikre personell som arbeider i tunneler og bergrom, og senere den enkelte bruker av anleggene. Det er derfor nødvendig at sikringsprosessen oppfyller klare krav til produksjon og montering av boltene. Personell som monterer bolter, bør ha erfaring, eller få opplæring i faget.

Montering av bolter starter idet man begynner å bore hull for boltene. Bordimensjon må velges etter boltens diameter og forankring. Riktig tilpassing og bruk av bolteboringsutstyret gir økt arbeidssikkerhet og økt kapasitet, samtidig som det er nødvendig for å oppnå riktig kvalitet på boltingen.

I forbindelse med innsetting og forankring av bolter er det viktig at monterings-prosedyrene følges. Korrekt utførelse under monteringen er viktig for å oppnå et godt sluttprodukt.

2.1 Borutstyr og boring av bolte hull

Boltens virkemåte avhenger bl.a. av borhullets diameter, lengde og retning. Borriggeren må plasseres slik at bommen hele tiden står i korrekt borvinkel i forhold til fjellvegg og heng.

For bolteboring i tunnel er det naturlig å skille mellom bolting på stuff og bolting bak stuff. Utstyr eller utstyrskombinasjoner i de to tilfellene er ofte forskjellige. Boring av bolte hull på stuff foregår som regel med de samme riggerne som borer salven, mens bolting bak stuff kan foregå med spesielle bolterigger.

I store tverrsnitt brukes tunnelborrigger til all bolting på stuff og til mye av den permanente boltesikringen bak stuff, men det kan være mer hensiktsmessig å bruke egen borrigg/bolterigg til den permanente sikringen.

Tabell 18 Borutstyr til bolteboring ved ulike tunneltverrsnit

Tunneltverrsnitt	Utstyr for bolte hullsboring	Bolte hullsdiameter
7 - 15 m ² (sjakt)	Håndholdte bormaskiner	27 - 40 mm
10 - 25 m ²	Håndholdte bormaskiner	27 - 40 mm
15 - 40 m ²	Borrigg med teleskopmater eller egen bolterigg	38 - 51 mm
40 - 100 m ²	Tunnelborrigg	45 - 51 mm
Over 100 m ² (fjellhall)	Tunnelborrigg	45 - 51 mm

Håndholte bormaskiner

Håndholdte bormaskiner blir først og fremst brukt i tverrsnitt der det er vanskelig å komme til med grovere utstyr. Boringen utføres fra korg, fra arbeidsplattform eller direkte fra sålen. Til bolteboring brukes borserie 11 og 12 (Ø27-Ø40 mm).

Bolterigg

Halvmekanisert bolterigg borer boltehullet, men bolten installeres manuelt. Riggen har normalt en standard roterbom med kortere matelengde enn vanlig tunnelrigg. Det er for at bommen lettere skal kunne manøvreres og boltehullene plasseres i riktig

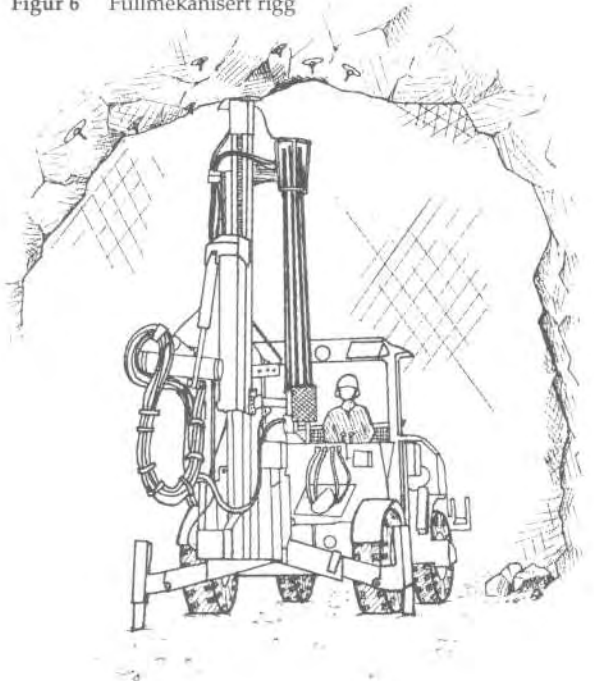
vinkel. Er bommen teleskopisk forlengbar, blir rekkevidden for hver oppstilling større. Skal riggen brukes til boring av lange boltehull, bør den utstyres med innretning for automatisk stangskifte. Riggen kan være utstyrt med ekstra bom med arbeidskorg som kan brukes ved montasje av bolten, men boltemontasjen kan også utføres fra egen arbeidsplattform.

En fullmekanisert bolterigg kan i tillegg til å bore boltehull også installere bolter. Begge operasjonene utføres fra operatørplass på riggen. Riggen kan utstyres med utstyr for montering av ulike boltetyper, med magasin for boltene (6-10 stk.) /14/.

Figur 5 Knemater



Figur 6 Fullmekanisert rigg



Tunnelborrigg

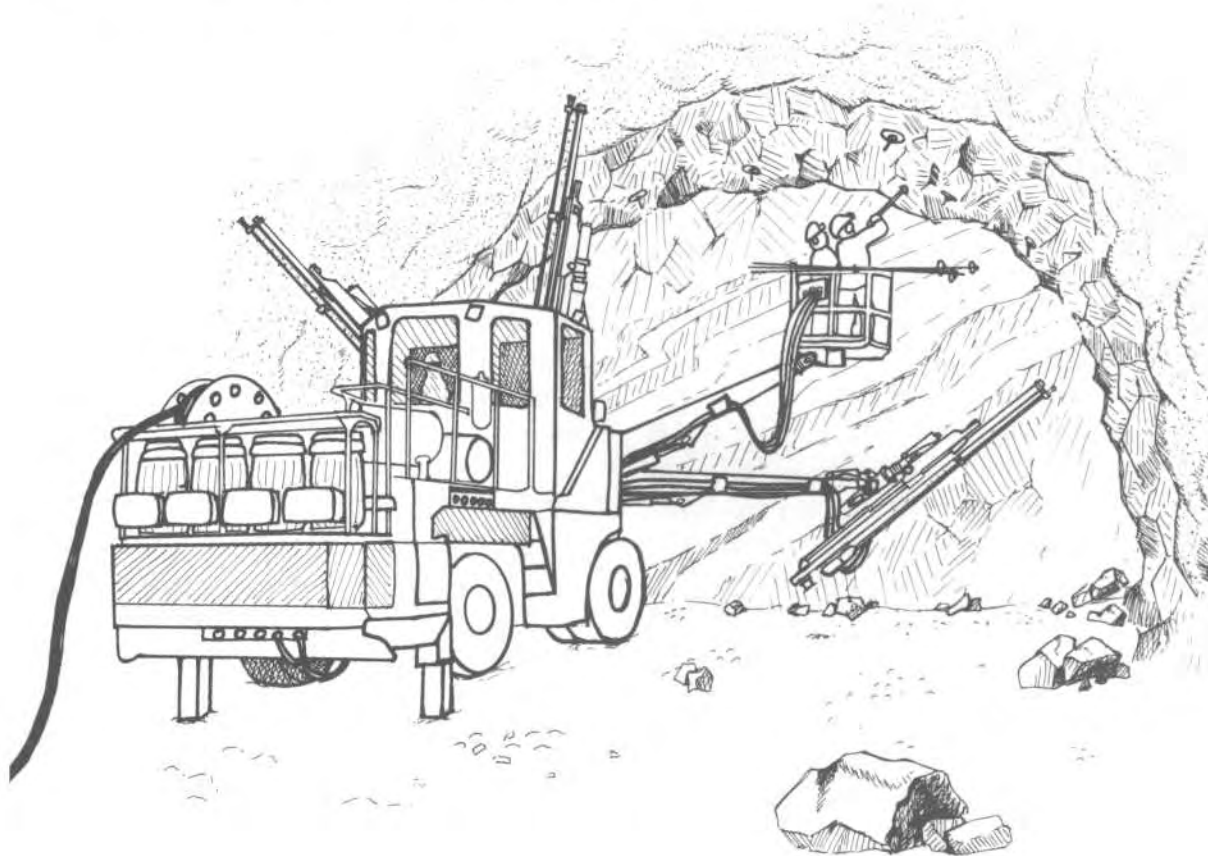
Dersom tunnelriggen kan bore radielle hull vil den som oftes bli brukt til bolteboring. Moderne tunnelrigger er utstyrt med roterbommer og har mulighet for å bore i alle retninger.

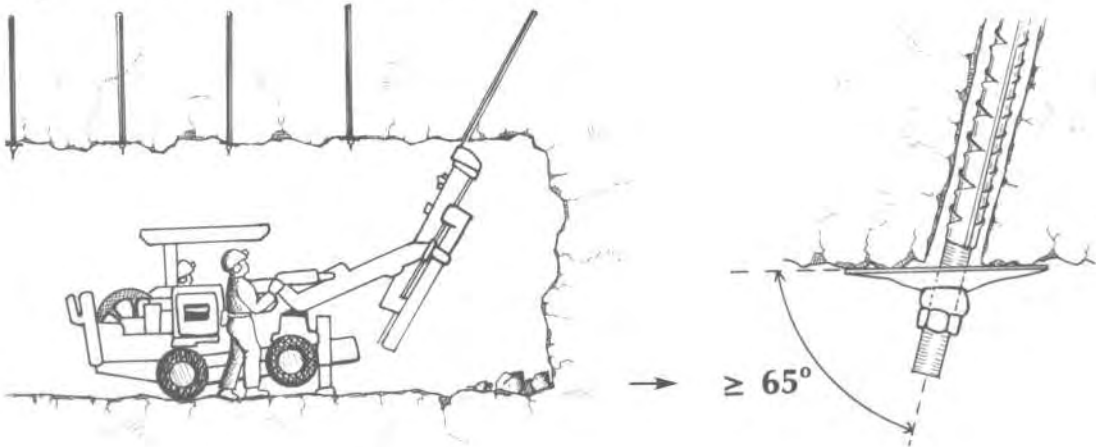
Av praktiske grunner er det vanlig å bruke

Ø45 mm både til boring av ladehull og boltehull ved driving av tunneler.

Tunnelrigger kan utstyres med delt matebjelke som gjør det lettere å komme til ved bolting i trange tverrsnitt. Matebjelken er bygd opp av to profiler som glir på hverandre.

Figur 7 Tunnelborrigg med tre borebommer og en bom med korg



Figur 8 Vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten

Feilkilder ved boring av boltehull

Feil som blir gjort i forbindelse med montering av fjellbolter, skriver seg ofte fra selve boringen. Primært er det to feil som gjøres:

- A. For liten vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten
- B. For lange borhull ved polyesterforankring av bolter

A. For liten vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten

For liten vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten er ugunstig for endeforankrede bolter og andre bolter som skal forspennes.

Minste vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten må normalt være ca. 65° , se figur 8. Årsaken er at halvkulens funksjonsområde er mellom ca. $0-25^\circ$. Halvkulen skal gi en aksiell belastning og dermed forhindre bøyespenninger på bolten.

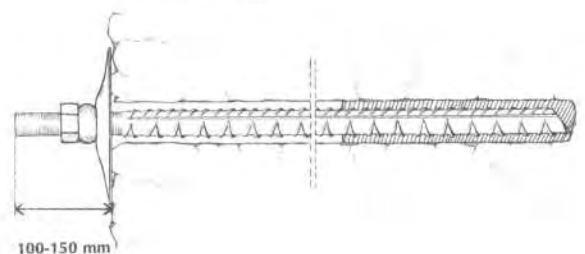
Hovedårsaken til at denne feilen oppstår er at høyde/bredde, eller at borryggen ikke plasseres (flyttes) riktig i forhold til stoffen.

B. For lange borhull ved polyesterforankring av bolter

For lange hull er svært ugunstig ved bruk av polyesterpatroner (vil også være ugunstig ved bruk av mørtelpatroner). Dersom borhullet er for langt i forhold til boltens lengde, reduseres både blandedevnen og forankringslengden. Tilfeller av dette har gitt bolter med liten eller ingen lastkapasitet /10/, /15/.

NB! I forbindelse med boring for polyesterforankrede bolter er det viktig at borhullet er 100-150 mm kortere enn boltens lengde. For å oppnå korrekt lengde på boltehullet kan to hjelpemidler brukes:

- a) "Bufferbjelker" (f.eks. 2" x 4" plank) monteres på matebjelken og stopper innmatingen på ønsket lengde (enkel løsning)
- b) En datastyrt borrygg programmeres for stopp på ønsket lengde

Figur 9 Riktig tilpasset lengde på boltehullet for polyesterforankrede bolter


2.2 Utstyr for montering av bolter

Hjullaster med korg eller renskeplattform

I store og mellomstore tunnelverrsnitt er tunnelriggen normalt utstyrt med korg som brukes ved lading og til montering av boltene. Ved omfattende bolting og permanent sikring bak stuff kan det være best å bruke eget utstyr ved montering av boltene, f.eks. hjullaster med korg eller hydraulisk arbeidsplattform (bakstuftrigg) /14/.

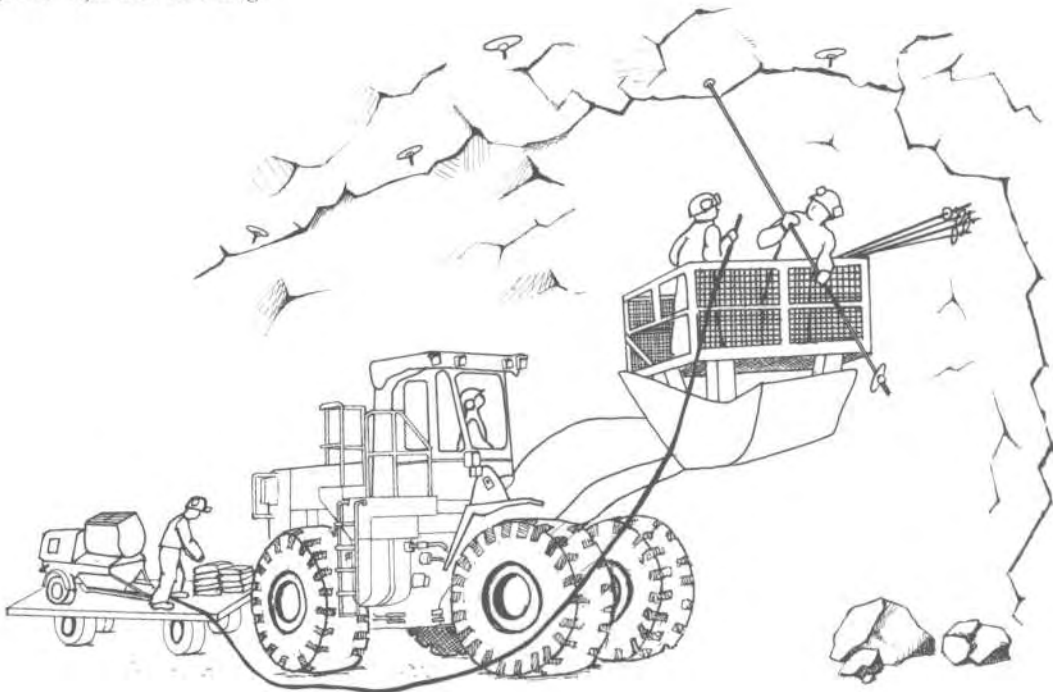
Luftdrill med matekolonne (matesylinder)

I forbindelse med montering av polyesterforankrede bolter må det brukes drill med rotasjonshastighet på 300-400 o/min. Normalt blir det brukt en luftdrill påmontert en matekolonne. Matekolonnen skal lette arbeidet med innmating av bolten.

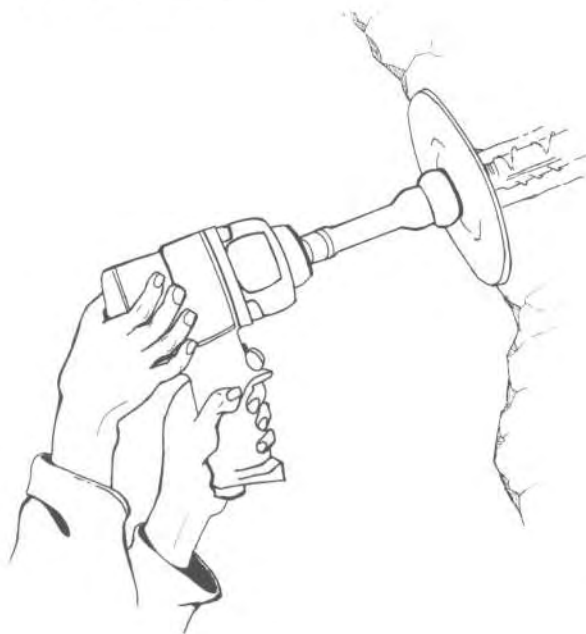
Figur 11 Luftdrill med matekolonne



Figur 10 Hjullaster med korg



Figur 13 Muttertrekker



Mørtelpumpe

Til innstøping av bolter brukes en mørtelpumpe. Det finnes to typer: *stempelpumpe* og *monopumpe (skrupumpe)*.

Det hevdes at monopumpa er bedre egnet ved bolting enn stempelpumpa. Fordelen med en monopumpe er at den kan transportere en forholdsvis tykk mørtel, samtidig som den har en jevn fremmating.

Pumpene kan leveres med ulike kraftkilder: trykkluft, elektrisk eller dieselhydraulisk drift.

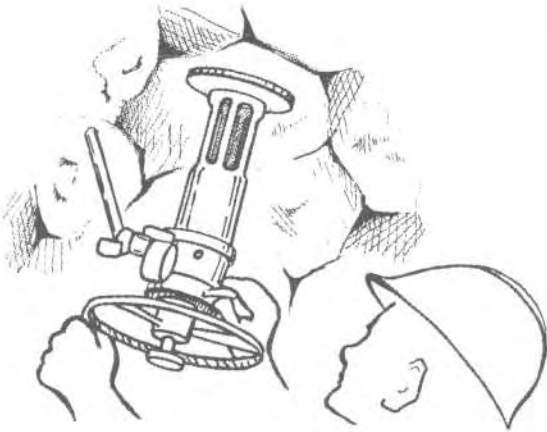
Muttertrekker

Muttertrekkere brukes til forspenning av bolter. Muttertrekkeren brukes i kombinasjon med en lang mutterpipe for stramming av mutteren mot underlagsplaten. Ved bruk av muttertrekker vil forspenningen alltid variere, fordi friksjonen varierer i gjengene på boltene. Når det brukes muttertrekker til forspenning, er det viktig å kalibrere den før bruk.

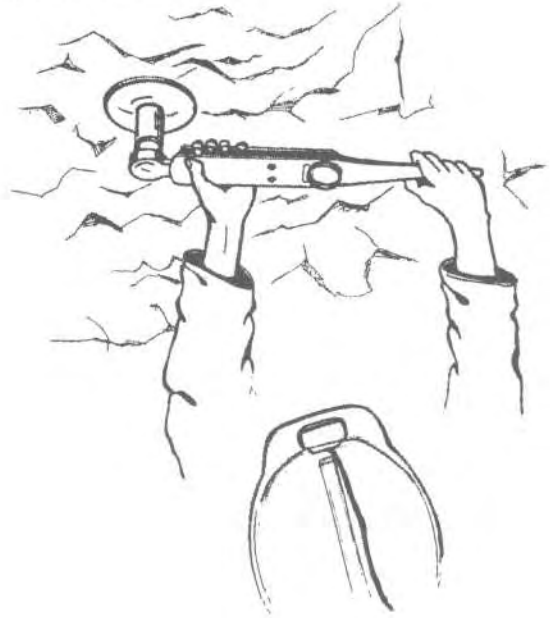
Figur 12 Mørtelpumpe



Figur 14a Hydraulisk jekk



Figur 14b Momentnøkkel



Hydraulisk jekk og momentnøkkel

Den mest nøyaktige metoden for forspenning av bolter er å strekkbelaste dem med en hydraulisk jekk, og så etterstramme mutteren til ønsket forspenning. Denne metoden er forholdsvis tidkrevende og er derfor lite brukt. Hydrauliske jekker brukes for å kontrollere endeforankrede bolter, se kapittel 5.4.

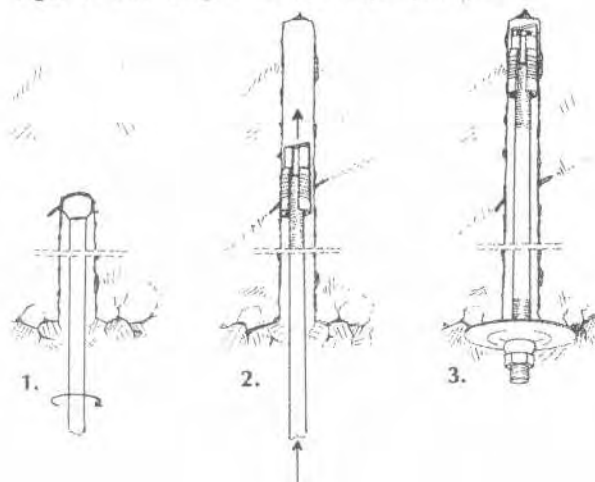
Momentnøkkel brukes for å stramme mutteren til et forhåndsbestemt dreiemoment. Momentnøkkelen er forsynt med måleur for avlesing (det finnes ulike patenter). Metoden er arbeidskrevende og lite brukt i Norge.

2.3 Montering av bolter med ekspansjonshylse

En ekspansjonshylse er en mekanisk forankring som brukes på rundstålbolter, kamstålbolter, rørbolter og andre kombinasjonsbolter. Ekspansjonshylsen gir normalt god forankring ved hardt og middels hardt fjell.

Ekspansjonshylsen består av en konisk mutter og to kileformede, fortannede blad som er forbundet med en stålboyle. Ved strekk i bolten kiles mutteren mellom bladene og presser dem med stor kraft mot hullveggen.

Figur 15 Montering av bolt med ekspansjonshylse



Montering av bolt med ekspansjonshylse (endeforankrede bolter):

1. Hullet bores minst like langt som boltens lengde.
2. Ekspansjonshylsen skrues inn på boltens mutter. Om nødvendig kan bøylene bøyes litt ut slik at bladene berører hullveggen når boltens mutter skyves inn i hullet. For å unngå at boltens mutter føres for langt inn, bør underlagsplate, halv-kule og mutter være montert på boltens mutter før den skyves inn i boltehullet.
3. Boltens forspenning utføres ved å skru til mutteren med en muttertrekker.

Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse

Montering med ekspansjonshylse er en sikker metode, og det er få muligheter for å gjøre feil under monteringen.

Det er viktig å være oppmerksom på at forspente bolter montert med ekspansjonshylse har en tendens til å miste sin forspenning på grunn av rystelser fra sprengning. Etterstramning bør derfor utføres.

Tabell 19 Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse

Feilkilder

Misforhold mellom borhulldiameter og ekspansjonshylsediameter

Manglende etterstramning/etterkontroll bak stuff av forspente bolter

Resultat

Redusert forankringskapasitet, stor tøying

Fare ved rask deformasjon (utfall, utrasing o.l.)

2.4 Montering av bolter med polyesterpatron

Polyesterpatroner blir brukt til forankring av kamstålbolter med diametre fra Ø12 mm til Ø25 mm. Denne forankringstypen har tilsynelatende lang levetid /6/ og godkjennes f.eks. av Statens vegvesen til permanent endeforankring av fjellbolter.

En polyesterpatron består av polyester og herder (katalysator), som ligger i hver sin plaststrømpe. Herdingen settes i gang ved at polyester og herder blandes når bolten roteres gjennom patronen.

Bruk alltid hansker, vernebriller eller visir for å hindre kontakt med hud og øyne.

Montering av bolt med polyesterpatron (endeforankrede bolter):

1. Bordiameteren tilpasses bolten og polyesterpatronen, se tabell 20. Hullet bores 100-150 mm kortere enn bolten og spyles rent med vann. (I svært myke bergarter, f.eks. glimmerskifer, er det viktig å spyle boltehullet ekstra godt for å skylle ut boreslam som fester seg til hullveggen og gir redusert forankring.)

2. Patronen føres inn i hullet ved hjelp av bolten eller en ladekjepp til patronen når enden av borhullet. (I bløtt eller tett oppsprukket fjell kan eventuelt flere patroner brukes.) Patronene bør tempereres til ca. 20 °C før bruk. Er boltene lagret ute vinterstid, bør de varmes litt i enden med f.eks. en propanbrenner.

3. Ved hjelp av en drill roteres og mates bolten gjennom patronen. Rotasjonshastigheten bør være 300-400 o/min. Det er viktig å mate langsomt slik at innmatingen kan avsluttes samtidig med rotasjonen.

Passende innmatingstid/rotasjonstid er ca. 25-30 sekunder for Ø20-Ø25 mm bolter (ca. 7-10 sekunder for Ø12-Ø16 mm bolter).

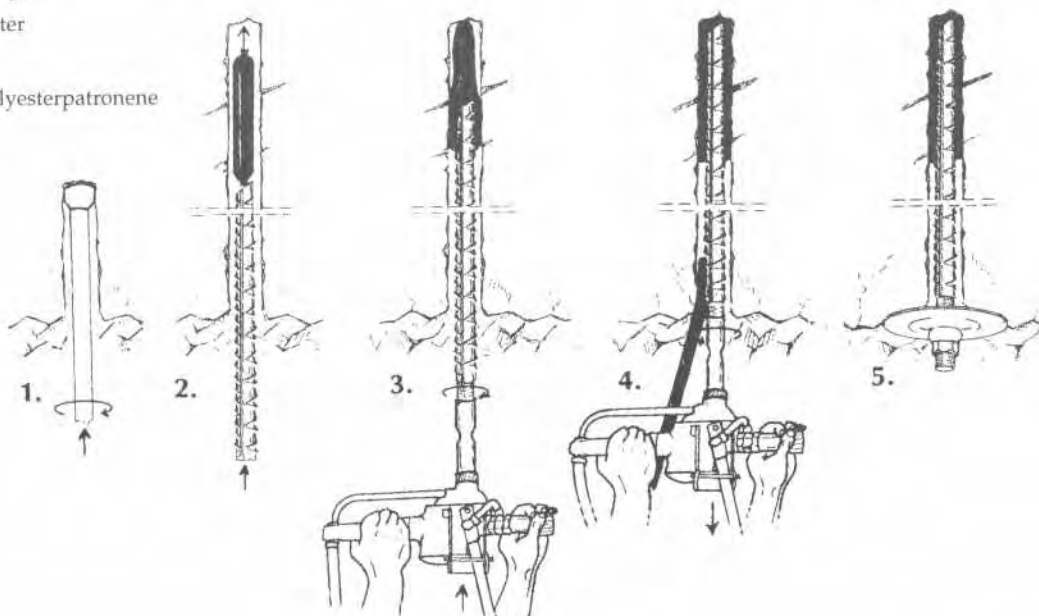
4. Bolten låses med et renskespett, en rørtang eller tilsvarende, og drillen reverseres av bolten.

5. Bolten forsynes med underlagsplate, halvkule og mutter og forspennes, f.eks. med en muttetrekker. Ved normal temperatur ($\geq +5$ °C) kan bolten forspennes til 3-4 tonn etter 5 minutter. For tidlig forspenning kan ødelegge forankringen.

Figur 16 Montering av bolt med polyesterpatron

Kvaliteten på polyesterforankringen er avhengig av:

- A. Forankringslengde
- B. Borhulldiameter
- C. Herdetid
- D. Lagring av polyesterpatronene



A. Forankringslengde

Polyesterpatroner leveres normalt i standardlengder som gir en forankringslengde og forankringskapasitet som er tilstrekkelig for at brudd i boltestålet oppstår før forankringen ryker. Det forutsettes da at det opereres i harde bergarter som granitt eller tilsvarende, der nødvendig forankringslengde vil være ca. 300 mm for Ø20 mm bolter og ca. 500 mm for Ø25 mm.

I bløtere bergarter, f.eks. kalkstein og fyllitt, eller i tett oppsprukket fjell, kan det være behov for å øke forankringslengden ved f.eks. å bruke to patroner.

Er det tvil om forankringslengden er tilstrekkelig, bør forankringen kontrolleres ved strekkforsøk.

Teoretisk forankringslengde ved anbefalte dimensjoner for borhull, polyesterpatron og bolt er gitt i tabell 20.

B. Borhulldiameter

Borhulldiameteren må tilpasses bolt- og patron-dimensjonene for å oppnå en optimal blanding av polyesteren.

Tabell 20 Anbefalte bolte-, patron- og borhulldiameter ved polyesterforankring

Bolt	Polyesterpatron	Borhulldiameter	Forankringslengde ¹⁾
Ø12 mm	Ø14 X 100 mm	Ø16 mm	175 mm
Ø16 mm	Ø19 X 150 mm	Ø21 - Ø23 mm	237 mm
Ø20 mm	Ø23 X 400 mm	Ø25 - Ø29 mm	480 mm
Ø20 mm	Ø28 X 372 mm	Ø29 - Ø32 mm	440 mm
Ø20 mm (med blandefjær e.l.)	Ø38 X 443 mm Ø38 X 570 mm	Ø43 - Ø45 mm Ø43 - Ø50 mm	384 mm 385 mm
Ø25 mm	Ø28 X 372 mm	Ø32 - Ø34 mm	540 mm

¹⁾ Teoretisk forankringslengde basert på største boralternativ.

C. Herdetid

Temperaturen har stor innvirkning på polyesterens herdetid. For å unngå lang herdetid er det viktig at polyesterpatroner tempereres til ca. 20 °C før bruk.

NB! Herdetiden kan variere med polyestertypen og skal angis av leverandøren.

Temperaturen på boltene påvirker også herdetiden. Bolter bør derfor lagres slik at de holder en temperatur på over + 5 °C. Dersom boltene lagres under 0 °C, bør de tempereres i forankringsenden med f.eks. en propanbrenner før montering.

Ved normale temperaturforhold ($\geq + 5$ °C) kan bolter forankret med polyesterpatroner forspennes til 30-40 kN (~ 3-4 tonn) etter 5 minutter.

NB! For tidlig forspenning kan ødelegge forankringen.

D. Lagring av polyesterpatroner

Polyesterpatroner har begrenset lagringstid. Minimum holdbarhet for polyesterpatroner er ca. 12 måneder ved 20 °C. Beste lagringsforhold vil være inne i tunnelen. Ved lagring må temperaturen ikke overstige 30 °C. Siste bruksmåned skal være påstemplet kartongen som polyesterpatronene leveres i.

NB! Det må foretas nødvendige forholdsregler på anlegget for å unngå feillagring.

Ved bruk av stålcontainer som blir stående ute i sola, kan temperaturen raskt komme opp i 40-50 °C.

Feilkilder ved forankring med polyester

I forbindelse med forankring med polyester viser erfaringer at de samme feilkildene går igjen, og at feilprosenten ofte er størst i startfasen av et anlegg. En eller flere av feilkildene vil kunne føre til redusert forankringskapasitet /6/, /10/, /15/.

Den vanligste og alvorligste feilkilden er at det bores for lange boltehull. Se figur 9 for korrekt hulldybde. I tillegg til å ha rutiner ved boring, bør hulldybden kontrolleres med bolten eller en ladekjepp.

Ved for kort forankringslengde må eventuelt boltehullet fylles med polyesterpatroner til tilstrekkelig forankringslengde oppnås. Er det tvil om forankringskapasiteten bør bolten prøvetrekkes.

Det er også viktig å være oppmerksom på at flisete hull kan rive opp polyesterpatronen før den når bunnen av hullet. For å unngå dette kan borhullet spyles spesielt godt og/eller det kan brukes polyesterpatroner med ekstra beskyttelse (plastgitter).

Tabell 21 Feilkilder ved forankring med polyester

Feilkilder	Resultat
For langt borhull	Redusert forankringslengde
For mye rotasjon	Nedfall, separasjon, oppriving. Skjeldannelse i polyestere etter at den har begynt å stivne
For lite rotasjon	Ufullstendig blanding (svak eller ingen herding)
Bolt presses gjennom polyestepatron før rotasjon	Ufullstendig blanding (svak eller ingen herding)
Kald polyesterpatron	Herdingen forlenges og en tidlig forspenning kan redusere forankringsstyrken
Stor borhulldiameter i forhold til bolt/patron	Ufullstendig blanding, redusert forankringslengde
Manglende etterstramming/etterkontroll bak stuff av forspente bolter	Fare ved rask deformasjon (utfall, utrasing o.l.)

2.5 Innstøping av bolter

Innstøpte bolter kan deles inn i to grupper: *fullt innstøpte, ikke-forspente bolter* og *kombinasjonsbolter*.

For å få et godt resultat er det viktig å ha en god blander og ei kraftig regulerbar skrupumpe.

Det brukes i stor grad spesielle boltemørtler til innstøping av bolter. Mørtelens konsistens er avgjørende for resultatet, og det er viktig å tilsette riktig vannmengde slik at konsistensen blir tilnærmet kremaktig.

Bruk alltid regndress, hansker og vernebriller eller visir og ha tilgang på rent vann i korga.

Montering av fullt innstøpt kamstålbolt

(fullt innstøpte bolter):

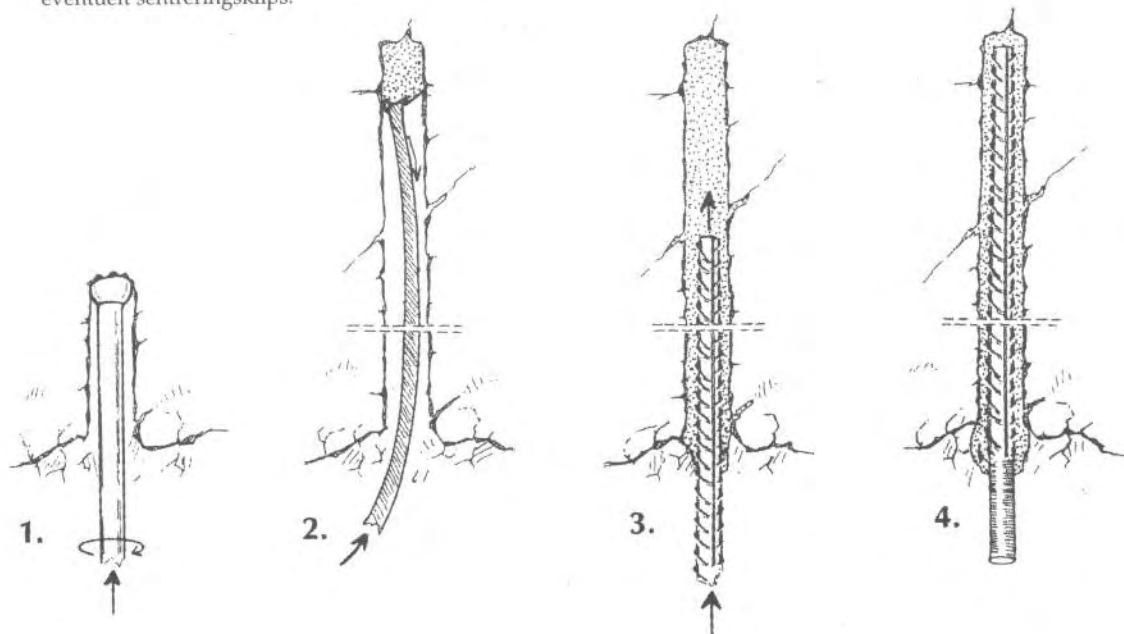
1. Borhullet bores minst like langt som bolten. Diameteren på borhullet bør være minst 10 mm større enn boltediameteren.

2. Mørtelslangen føres helt inn i bunnen av borhullet. Slangen trekkes/presses langsomt ut etter hvert som mørtelen fyller opp borhullet.

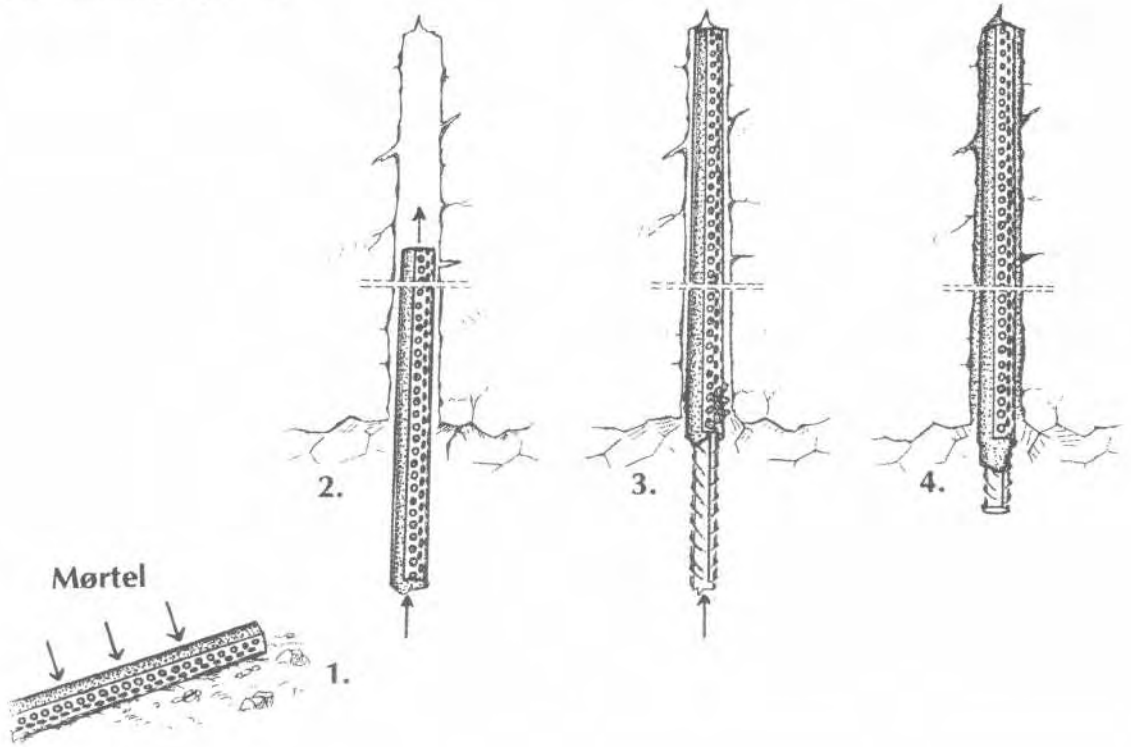
3. Bolten presses langsomt inn i hullet. Mørtelens konsistens bør være slik at bolten blir hengende. Dersom bolten siger noe, kan den låses med en kile. Bolten skal ikke bøyes eller knekkes.

4. Fullt innstøpt kamstålbolt. (Dersom det brukes underlagsplate, halvkule og mutter skal bolten forspennes. Mutteren skal bare strammes inntil etter at mørtelen har herdet.)

Figur 17 Montering av fullt innstøpt kamstålbolt, for sentring anbefales senteringsfjær, eventuelt senteringsklips.



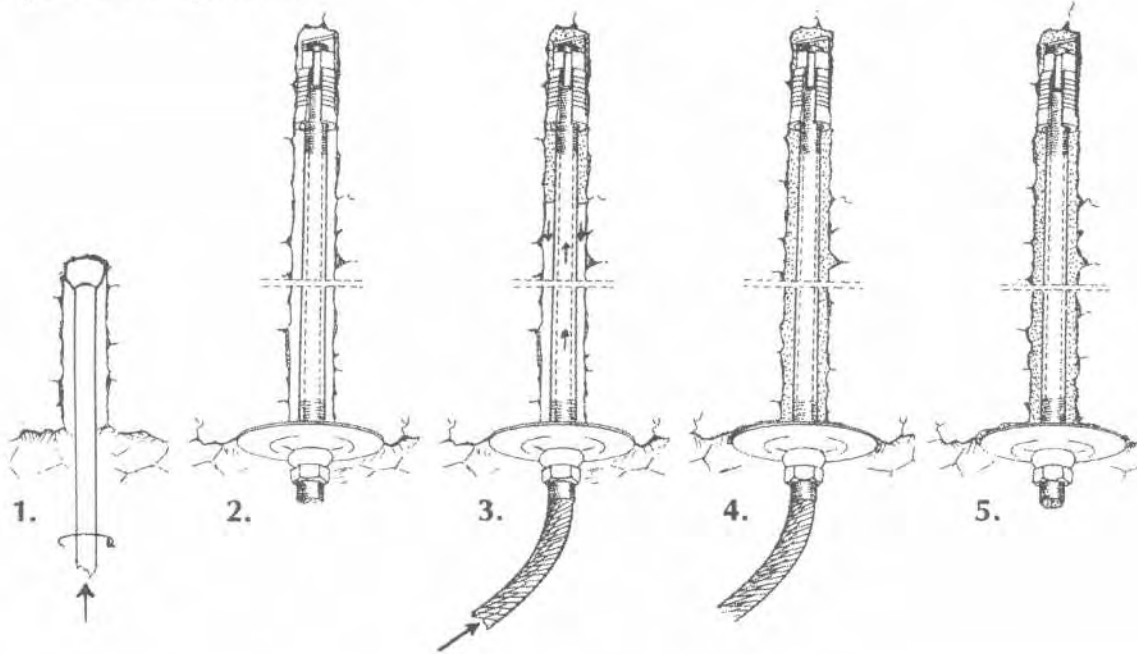
Figur 18 Montering av perfobolt



Montering av perfobolt (fullt innstøpte bolter):

1. Perfometoden er basert på at et perforert rør fylles med mørtel.
2. Det perforerte røret skyves inn til det når enden av borhullet.
3. Kamstålbolten presses eller slås inn gjennom mørtelen.
4. Mørtelen presses ut mot hullveggen ved innføring av bolten og gir full innstøping.

Figur 19 Montering av rørbolt



Montering av rørbolt (kombinasjonsbolter):

1. Hullet bores minst like langt som bolten.
2. Rørbolten monteres i første omgang med ekspansjonshylse og bolten forspennes.
Rørbolten fungerer som en endeforankret bolt til den ettergyses.
3. Ved gysing kobles en mørtelslange på bolteenden,

og mørtelen pumpes opp innvendig i røret og fyller opp borchullet fra bunnen og utover.

4. Konsistensen på mørtelen må være så tykk at den fyller borchullet fra bunnen og utover. Er mørtelen for tynn vil den renne ned på platen og fyller borchullet nedenfra og oppover og en vil få en luftlomme i toppen.

5. Fullt innstøpt rørbolt.

Montering av endeforankret og ettergyst bolt (kombinasjonsbolter):

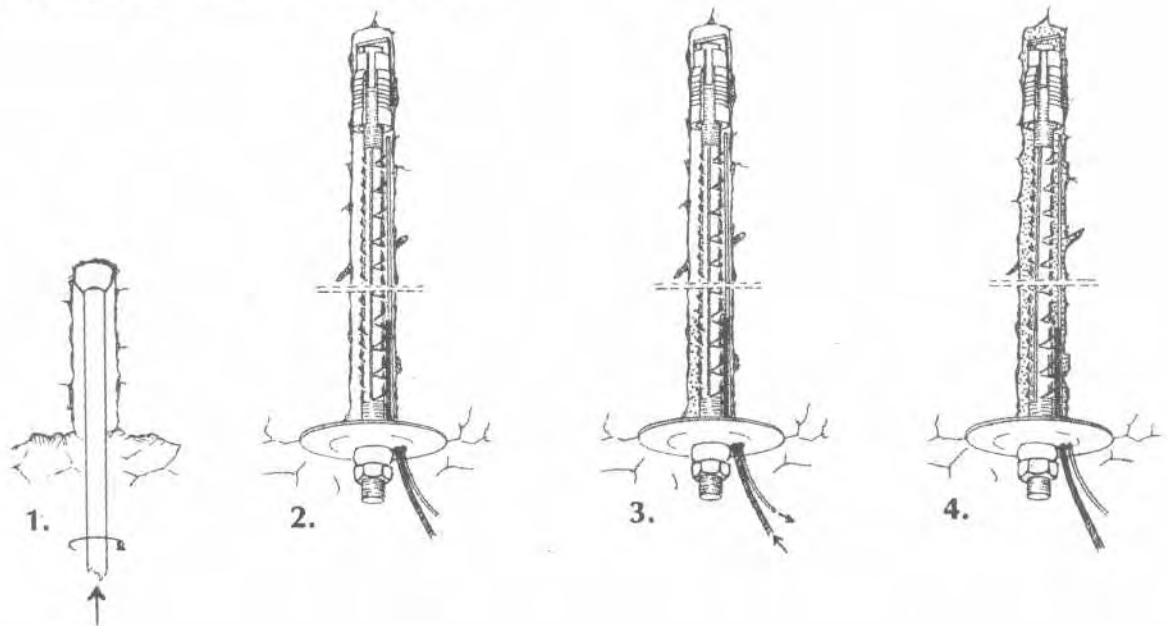
1. Hullet bores minst like langt som boltens forankring med ekspansjonshylse og 100-150 mm kortere enn boltens ettergyst del ved polyesterforankring.

2. Boltens monteres i første omgang med ekspansjonshylse eller polyesterpatron og forspennes. Det brukes underlagsplate med ekstra hull der utluftingsrør og injeksjonsslange monteres. Til låsing av rør og slange, og for å oppnå tetting, brukes ekspanderende skum (byggskum). Boltens fungerer som en endeforankret bolt til den ettergyses.

3. Mørtelen pumpes gjennom injeksjonsslangen og fyller borhullet fra underlagsplaten og innover. Luften evakueres gjennom utluftingsrøret som er montert i hele boltens lengde.

4. Konsistensen på mørtelen må være så tykk at den fyller borhullet fra bunnen og utover. Er mørtelen for tynn vil den renne ned på platen og fylle borhullet nedenfra og oppover og en vil få en luftlomme i toppen.

Figur 20a Montering av endeforankret og ettergyst bolt



Montering av CT-bolter (kombinasjonsbolter):

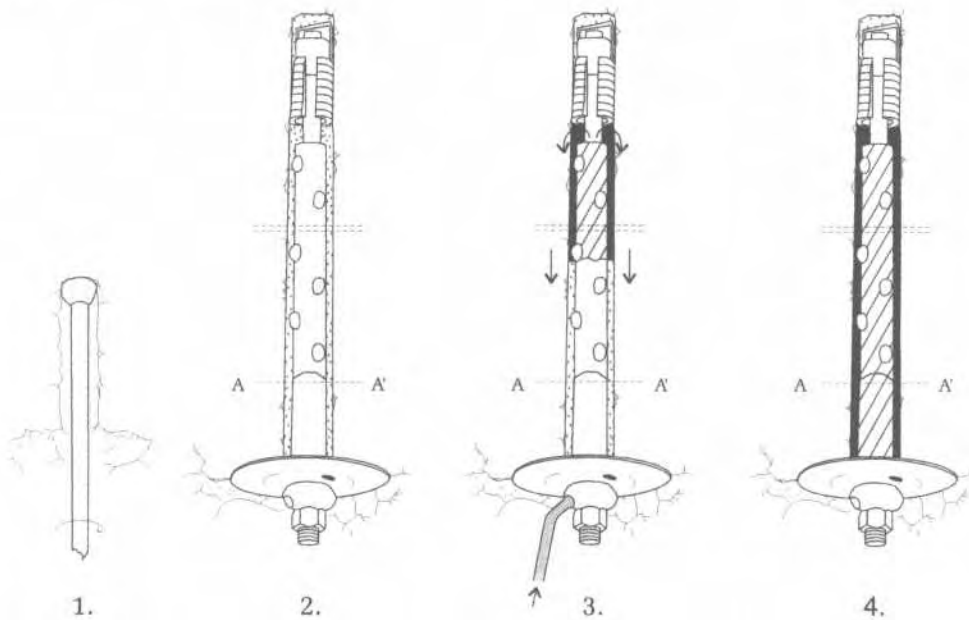
1. Hullet bores minst like langt som bolten.
2. CT-bolten monteres i første omgang med ekspansjonshylse og forspennes til ca. 150 Nm. Den fungerer som en endeforankret bolt til den blir gyst.
3. Gysemunnstykket stikkes inn i hullet i halvkulen og

mørtelen pumpes opp innvendig i polyetylenrøret og fyller opp borhullet fra bunnen og utover til den kommer ut rundt skiven. Vent litt med å ta ut gysemunnstykket til trykket reduseres for unngå sprut.

Konsistensen på mørtelen skal være som en tynn grøt eller tykk suppe.

4. Fullt innstøpt CT-bolt.

Figur 20b Montering av CT-bolt



Feilkilder ved innstøping av bolter

Hovedfeil som gjøres ved innstøping av bolter med sementbasert mørtel er å bruke for tynn mørtel. Mørtelen skal ha en kremaktig konsistens. (Ved riktig

møtelkonsistens skal mørtelen "henge fast på hansken".)

Med for lite vann blir ikke mørtelen pumpbar, og slangen kan gå tett.

Tabell 22 Feilkilder ved innstøping av bolter

Feilkilder	Resultat
For tynn mørtel (for mye vann i mørtelen)	Mørtelen renner ut og gir redusert forankring
Slangen føres ikke inn til bunnen av borhullet (gjelder figur 17)	Manglende forankring innerst i borhullet
Slangen trekkes raskt ut (gjelder fig. 17)	Manglende oppfylling
Dårlig sentrering (se figur 17)	Manglende korrosjonsvern



Bolting fra krankorg

2.6 Forspenning av bolter

Krav til forspenning av fjellbolter varierer normalt fra 30 til 50 kN (~3-5 tonn). I dag brukes for det meste muttertrekkere til forspenning.

Endeforankrede bolter skal forspennes for å hindre nedfall eller utrasing. Ved sprakefjell strammes mutteren inntil, og det gis liten eller ingen forspenning. Underlagsplaten skal imidlertid ikke henge løst, men sitte godt inntil fjelloverflaten.

I tillegg til å ta opp lasten av enkeltblokker som skal sikres, vil forspente bolter gi et bidrag til stabiliserende krefter ved økt friksjon langs sprekkeflater.

Forspenningen vil ta opp eventuell ugunstig deformasjon ("slark") mellom bolten, halvkula og underlagsplaten. Dette gir mulighet for godt samvirke mellom underlagsplaten, bolten og bergmassen.

Kombinasjonsbolter skal normalt forspennes for innstøping.

Dersom fullt innstøpte bolter (se kapittel 1.3) for-

synes med underlagsplate, halvkule og mutter, skal de ikke forspennes. Underlagsplaten skal kun strammes godt inntil fjelloverflaten.

Ved bruk av muttertrekker vil forspenningen alltid variere, fordi friksjonen varierer i gjengene på boltene. Når en muttertrekker brukes til forspenning er det viktig å kalibrere den før bruk. Kalibrering/kontroll av muttertrekkeren kan gjøres ved å plassere en hydraulisk jekk mellom fjelloverflaten og underlagsplaten. Kalibreringen bør gjøres ved det samme lufttrykket som blir brukt til forspenning av boltene.

Den mest nøyaktige metoden for forspenning av bolter er å strekkbelaste bolten med en hydraulisk jekk og så etterstramme mutteren til ønsket forspenning. Denne metoden er forholdsvis tidkrevende og derfor lite brukt.

Det er behov for å komme fram til rasjonelt, men mer nøyaktig utstyr enn muttertrekkere for forspenning av bolter.

3 Bruk av bolter

Hensikten med dette kapittelet er ikke å beskrive sikringsopplegg for alle fjellforhold som eksisterer. Dersom det i hele tatt lar seg gjøre, ville det ha sprengt rammen for boken fullstendig. Hovedtyper av fjellforhold der det er aktuelt å bruke bolter, blir imidlertid beskrevet.

3.1 Sikringspraksis

Norsk sikringspraksis er i stor grad basert på at utførende arbeidslag har ansvar for og utfører sikring under driving av fjellanlegget. Sikring under driving gjøres i samarbeid med den stedlige anleggs- og byggeledelsen.

En ingeniørgeolog eller annen fagkyndig person har normalt ansvar for den permanente sikringen.

Vurderinger som må gjøres i forbindelse med sikring innebærer bl.a. observasjon av fjellforholdene og eventuelt valg av sikringsmidler. I forbindelse med boltesikring vurderes bl.a. valg av boltetyper og -dimensjoner, samt plassering av boltene. Kontraktsmessige forhold vil ofte begrense utvalget av boltetyper.

Dersom det oppstår større stabilitetsproblemer under drivingen, vil det være hensiktsmessig å tilkalle en erfaren ingeniørgeolog eller annen fagkyndig person.

Kontroll av utført sikring har etter hvert blitt en del av flere rutiner som innføres for å sikre kvalitet på ethvert fjellanlegg, se kapittel 5.

De ulike boltetyperne er presentert i kapittel 1. Nedenfor gis en kort beskrivelse av bruken av de vanligste boltene i Norge.

Til øyeblikkelig sikring (på-stuff-sikring) brukes hovedsakelig to typer endeforankrede bolter, enten en hurtigforankring med ekspansjonshylse eller med

polyesterpatron. Boltene kan forspennes og gir da et aktivt trykk mot fjelloverflaten. Boltene brukes som stuff- eller arbeidssikring fordi de gir hurtig virkning og forsinker dermed i liten grad driften. Endeforankrede bolter med forspenning skal presse sammen sprekkene for å øke friksjonen og dermed fastheten og stabiliteten i bergmassene.

Til ettersikring (bak-stuff-sikring) brukes ofte fullt innstøpte, ikke-forspente bolter. (Endeforankrede bolter kan også brukes til ettersikring.) En fullt innstøpt bolt vil fungere som en armering av fjellet. Det vil gi boltene mulighet til å ta opp strekk- og skjærkrefter, men lasten vil bli konsentrert over små områder, f.eks. over en sprekk. En fullt innstøpt bolt uten forspenning blir virksom etter hvert som fjellet deformeres.

Av praktiske hensyn har kombinasjonsbolter etter hvert kommet mer i bruk. En kombinasjonsbolt (f.eks. en rørbolt) er en endeforankret og ettergyst bolt som kan brukes både til midlertidig og permanent sikring.

De ulike boltemetodene som brukes på fjellanlegg, kan grovt deles inn i tre grupper:

- spredt bolting
- systematisk bolting
- forbolting

Det finnes også metoder som ikke direkte kan plasseres under disse gruppene.

Trussbolting (fagverksbolting), f.eks., er en spesiell metode som danner en trykksone ved at det spennes opp stag mellom bolter. Trussbolting er mest brukt i kullgruver /2/.

Spredt bolting

Når hver bolt settes inn for å sikre en antatt ustabil blokk eller blokksamling, uten at boltene settes opp i et spesielt mønster, betegnes det som spredt bolting.

Spredt bolting brukes ofte i grovblokkig til moderat oppsprukket fjell. Det innebærer oftest sikring av en avgrenset, klart definert blokk eller blokksamling.

I prinsippet kan alle boltetyper brukes her. Dersom løse blokker skal sikres, bør det fortrinnsvis brukes bolter som gir rask forankring og forspenning.

Systematisk bolting

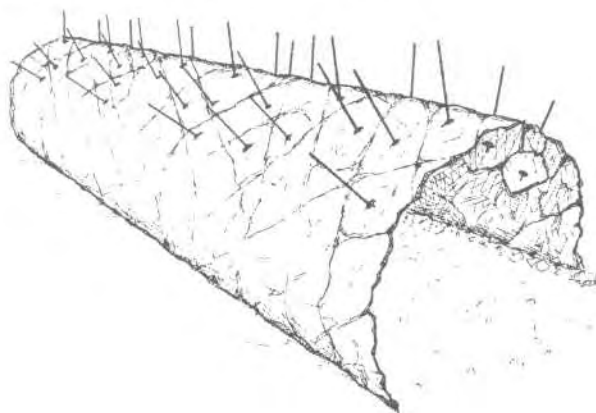
Ved systematisk bolting settes boltene inn i fjellet i bestemte mønstre. Det er vanlig å bruke samme avstand mellom boltene og bolterastene, c/c 1,0-2,5 meter.

Dersom hver bolt plasseres etter nærmere vurdering, uten at boltene danner et bestemt mønster, men bolteavstanden er liten (f.eks. mindre enn 2,5 meter), er det også vanlig å betegne det som systematisk bolting.

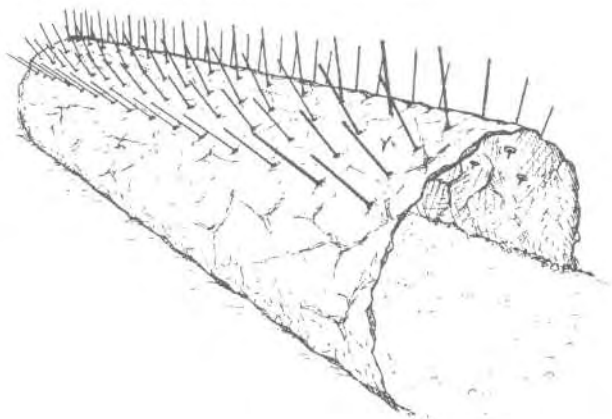
Systematisk bolting brukes vanligvis ved vanskelige fjellforhold og/eller ved tett til moderat oppsprukket fjell.

Systematisk bolting brukes som oftest i kombinasjon med andre sikringsmidler som sprøytebetong eller nett og bånd.

Figur 21 Eksempel på spredt bolting



Figur 22 Eksempel på systematisk bolting



Forbolting

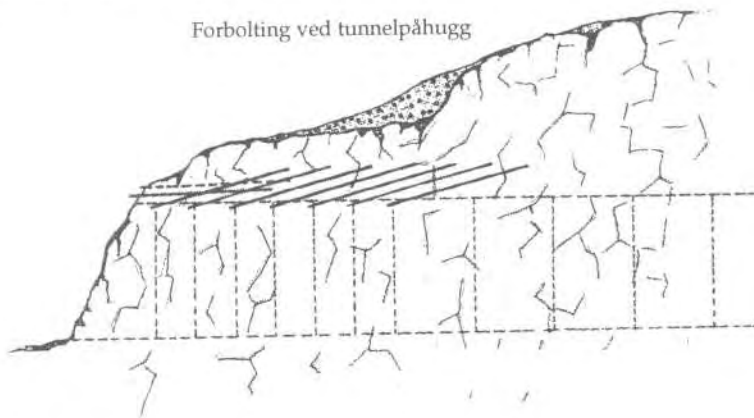
Forbolting (spiling) brukes i spesielt dårlig fjell (svakhetssoner) og ved liten fjelloverdekning. Boltemetoden er også vanlig å bruke ved tunnelpåhugg.

Hensikten med forbolting er å bevare riktig profil etter sprengning og danne en "bru" for de antatt ustabile massene som hviler mot forboltene. Forboltene skal holde profilet inntil annen sikring, f.eks. sprøytebetong og radielle bolter, er etablert.

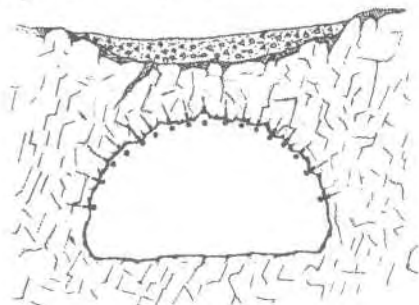
Forboltene settes inn foran stoffen og viftes ut fra tunnelaksen med en vinkel på mellom 10-25°. Det er vanlig å bruke fullt innstøpte kamstålbolter, Ø25 mm eller Ø32 mm, med 6 meters lengde (boltelengde \approx salvelengde + 2-4 meter). Eksempler på bolteavstander er 0,3-0,8 meter.

Boltelengde, -diameter, -retning og -avstand må vurderes ut fra fjellforholdene.

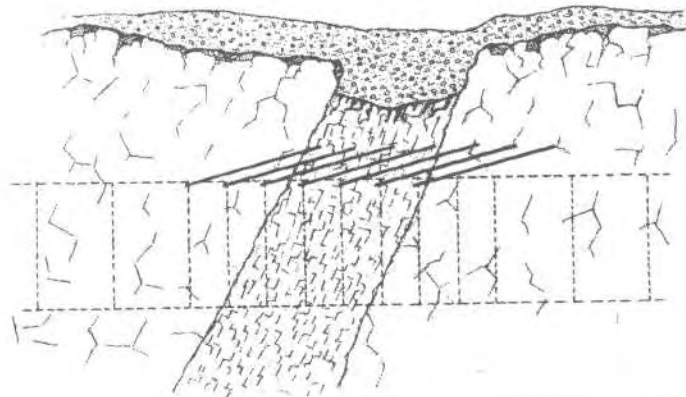
Forbolting ved tunnelpåhugg



Figur 23 Eksempler på forbolting



Forbolting gjennom svakhetszone



3.2 Bolting ved ulike fjellforhold

Det er i prinsippet fire hovedfaktorer som er avgjørende ved et stabilitetsproblem:

- bergtrykket
- materialegenskaper
- geometriske forhold
- vannforhold

Bergtrykket

Spenninger som fjellet til enhver tid står under som resultat av gravitasjon, bevegelser i jordskorpen (tektonikk), størkningsspenninger, frisprenkning av bergrom, osv.

Materialegenskaper

Med materialegenskaper menes bergmassens egenskaper i videste forstand, som bergartens kornstørrelse, kornbinding, trykk- og strekkfasthet, elastisitet, mekanisk anisotropi, osv. Med materialegenskaper menes også sprekkers og andre diskontinuiteters frekvens, ruhet og eventuell sprekketrylling, samt slepper og knusingssoners egenskaper.

Geometriske forhold

Med geometriske forhold menes alle retningsbestemte faktorer som influerer på stabilitet. Retningsbestemte faktorer kan være sprekker, slepper og knusingssoners innbyrdes orientering og deres retning i forhold til tunnelen eller bergrommet, leirsoners skjæringsvinkel med et bergrom, hovedspenningenes orientering (spesielt viktig ved bergtrykkproblemer), osv.

Vannforhold

Med vannforhold menes vann på sprekker, sprekevannstrykk, i noen grad porevannstrykk i fjellet, grunnvannstand, gradienter i vannet på grunn av sprengningsarbeider, uttørking og oppfukning av fjellet, større vanninnbrudd, utspyling av sleppemateriale, osv. Med vannforhold menes også isdannelse.

Den etterfølgende gruppering og behandling av stabilitetsproblemer er sterkt forenklet og langt fra dekkende. Grupperingen er kun ment som veilevende, uten å gå inn på detaljer og variasjoner. I prinsippet er de ulike gruppene variasjoner av de fire nevnte hovedfaktorene.

Fjellforhold der bolter kan brukes, kan deles inn i seks hovedgrupper:

- A. Grovblokkig fjell
- B. Moderat oppsprukket fjell
- C. Tett oppsprukket fjell
- D. Lagdelt og/eller skifrig fjell
- E. Bergtrykkproblemer
- F. Slepper og svakhetssoner

Tabell 23 Hovedgrupper av fjellforhold der bolter brukes til sikring

		Strukturer, fjellforhold	Eksempler på sikringsmetode
A.	Grovblokkig fjell	Midlere sprekkeavstand > 1 m	- spredt bolting
B.	Moderat oppsprukket fjell	Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m	- spredt bolting - systematisk bolting, eventuelt i kombinasjon med andre sikringsmidler
C.	Tett oppsprukket fjell	Midlere sprekkeavstand < 0,3 m	- systematisk bolting i kom- binasjon med sprøytebetong eller nett og bånd
D.	Lagdelt/skifrig fjell	Ett dominerende sprekkesystem	- spredt eller systematisk bolting - bolting og sprøytebetong eller nett og bånd
E.	Bergtrykksproblemer	Høye bergspenninger	- spredt eller systematisk bolting med endeforankrede bolter med store trekantplater, supplert med nett, bånd eller fiberarmert sprøytebetong
F.	Slepper og svakhetssoner	Oppknust fjell med/uten svelleleire	- innstøpte bolter ("låsebolter") - forbolter og radielle bolter i kombinasjon med fiberarmert sprøytebetong - armerte sprøytebetongbuer eller utstøping

Stabilitetsproblemer kan være kompliserte og vil ofte være kombinasjoner av flere av de seks hovedgruppene.

I det etterfølgende knyttes først kommentarer til

vann i forbindelse med bolting, og deretter følger kommentarer til sikring ved de ulike stabilitetsproblemene som er nevnt i tabell 23. Dimensjonering i forbindelse med bolting behandles i kapittel 4.

Vann

Normalt gir vann i fjellet redusert stabilitet i et bergrom.

Det kan ofte være hensiktsmessig å bore et nytt boltehull ved siden av et vannførende hull. Det nye hullet kan være tørt, eller et av hullene vil kunne fungere som dreneringshull.

Ved bolting i hull med rennende vann er sementbasert mørtel ikke egnet som forankringssystem. (Ved stillestående vann i boltehullet kan spesialmørtler brukes.)

Ved mye vann i boltehullene bør polyesterforankrede bolters forankringslengde økes (f.eks. minimum to polyesterpatroner à ca. 40 cm lengde) for å gi tilstrekkelig forankring. Forankringens kvalitet bør testes ved prøvetrekking.

Forankring med ekspansjonshylse vil normalt gi god forankring selv om boltehullet er vannførende.

Friksjonbolter vil normalt gi god forankring i vannførende hull. Endeforankrede bolter kan gi dårlig forankring ved tett oppsprukket fjell, mens mørtelinnstøpte bolter ikke er egnet i vannførende hull. I tett oppsprukket, vannførende fjell kan derfor friksjonbolter ha et fortrinn fremfor disse bolteypene.

Vann er en av flere faktorer som kan bidra til et korrosivt miljø.

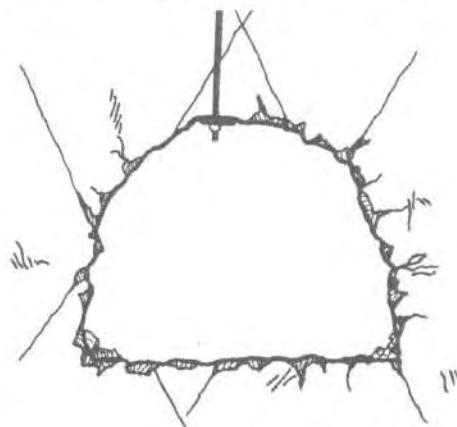
Når vannet fryser til is oppstår det en volumøkning. Frostsprengningen kan bidra til en ustabil tilstand i en skjæring, tunnel eller et bergrom og må vurderes i forbindelse med sikringen.

A. Grovblokkig fjell

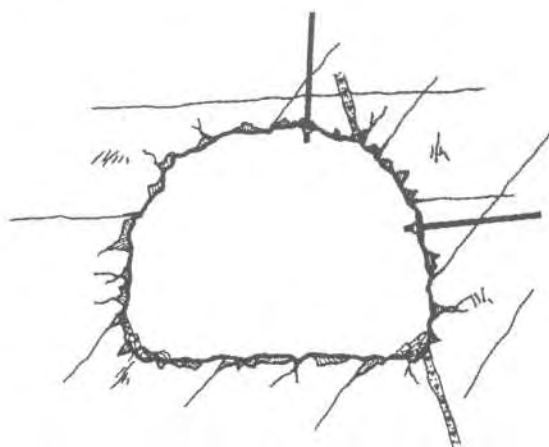
Fjellet er her klassifisert som grovblokkig når sprekkenes tykkelse ikke overstiger 2-3 cm og midlere sprekkeavstand er større enn 1 m.

Bolting i grovblokkig fjell gjøres normalt med spredt bolting. Det vil bl.a. innebære bolting av nøkkelblokker (låsing av nøkkelblokker gir ikke mulighet for utfall ovenfor disse).

Figur 24 Eksempler på bolting i grovblokkig fjell



Bolting av blokk



Bolting av «nøkkelblokker»

B. Moderat oppsprukket fjell

Fjellet klassifiseres som moderat oppsprukket når midlere sprekkeavstand er mellom 0,3-1 m og det finnes minst to sprekkesett.

Bolting i moderat oppsprukket fjell kan gjøres med ulike boltetyper og -metoder. Avhengig av fjellforholdene for øvrig, fjellanleggets bruksområde og krav til sikkerhet kan det brukes både spredt og systematisk bolting, eventuelt i kombinasjon med bånd og nett eller sprøytebetong.

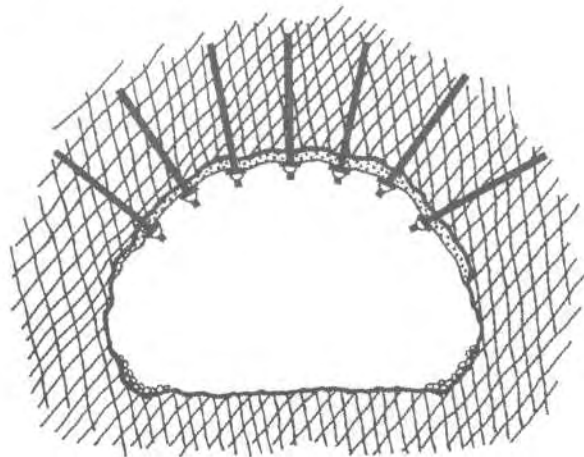
C. Tett oppsprukket fjell

Fjellet klassifiseres som tett oppsprukket dersom midlere sprekkeavstand er mindre enn 0,3 m og det finnes minst to sprekkesett.

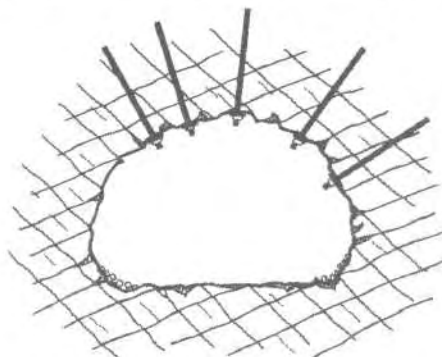
Sprøytebetong i kombinasjon med bolter brukes ofte som tunnelsikring i tett oppsprukket fjell. I fjellskjæringer brukes ofte steinsprangnett i kombinasjon med bolter.

Svake (løse) bergarter kan i mange tilfeller sikres på samme måten som tett oppsprukket fjell, f.eks. med fiberarmert sprøytebetong og systematisk bolting. Tykkelsen på sprøytebetongen og tettheten på boltene må tilpasses de stedlige fjellforholdene.

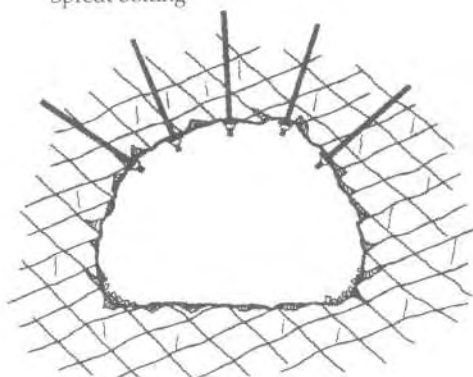
Figur 26 Eksempel på bruk av bolter og sprøytebetong i tett oppsprukket fjell



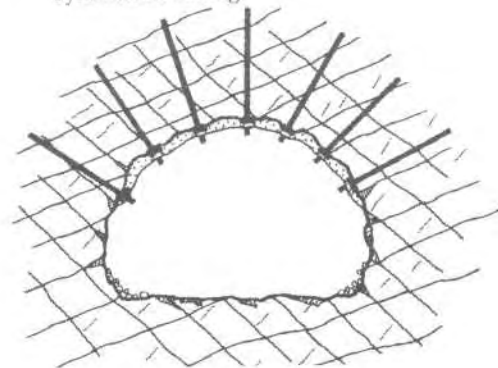
Figur 25 Eksempler på bolting i moderat oppsprukket fjell



Spredt bolting



Systematisk bolting



Systematisk bolting og sprøytebetong

D. Lagdelt/skifrig fjell

Lagdelt/skifrige bergarter med ett dominerende sprekkesystem som kan danne avløsningsflater, klassifiseres i denne gruppen. Fjell med kun ett gjennomsettende sprekkesett kan også gå inn i denne gruppen. Vanlige bergarter som kan klassifiseres som lagdelt/skifrige er f.eks. fyllitter og glimmerskifre.

Spredt bolting eller bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler kan være aktuelt. I enkelte tilfeller kan også bergrommet stå usikret. Den dominerende sprekkeretningen i forhold til bergrommets orientering vil være avgjørende for valg og plassering av sikringsmiddel.

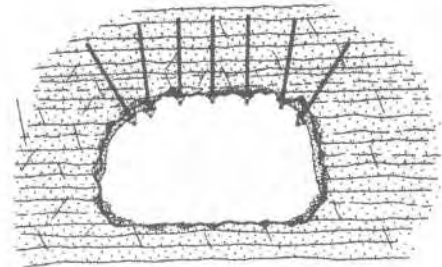
E. Bergtrykksproblemer

Stabilitetsproblemer som er forårsaket av høye og/eller anisotrope spenninger og som kan gi sprakefjell, avskalling eller i verste fall bergslag, klassifiseres i denne gruppen.

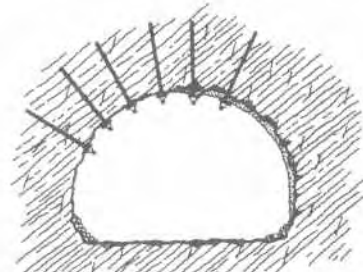
I slike tilfeller brukes endeforankrede bolter med stor bruddforlengelse og store trekantplater. Boltene suppleres ofte med nett og bånd eller fiberarmert sprøytebetong. Bergtrykksproblemer er et overflatefenomen (lagvis oppsprekking/avskalling), og det brukes normalt korte bolter (opptil 2,4 meters lengde). Boltene forspennes ikke, men mutteren strammes forsiktig til. Boltene vil forspennes i takt med at bergmassen deformerer. Underlagsplatene skal ikke være løse, men ligge fast inntil fjelloverflaten. Løs underlagsplate kan føre til at boltene ryker ved rask deformasjon.

Tyteberg ("squeezing rock") er også en type bergtrykksproblem, som kan resultere i store deformasjoner. Dette fenomenet kan forekomme i myke (løse) bergarter som er utsatt for høye spenninger. Tyteberg vil ofte kreve tung sikring, f.eks. armerte sprøytebetongbuer supplert med radielle bolter eller betongutstøping.

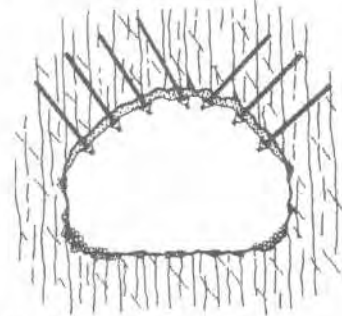
Figur 27 Eksempler på bolting i lagdelt/skifrig fjell



Horizontal oppsprekning

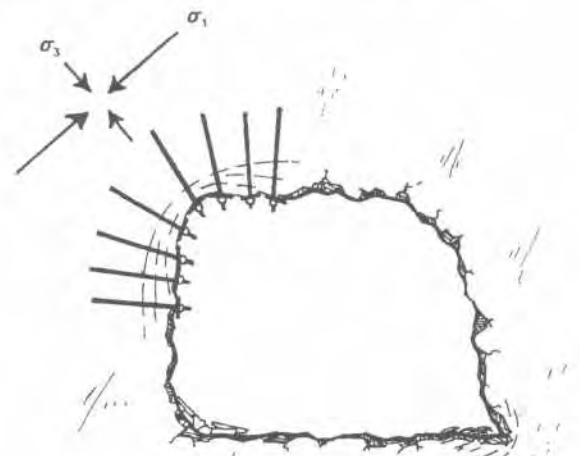


Skråstilt oppsprekning



Vertikal oppsprekning

Figur 28 Eksempel på bolting i sprakefjell



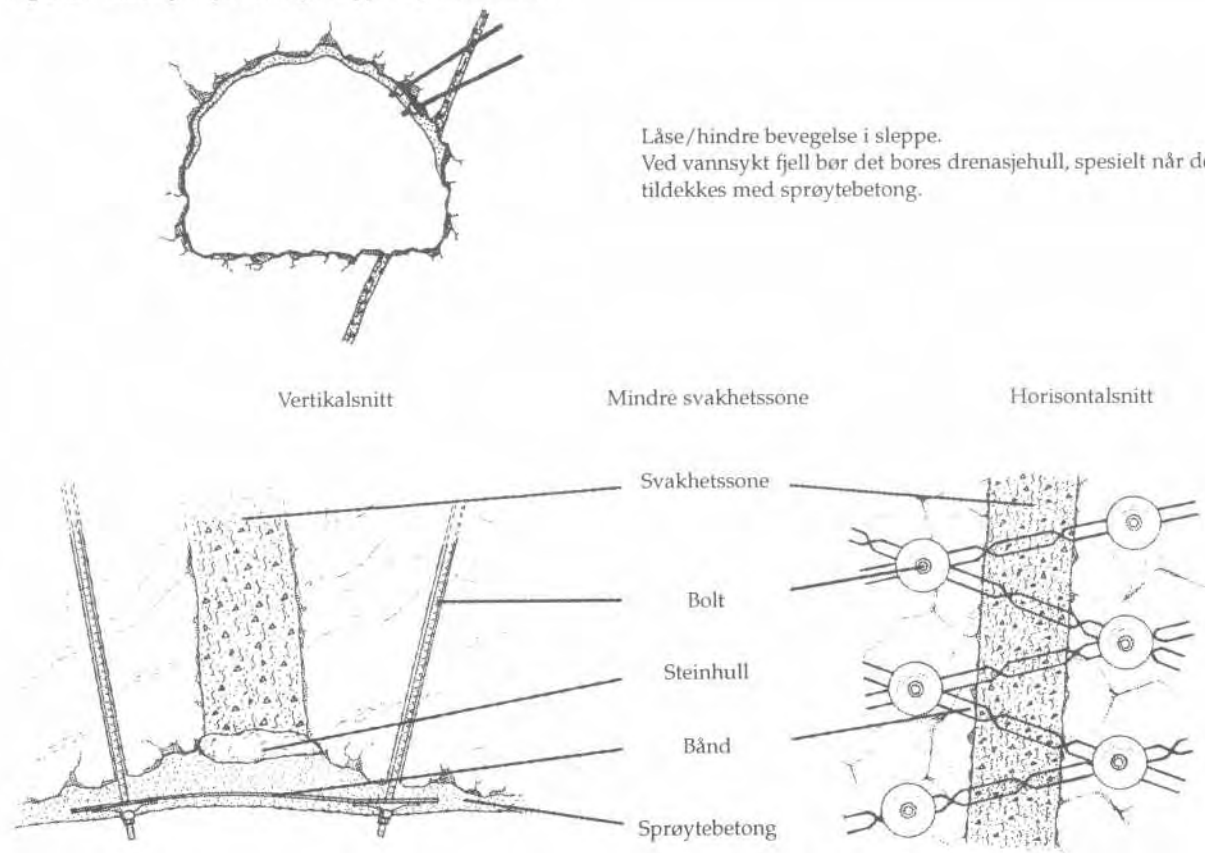
F. Slepper og svakhetssoner

Gjennomsettende slepper med fyllingsmateriale på 2-3 cm eller mer og svakhetssoner av ulik karakter, klassifiseres i denne gruppen.

Sleppene vurderes som tilnærmet friksjonsløse, og sikring med bolter må utføres for å låse sleppene og dermed hindre bevegelse. Det kan gjøres med innstøpte bolter.

Mindre svakhetssoner (< 1,0 m) som inneholder svelleleire kan f.eks. sikres med bolter, bånd, steinhull og fiberarmert sprøytebetong. Ved spesielt aktiv leire eller ved sikring av større knusningssoner må det normalt brukes armerte sprøytebetongbuer eller betongutstøping.

Figur 29 Eksempler på bolting i slepper og svakhetssoner



3.3 Valg av boltetyper ved ulike fjellforhold

Krav til permanent sikkerhet ved ulike fjellanlegg vil variere. Dette skyldes bl.a. ulike bruksområder og dermed også ulike sikringsnivåer for fjellanleggene. Bolter endeforankret med ekspansjonshylse er f.eks. vurdert gode nok som permanente bolter i tilførselstunneler til vannkraftverk /7/, men ikke i vegtunneler /16/.

Ulike fjellforhold der bolter kan komme til anvendelse, er beskrevet i kapittel 3.2.

Valg av boltetype ut fra fjellforholdene deles i tabell 24 inn i tre kategorier: anbefales, kan brukes eller frarådes.

NB! Tabell 24 er hovedsakelig basert på norske erfaringer og på subjektive erfaringer og vurderinger.

Tabell 24 Valg av boltetyper ved ulike fjellforhold

	Bolt endeforankret med ekspansjonshylse ¹⁾	Bolt endeforankret med polyester	Fullt innstøpt bolt (ikke forspent) ^{2),3)}	Kombinasjonsbolt (forspent og innstøpt) ³⁾
Grovblokkig fjell	anbefales	anbefales	anbefales	anbefales
Moderat oppsprukket fjell	anbefales	anbefales	anbefales	anbefales
Tett oppsprukket fjell	frarådes	kan brukes	anbefales	kan brukes
Lagdelt, skifrig fjell	kan brukes	anbefales	anbefales	anbefales
Bergtrykksproblemer	kan brukes	anbefales	frarådes	frarådes
Slepper og svakhetssoner	frarådes	kan brukes	anbefales ⁴⁾	kan brukes ⁴⁾

¹⁾ Krav til ettergysing av bolt til permanent sikring ved enkelte typer fjellanlegg.

²⁾ Sementbasert mørtel har relativt lang herdetid. En må ikke bevege seg under hengen før mørtelen har herdet.

³⁾ Sementbasert mørtel kan vaskes ut ved kontinuerlig rennende vann i boltehullet.

⁴⁾ Kan være for stiv ved svelleleirerike soner.

For å utdype tabell 24 kommenteres i det etterfølgende forhold der en må unngå eller ta forholdsregler ved bruk av de ulike boltetyper. I tillegg knyttes noen kommentarer til friksjonsbolter, som det er liten praktisk erfaring med i Norge.

Bolter endeforankret med ekspansjonshylse anbefales ikke:

- i myke bergmasser der bergartstypen eller sprekkefyllingen kan ha effekt på forankringskapasiteten, eller i sterkt oppsprukket fjell
- i svært harde bergarter uten at forankringskapasiteten kontrolleres
- i nærheten av sprengningsaktivitet der forspenningen kan mistes/løsne, hvis ikke boltene etterstrammes bak stuff
- for å motstå skjærbevegelser i fjellet uten at bolten er ettergyst (Vinkling av bolt i forhold til sprekkeplan og høy forspenning kan midlertidig kompensere for manglende evne til å motstå skjærbevegelse.)

Bolter endeforankret med polyesterpatron anbefales ikke:

- i sterkt oppsprukket fjell hvis ikke forankringslengden økes og forankringskapasiteten kontrolleres
- i borhull med løse eller skarpe partikler hvis ikke polyesterpatronen beskyttes med ekstra netting (alternativt kan man bruke to patroner eller bore nytt hull).
- for å motstå skjærbevegelser i fjellet uten at bolten

er ettergyst. (Vinkling av bolt i forhold til sprekkeplan og høy forspenning kan midlertidig kompensere for manglende evne til å motstå skjærbevegelse)

Fullt innstøpte, ikke-forspente bolter anbefales ikke:

- i borhull med kontinuerlig rennende vann
- til øyeblikkelig sikring (ved bruk av sementbasert mørtel)
- ved store deformasjoner (kan være for stiv)

Kombinasjonsbolter anbefales ikke:

- i borhull med kontinuerlig rennende vann
- ved store deformasjoner (kan være for stiv)

Swellex (friksjonsbolt) anbefales ikke:

- som permanent sikring uten spesiell korrosjonsbeskyttelse
- for å motstå skjærbevegelser i fjellet (kan øke skjærkapasiteten ved "oppblåsing" av bolten med injeksjonsmasse under montering)
- i områder der det kan forventes store deformasjoner

Split Set (friksjonsbolt) anbefales ikke:

- som permanent sikring
- for å motstå skjærbevegelser i fjellet når en stiv bolt er ønskelig, f.eks ved blokkbolting i en fjellskjæring (boltens har stor evne til å ta opp skjærdeformasjon, men lav skjærkapasitet)
- der det er vanskelig å kontrollere hulldiameteren

3.4 Bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler

Bolter alene brukes normalt bare i grovblokkig til moderat oppsprukket fjell, i noen grad i lagdelt, skifrig fjell og ved sprakefjell. Andre sikringsmidler kan være bånd, nett, sprøytebetong, armerte sprøytebetongbuer og betongutstøping.

Valg av sikringsmidler og -mengde baseres hovedsakelig på de stedlige fjellforholdene, og vil ofte være produksjonstilpasset. Valg av sikringmidler og -mengder vil også variere med type fjellanlegg og sikringsnivået for fjellanlegget.

Bolter, bånd og nett

Dimensjonering ved bruk av bolter, bånd og nett gjøres ved at boltene skal ivareta totalstabiliteten, mens nett og bånd skal hindre nedfall av mindre stein mellom boltene.

Avstanden mellom nettboltene bør ikke være for stor. Det er for å unngå dannelse av store lommer i nettet.

I tunneler har det tidligere vært vanlig å bruke flettverksnett med dimensjoner 50 x 50 x 3 mm. Flettverksnett er mindre stift og dermed lettere å håndtere enn et steinsprangnett (sekskantet med f.eks. dimensjonene 100 x 100 x 3 mm eller 80 x 100 x 3 mm). Fordelen med steinsprangnettet er at det ikke rakner selv om nettingen ryker.

Steinsprangnettet brukes ofte i skjæringer i tett til moderat oppsprukket fjell. Nettet kan suppleres med fjellbolter og eventuelt forsterkes med fjellbånd. Steinsprangnettet gir god drenering.

Bolter i kombinasjon med fjellbånd brukes ofte til å "sy" sammen større og mindre fjellblokker.

I tunneler og bergrom er nett i stor grad erstattet av sprøytebetong med fiber.



Bolting av løse blokker med fjellbånd. (Foto: K. B. Pedersen)

Bolter og sprøytebetong

I moderne anleggsdrift har fiberarmert våtsprøyting fått dominerende betydning som sikringsmiddel i tillegg til bolter.

Bruksområdet for sprøytebetong er stadig blitt utvidet. Det er spesielt viktig at god kartlegging av fjellforholdene utføres før det brukes sprøytebetong. Dersom det i ettertid blir behov for ettersikring, vil kartleggingen danne grunnlag for vurderinger av sikringsbehovet.

Sprøytebetongen skal trenge inn i sprekker og jevne ut uregelmessigheter i overflaten. Heft og bøyestrekfasthet hindrer blokker i å falle ut. Sprøytebetong brukes også for å hindre vann i å vaske ut finstoff og småstein, og til plastring av mindre leirsoner. Ved tykke lag og/eller jevn overflate i bergrommet kan sprøytebetongen gi hvelvirkning.

Bruk av sprøytebetong og valg av sprøytebetongtykkelsen avhenger bl.a. av fjellforholdene og sikringsnivået på fjellanlegget.

Bolter og sprøytebetong brukes ofte ved tett til moderat oppsprukket fjell.

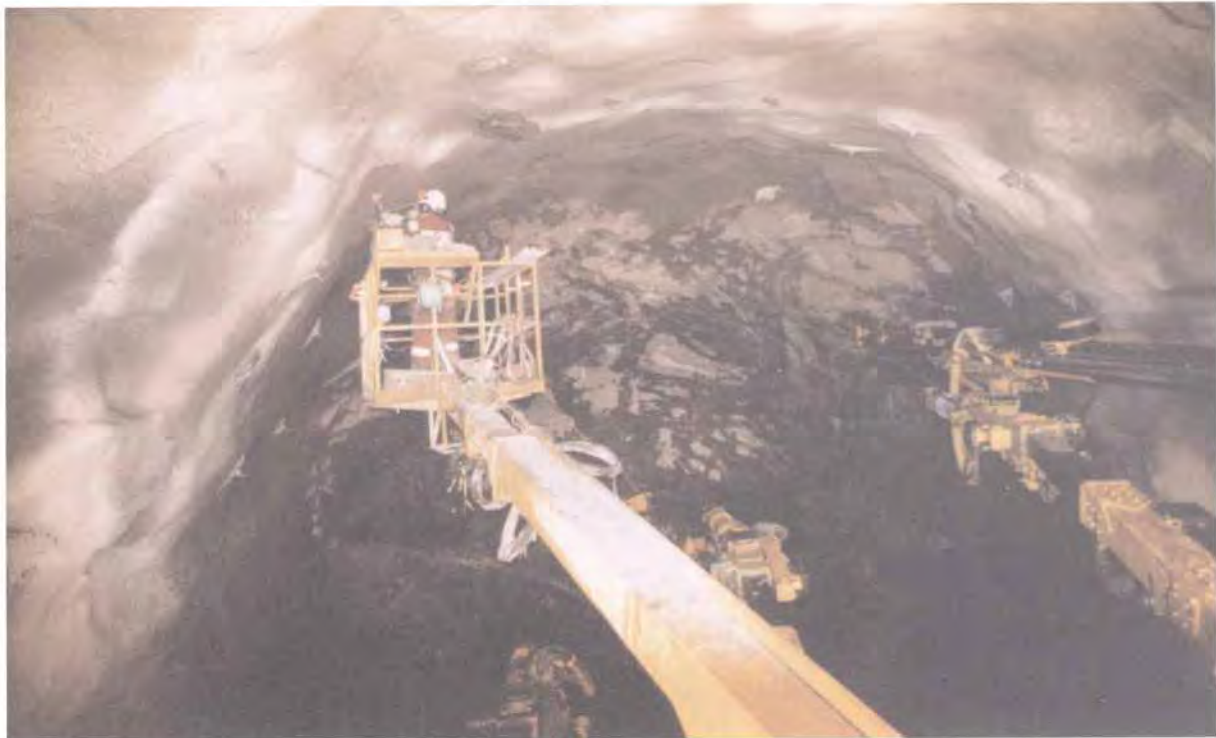
Et sprøytebetonglag på ca. 5-6 cm vil ha kileeffekt, og vil i tillegg gi sammenbinding og heft til bergmassen.

Endeforankrede bolter brukes ofte i kombinasjon med fiberarmert sprøytebetong ved bergtrykksproblemer.

Som generell regel bør sprøyting før bolting unngås. Ved kontroll av den permanente sikringen må sprøytebetonglaget sjekkes for bompartier og eventuell supplerende bolting eller sprøyting vurderes.

I bruddsoner eller ved lite overdekning og ustabil fjell kan det istedenfor utstøping sprøytes armerte buer. Armerte sprøytebetongbuer kan i tillegg til sprøytebetong bestå av kamstål eller fjellbånd. Armerte sprøytebetongbuer suppleres ofte med radielle bolter.

For dimensjonering med sprøytebetong henvises det til litteraturen /17/, /18/, og figur 38.



Boltesikring i kombinasjon med sprøytebetong. (Foto: J. Kvåle)

3.5 Spesielle forhold

I tillegg til fjellforholdene (bergtrykket, materialegenskaper, geometriske forhold, vannforhold) er det en rekke andre forhold som også virker inn på valg av sikringsopplegget:

- tidspunktet for sikring
- hensikten med bergrommet og krav til sikkerhet ved bruk
- midlertidig eller permanent sikring
- praktiske hensyn
- kontraktsmessige forhold
- produksjonsmessige hensyn
- tilgang på utstyr og boltetyper
- kostnader og tilgjengelighet
- nærhet til eksisterende bergrom
- tidligere erfaring
- drivemetode
(mekanisk bryting eller konvensjonell drift)
- rensk
- boring
- sprengning

Flere av forholdene griper inn i hverandre. Betydningen av noen anleggstekniske forhold i forbindelse med bolting kommenteres nedenfor.

Boring og sprengning

Nøyaktig boring er svært viktig for å få en jevn kontur. Unøyaktig boring resulterer ofte i utfall og dannelse av "spir" og "knøler". Det gir normalt økt sikringsomfang.

Utførelse av sprengning vil ha innvirkning på sikringsomfanget. Forsiktig sprengning med redusert ladning i konturhullene og nest ytterste rad er viktige faktorer som hindrer dannelse av sprengningsriss og -sprekker. Forsiktig sprengning kan redusere bolteomfanget /19/.

Rensk

Rensk er en svært viktig del av sikringsarbeidet. God rensk gir økt sikkerhet under boltearbeidet og reduserer muligheten for nedfall og behovet for fysiske sikringsmidler. Ved bergtrykksproblemer (sprakefjell, avskalling) bør rensken utelates og bolter og eventuelt andre sikringmidler brukes direkte.

Håndrensk med spett gir mulighet for å bli "kjent" med fjellet. Spylerenusk avdekker fjellet og vil gjøre det lettere å vurdere sikringsomfanget. Rensk utføres også mekanisk med f.eks. gravemaskin påmontert hydraulisk pigghammer, bergfres etc.

Generelt bør all maskinrensk kontrolleres med manuell spettrensk.

4 Dimensjonering

I dette kapittelet presenteres ulike dimensjoneringsregler. Det er viktig å huske på at det er fjellforholdene som vil være dimensjoneringsgrunnlaget. Dimensjoneringsreglene kan være et hjelpemiddel til å bestemme antall bolter, boltelengder og bolteretninger.

4.1 Dimensjonering av sikring

Sikring under driving vurderes normalt av arbeidslaget, ofte i samarbeid kontrollingeniører/ingeniørgeologer fra den stedlige byggeledelse. Vurderingene innebærer valg av sikringmidler og -mengder. I praksis vil dimensjonering av bolting i forbindelse med arbeidssikring innebære riktig plassering av boltene.

Dimensjonering av permanent sikring bør normalt bestemmes av en erfaren ingeniørgeolog eller annen fagkyndig person.

Beregning av stabilitet kan gjøres ut fra statiske, empiriske eller numeriske modeller. Stereografisk projeksjon av eventuelle diskontinuiteter er også et hjelpemiddel som kan brukes bl.a. til å vurdere stabilitet. I praksis dimensjoneres boltingen i stor grad ut fra erfaring. Dimensjoneringen baserer seg ofte på tommelfingerregler og statiske betraktninger (likevektsbetraktninger).

I henhold til NS 3480 /20/ skal analyser og beregninger som gjelder lastvirkninger utføres ved hjelp av grensetilstandsmetoden. Prinsippet for vurdering av bruddgrensetilstanden er vist i vedlegg 2. I kapittel 4.2 og 4.4 er det satt opp ligninger som gjør bruk av sikkerhetsfaktor fordi dette fortsatt anses for å være mest kjent.

Q-metoden er en empirisk modell for bergklassifisering. Metoden kan brukes til veiledende dimensjonering av sikring /22/. Q-metoden presenteres i kapittel 4.5. For andre bergklassifiseringssystemer og

empiriske dimensjoneringsregler henvises det til litteraturen /3/, /23/.

Numeriske modeller brukes stort sett for å beregne totalstabilitet i høye fjellskråninger og store bergrom, og blir ikke bekrevet nærmere her.

Samvirke mellom fjell og fjellforsterkning kan teoretisk beskrives med fjellets og fjellforsterkningens responskurver, se figur 30. Fjellets responskurve er en idealisert last/deformasjonskurve, og viser hvilket trykk en fjellforsterkning må gi mot fjell-overflaten for å oppnå likevekt og stoppe videre deformasjon. Disse betraktningene vil særlig være knyttet til komplisert strukturelt, spenningspåkjent fjell /3/.

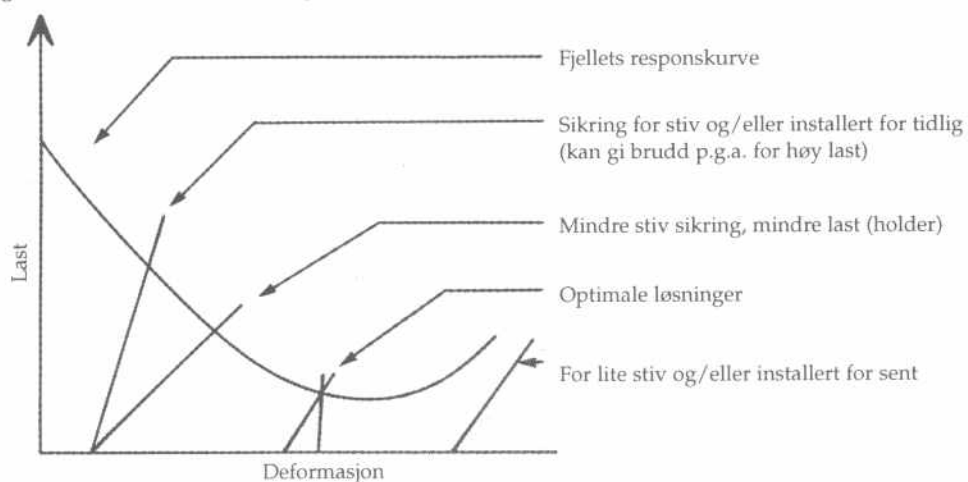
Figur 30 viser at det er viktig å sette inn fjellforsterkning med riktig styrke og stivhet på riktig tidspunkt. I praksis er det vanskelig å bestemme optimalt tidspunkt. Normalt vil fjellet sette seg noe før sikring, fordi utlastning og rensk vil gå forut for sikringen. I noen tilfeller vil det være aktuelt å sikre relativt raskt etter sprengning.

Selv om det ikke er mulig å velge optimale løsninger, bør det huskes på at det som regel er fjellet selv som er det viktigste bærende element.

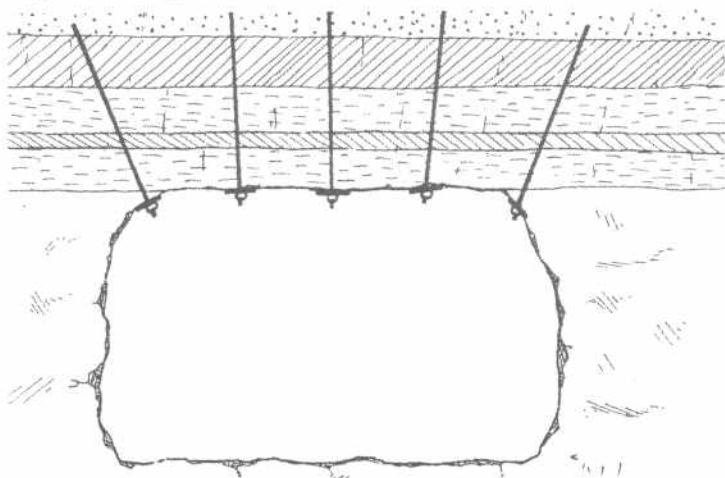
For norske forhold vil store deformasjoner være særlig knyttet til bergtrykksproblemer (sprakefjell, bergslag) og svakhetssoner med innhold av svelleire.

I bergarter med horisontal lagdeling kan det dimensjoneres ut fra bjelke/plate-effekt. Hensikten er å binde sammen flere "uavhengige" lag til et tykkere og dermed sterkere lag, se figur 31. Ved bolting i horisontalt lagdelt fjell er det også aktuelt å stabilisere et ustabil lag i et ovenforliggende stabilt lag. For sikring i horisontalt lagdelte bergarter er det utviklet et omfattende dimensjoneringsgrunnlag, og interesserte henvises til litteraturen /26/.

Figur 30 Teoretisk last/deformasjonskurve for fjell og fjellforsterkning /24/, /25/



Figur 31 Bolting i horisontalt lagdelt fjell



4.2 Spredt bolting

Antall bolter

Dimensjonering av en avgrenset blokk kan gjøres ved å anslå blokkens tyngde og legge boltens bæreevne og en sikkerhetsfaktor til grunn for å bestemme antall bolter som må til for å holde blokka på plass, se ligning (1).

Det er vanlig å se bort fra friksjon langs sprekker når man dimensjonerer sikring av enkeltblokker under jord. Tilstedeværende friksjon vil gi en ekstra sikkerhet i beregningen.

$$(1) N = \frac{GF}{B}$$

N = Antall bolter

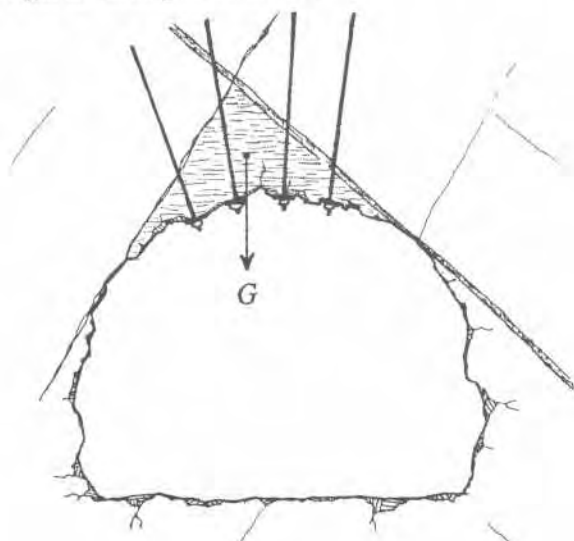
G = Tyngde av løs eller antatt ustabil blokk eller blokkسامling

F = Sikkerhetsfaktor (f.eks. 1,5-3, bl.a. avhengig av anleggets sikringsnivå)

B = Boltens bæreevne (f.eks. boltens flytlast ved strekk)

For flere detaljer, se vedlegg 3.

Figur 32 Bolting av enkeltblokk



Boltelengde

Boltelengden (L) velges slik at bolten minst er forankret 1 meter inn i fast eller stabilt fjell (2):

$$(2) L \geq R + 1,0 \text{ m}$$

L = Boltelengde

R = Boltelengde i ustabil del av blokka

Når det gjelder lengder på opphengsbolter for ulik armatur, vann- og frostsikringskonstruksjoner så anbefales følgende:

Oppheng av vifter og kabelbuer forankres minimum 1m inn i fast fjell.

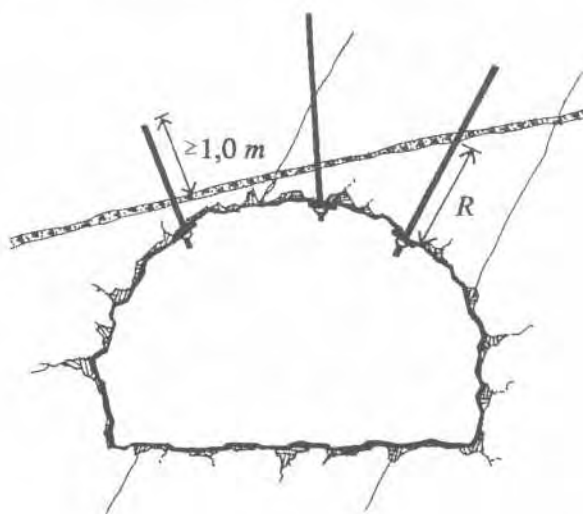
Oppheng av vann- og frostsikringskonstruksjoner forankres minimum 0,5 m inn i fast fjell.

Bolteretning

Bolten bør settes inn slik at dens strekk-kapasitet utnyttes i størst mulig grad.

Retningen på bolter som endeforankres bør være mest mulig vinkelrett på fjelloverflaten. Det er fordi halvkula ikke vil kunne ta opp et vinkelavvik på over 25°. (Den minste vinkelen mellom fjelloverflaten og boltens retning må være ca. 65° med de halvkulene som brukes i dag, se figur 8.)

Figur 33 Boltelengder ved avgrensede løse blokker



4.3 Systematisk bolting

Systematisk, ikke-forspent bolting

Ved frisprenget av et bergrom med tilnærmet sirkulær heng antas det under gitte forutsetninger at et parabolisk formet selvbærende hvelv dannes, hvor det oppsprukne fjellet primært er utsatt for trykkspenninger. En antatt ustabil bergmasse under trykksonen kan stabiliseres med fullt innstøpte, ikke-forspente bolter som rekker minst 1 meter innenfor den nedre grense for trykksonen, se figur 34.

Boltelengder ved systematisk, ikke-forspent bolting

Veiledende boltelengder (L) kan bestemmes ut fra tunnelbredden (D) med følgende formel (etter /2/):

$$(3) L = 1,40 + 0,184D$$

Boltelengdene kan reduseres ut mot vederlagene, se figur 34. Av praktiske grunner er dette bare aktuelt ved relativt store bredder, f.eks. over 10 meter.

Formel (3) er veiledende og generell. Ved bestemmelse av boltelengder må også de stedlige fjellforholdene vurderes.

Bolteavstand ved systematisk, ikke-forspent bolting

I praksis er det vanlig å velge boltemønstre med lik avstand mellom boltene og bolterastene, der bolteavstanden er:

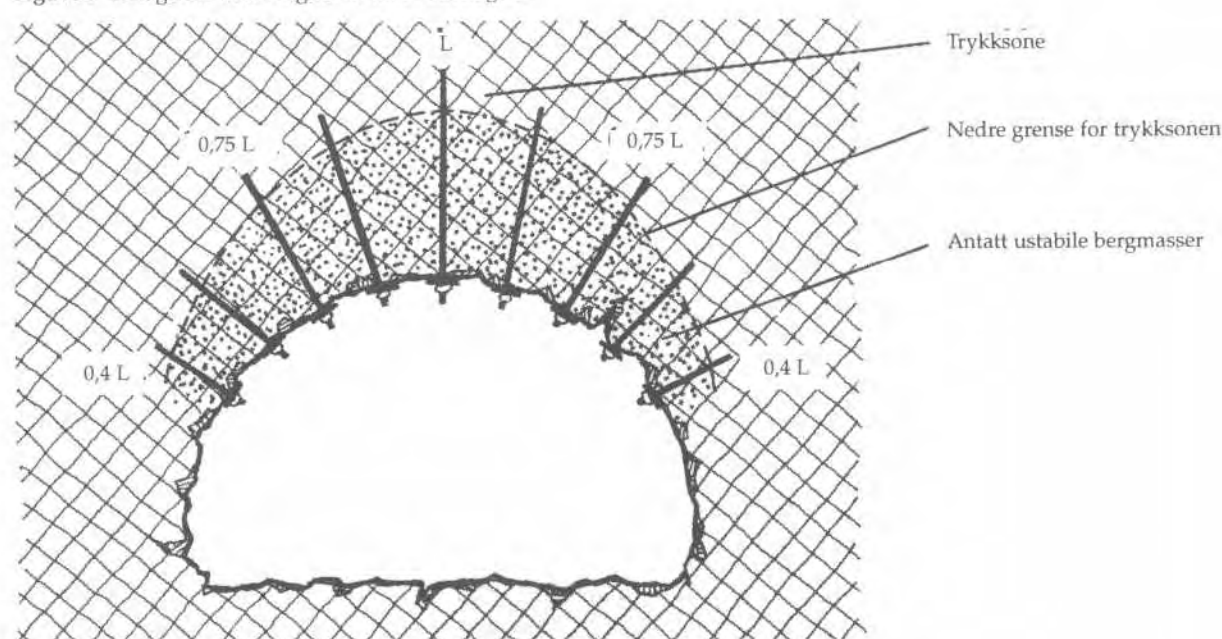
$$c/c = 1,0-2,5 \text{ m}$$

Avhengig av oppsprekningen kan det også velges ulik avstand mellom bolterastene og boltene i hver rast.

Boltemønstre vurderes ut fra fjellforholdene og baseres i stor grad på erfaringer.

En tommelfingerregel sier at ved midlere sprekkeavstand på 0,3-1 meter kan bolteavstanden settes til 3-4 ganger midlere sprekkeavstand uten at sikkerhetsfaktoren senkes vesentlig /2/. Denne tommelfingerregelen forutsetter imidlertid at det ikke er spesielt glatte sprekker, f.eks. med kloritt-, grafitt- eller leirbelegg. I disse tilfellene bør bolteavstanden reduseres. Bolteavstanden og eventuell bruk av andre sikringsmidler i tillegg til bolter vil variere med fjellforholdene og sikringsnivået for fjellanlegget.

Figur 34 Avtagende boltelengder ut mot vederlagene



Systematisk, forspent bolting

Forspente bolter kan brukes til å danne en kompresjonsbue i fjellet, se figur 35. Dette forutsetter at boltene settes opp systematisk med en gitt avstand og forspenning.

For å danne en kompresjonsbue med forspente bolter må følgende forhold være oppfylt (etter /2/, /3/):

- L/a = 2 L = Boltelengde
- a = Bolteavstand
- a ≤ 3e e = Midlere sprekkeavstand
- T = Forspenningskraft
- T ≈ 0,5 - 0,8 K K = Boltens bruddkapasitet

NB! Boltenes mulighet til å påvirke spenningsbildet i fjellet i vesentlig grad vil ofte være meget begrenset. Dannelse av en kompresjonsbue vil være begrenset til skifrig/lagdelt fjell og avspent fjell med liten innspenning /2/.

For å danne en kompresjonsbue bør boltene være like lange. Veiledende boltelengder (L) kan bestemmes ut fra tunnelbredden (D) med følgende formler (etter /2/, /27/):

(3) $L = 1,40 + 0,184D$

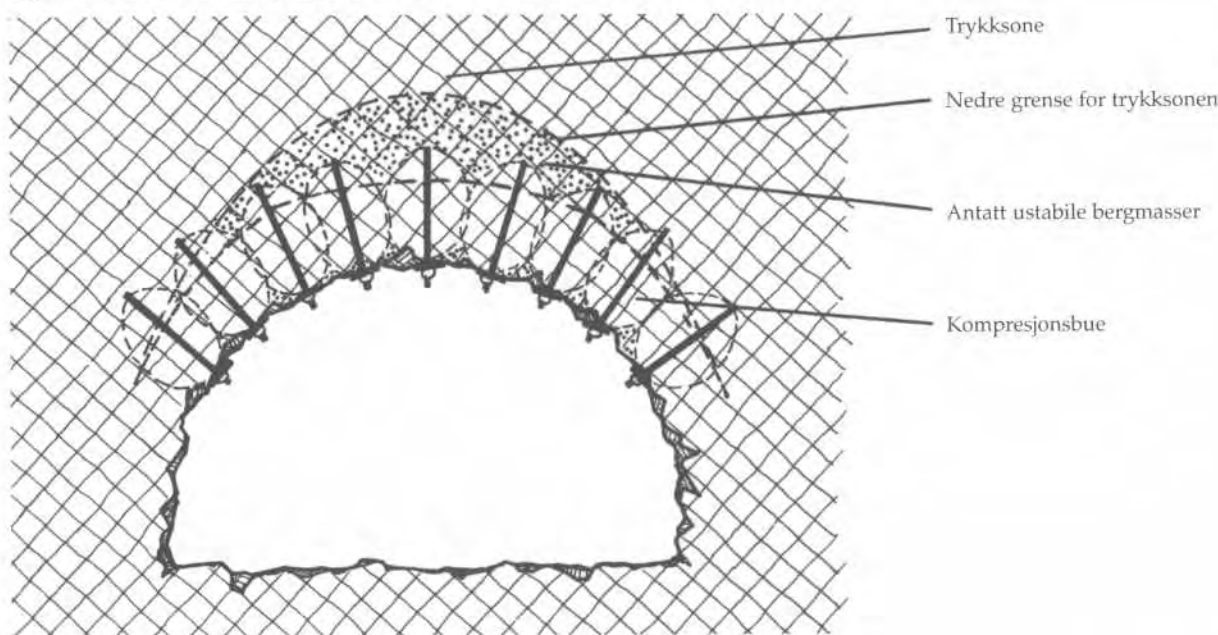
Gir kortere boltelengder enn formel (3). Bør derfor bare unntaksvis brukes.

(4) $L = 1,60 \sqrt{1,0 + 0,012 D^2}$

Formel (3) og (4) er veiledende og generelle og de gir ulike boltelengder. Formlene angir variasjonsområdet for boltelengder som bør brukes for å danne en kompresjonsbue. Boltelengder må også vurderes ut fra de stedlige fjellforholdene.

Vær oppmerksom på at endeforankrede bolter kan gi dårlig forankring i tett oppsprukket fjell.

Figur 35 Dannelse av kompresjonsbue ved bruk av forspente bolter



4.4 Bolting i vegger og skjæringer

Det er i prinsippet ingen stor forskjell på dimensjonering av bolter i heng og vederlag i forhold til i vegger og skjæringer. I høye vegger eller fjellskjæringer og fjellskråninger vil imidlertid sprekkens friksjon (skjærfasthet) ofte ha stor betydning, og sikringsomfanget kan bli svært omfattende og overdimensjonert dersom det ikke tas hensyn til dette. I tillegg bør det tas hensyn til at bolten ofte settes mer eller mindre på skjær for å hindre bevegelse langs et sprekkeplan. Innstøpte bolter er bedre egnet til å ta opp skjærdeformasjon enn endeforankrede bolter.

Sikring av vegger og fjellskjæringer med bolter vil

ofte innebære å låse skjærbevegelser langs sprekkeplan ved å sikre antatt ustabil blokk til innenforliggende stabilt fjell.

Sikring av antatt ustabil blokk som kan gli på et sprekkeplan, kan betraktes statisk. Antall bolter som skal til for å stabilisere blokken kan uttrykkes med ligning (5).

Vedlegg 4 viser flere detaljer ved beregning av antall bolter i vegger og skjæringer.

I forbindelse med større sikringsarbeider og bruk av stag, kan forspenningen i stagene utnyttes til å gi økt friksjon på sprekkeplanene. Ut fra friksjonsteori og empiriske undersøkelser er det utviklet formler. Interesserte henvises til litteraturen /28/, /30/.



Boltesikring fra krankorg i fjellskjæring. (Foto K. B. Pedersen)

$$5) N = \frac{G(F \sin \beta - \cos \beta \tan \phi) + U \tan \phi - cA}{B(\sin \alpha \tan \phi + F \cos \alpha)}$$

N = Antall bolter

G = Tyngde av antatt ustabil blokk eller blokksamling

F = Sikkerhetsfaktor

(f.eks. 1,5-2, avhenger bl.a. av anleggets sikringsnivå)

B = Boltens bæreevne

(f.eks. boltens flytlast ved strekk)

ϕ = Sprekkens/sleppas friksjonsvinkel

α = Vinkel mellom bolten og sprekkeplanet

(anbefalt 30-50°)

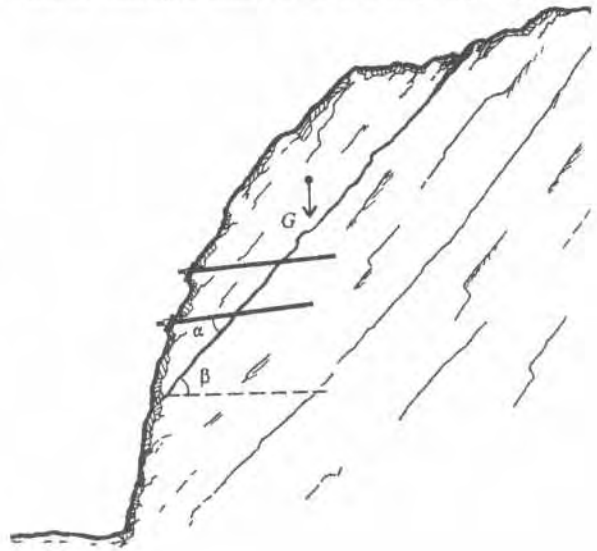
β = Sprekkeplanets fallvinkel

c = Sprekkens/sleppas kohesjon

A = Areal av sprekkeplanets utglidningsflate

U = Sprekkevannstrykk

Figur 36 Sikring av antatt ustabil blokk i fjellskjæring



Bolteretning ved bolting i vegger og skjæringer

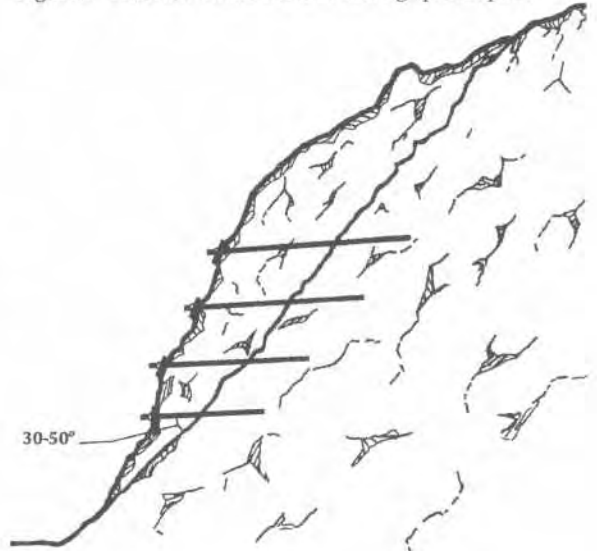
Bolter bør settes inn slik at strekk-kapasiteten utnyttes.

Anbefalt vinkel mellom bolt og potensielt utglidningsplan er 30-50°, etter /31/, /32/. En kamstålbolts lastkapasitet kan da antas og være lik som for rent strekk.

Det er knyttet en del usikkerhet til boltens lastkapasitet når den plasseres på rent skjær i fjellet (90° mellom bolt og potensielt utglidningsplan) /31/, /32/, /33/. Dette vil bl.a. være avhengig av sprekkeflatens karakter og dermed bruddforløpet, samt bolte-type. Fra konservative betraktninger kan det antas en tilnærmet halvering av kamstålboltens lastkapasitet dersom den settes på rent skjær.

Dersom det benyttes bolter som endeforankres bør boltene stå mest mulig vinkelrett på felloverflaten. Dette er viktig for bolter som endeforankres fordi halvkula ikke vil kunne ta opp et vinkelavvik på over 25°, se figur 8.

Figur 37 Anbefalt vinkel mellom bolt og sprekkeplan



5.5 Q-metoden og bolting

Det er utviklet flere klassifikasjonssystemer for å bestemme stabilitet i bergmassen omkring et bergrom. Q-metoden er utviklet i Norge /22/ og er internasjonalt det mest brukte bergklassifiseringssystemet. Metoden er basert på erfaringsdata fra tidligere underjordsanlegg.

Q-verdien er en tallangivelse av de stabilitetsforhold som kan ventes i bergmassen ved utsprenkning av et bergrom. Q-verdien bestemmes på grunnlag av ingeniørgeologisk kartlegging i et bergrom eller undersøkelser av kjerneprøver. Verdiene til inngangsparametrene er gitt i vedlegg 5 (etter /34/, /35/). Q-verdien beregnes ut fra formel (6).

Forholdet mellom bergmassekvalitet, Q-verdi og sikring er gitt i figur 38.

I forbindelse med permanent sikring kan figur 38 brukes til veiledende dimensjonering og til etterkontroll av utført sikringsomfang. Dette forutsetter at det kartlegges med Q-metoden før tildekkende sikring, f.eks. sprøytebetong, er utført.

Figur 38 må ikke brukes ukritisk ved vurdering av sikring. Det bør gjøres tilleggsvurderinger av geometriske forhold som har betydning for stabilitet, f.eks. sprekkeretninger. Vurderinger med hensyn på plassering av boltene, f.eks. ved spredt bolting, må også gjøres. I noen tilfeller vil det være nødvendig å avvike fra figur 38 med hensyn på når sikring ikke er nødvendig (usikret område) og ved valg av bolteavstander og -lengder.

Inngangsparametrene i Q-metoden er viktig for stabilitet, og kartlegging etter metoden vil i alle tilfeller gi en god dokumentasjon av fjellforholdene.

Tabell 25 Q-verdien

$$6) Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

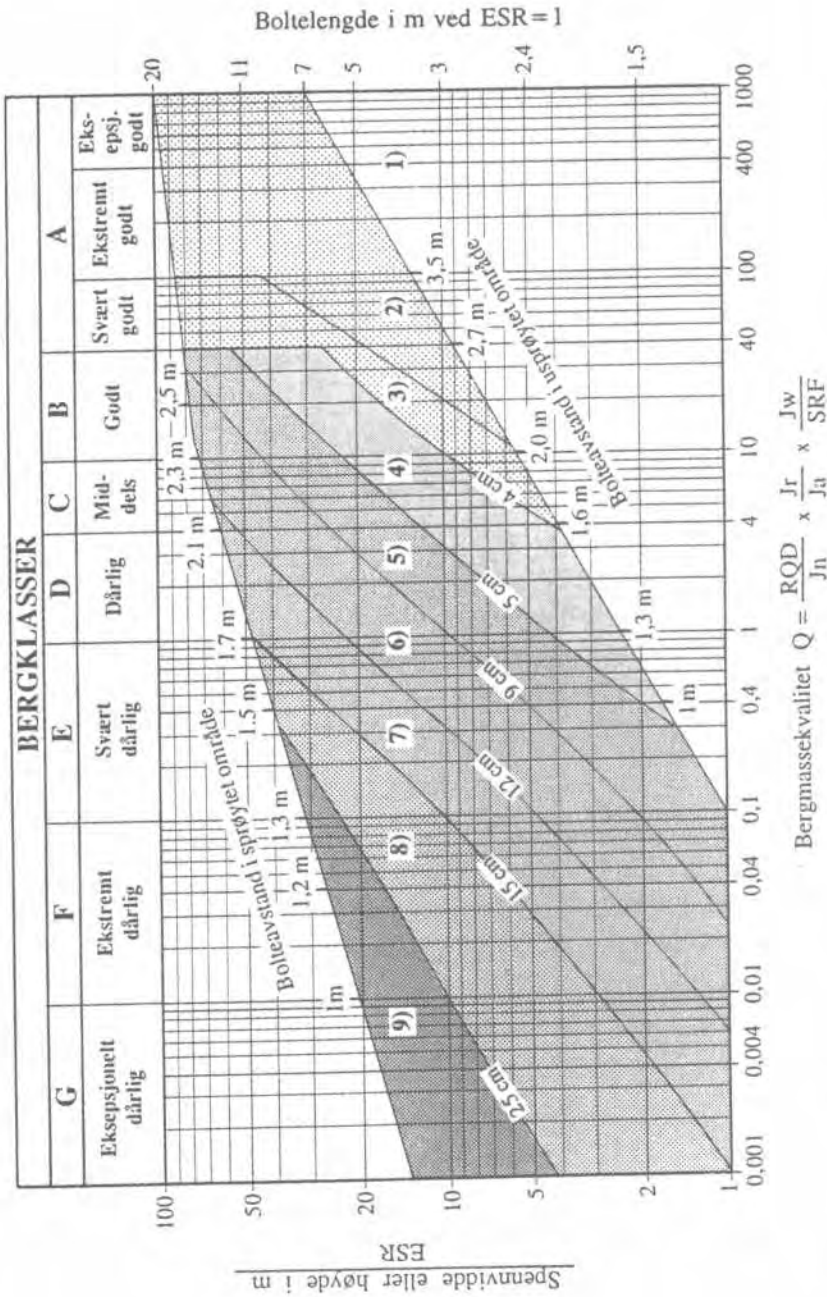
De seks parametrene som inngår i formelen er:

RQD = oppsprekkingstall
 J_n = sprekkesett-tall
 J_r = sprekkenes ruhetstall
 J_a = sprekke materialets styrketall
 J_w = sprekkevannfaktor
 SRF = bergspenningsfaktor

Satt sammen gir parametrene tallverdier for tre ulike egenskaper:

1. Blokkstørrelse - RQD/J_n
2. Skjærfasthet - J_r/J_a
3. Aktiv spenning - J_w/SRF

Figur 38 Forholdet mellom bergmassekvalitet, Q-verdi og sikring /35/.



SIKRINGSKATEGORIER

- 1) Usikkert
- 2) Spredt bolting, sB
- 3) Systematisk bolting, B
- 4) Systematisk bolting, (og uarmert sprøytebetong, 4-10 cm), B+(s)
- 5) Fiberarmert sprøytebetong og bolting, 5-9 cm, Sfr+B
- 6) Fiberarmert sprøytebetong og bolting, 9-12 cm, Sfr+B
- 7) Fiberarmert sprøytebetong og bolting, 12-15 cm, Sfr+B
- 8) Fiberarmert sprøytebetong > 15 cm, armerte ribber av sprøytebetong og bolting, eller utsjøpning, Sfr, RRS+B eller CCA
- 9) Betongutsjøpning, CCA

5 Kvalitetssikring

Kvalitetssikring er alle de planlagte og systematiske tiltak som er nødvendig for å få tilstrekkelig tiltro til at et produkt eller en tjeneste vil tilfredsstille angitte krav til kvalitet /36/.

Innen en organisasjon er kvalitetssikring et verktøy for ledelsen. I kontraktssituasjoner bidrar kvalitetssikringen også til å skape tillit til leverandøren /37/.

Kvalitet på produkter og tjenester må være en hovedsak for enhver bedrift eller organisasjon.

5.1 Kvalitetsplan

En kvalitetsplan er et dokument som beskriver den særegne praksis for å oppnå kvalitet, ressursene og rekkefølgen av aktiviteter som gjelder for et bestemt produkt, en tjeneste, en kontrakt eller et prosjekt /36/.

En kvalitetsplan som omfatter bolting bør inneholde:

- A. Kvalitetsmål
- B. Fordeling av ansvar og myndighet
- C. Prosedyrer, metoder og arbeidsinstrukser
- D. Prøve-, kontroll- og inspeksjonsprogrammer
- E. Kvalitet ved anskaffelser
- F. Personellets kvalifikasjoner
- G. System for endringer og modifikasjoner
- H. Avviksbehandling og korrigerende tiltak

A. Oversikt over de kvalitetsmål som skal nås

Dette kan være kvalitetskrav til fjellbolting gitt i en anbudsbeskrivelse, standard eller normaler. Kvalitetskrav til dimensjonering av sikring med fjellbolter.

B. Fordeling av ansvar og myndighet i alle faser av prosjektet

Ansvar, myndighet og samarbeidsforhold skal fastlegges for alt personell som leder, utfører og verifiserer arbeid som innvirker på kvalitet.

C. Prosedyrer, metoder og arbeidsinstrukser som skal anvendes

Prosedyrene bør inneholde formål og instruksjoner for utførelse av de forskjellige aktiviteter som har betydning for kvalitet. Prosedyrene bør være skriftlige. De bør i tillegg anviske metoder som skal brukes og krav som skal tilfredsstilles.

Det bør også beskrives hva slags maskiner og utstyr som bør brukes.

D. Hensiktsmessige prøve-, kontroll- og inspeksjonsprogrammer

- egenkontroll under utførelse
- utfylling av kontrollskjema
- visuell kontroll
- prøvetrekking
- boltometerundersøkelse
- utboring

E. Kvalitet ved anskaffelser

Ved anskaffelse av bolter og annet nødvendig materiell bør det etableres en klar forståelse med leverandøren med hensyn til den kvalitetssikring som han er ansvarlig for.

Innkjøpsdokumenter skal inneholde opplysninger som klart beskriver det bestilte produkt.

Det skal medsendes prosedyrer for verifikasjon og lagring av mottatt materiell.

F. Personellets kvalifikasjoner

Behovet for å kreve formell kvalifisering av personell som utfører spesielle operasjoner, bør vurderes, og kvalifisering gjennomføres der det er nødvendig.

Personalets motivasjon bygger på forståelse av de oppgaver de er forventet å utføre, og hvordan disse oppgavene innvirker på de samlede aktiviteter. Ansatte bør gjøres oppmerksomme på fordelene ved å utføre oppgaven riktig på alle nivåer, og følgen av dårlig utførelse for andre ansatte, driftskostnader og bedriftens økonomi.

G. Revisjonsplan

Kvalitetsplanen bør regelmessig være gjenstand for revisjoner og vurderinger. Revisjon bør gjennomføres for å avgjøre om de forskjellige elementene i kvalitetsplanen virker for å nå fastsatte mål.

H. Avviksbehandling og korrigerende tiltak

Avviksbehandling og korrigerende tiltak bør defineres og avtales før de iverksettes.

5.2 Avviksbehandling og korrigerende tiltak

Avviksbehandling

Avvik er mangel på oppfyllelse av spesifiserte krav /36/.

Det skal etableres prosedyrer som omfatter identifikasjon og atskillelse (merking) av bolter med avvik. Informasjon om avvik gis til de berørte parter. Det samme gjelder for bolting som ikke følger gjeldende plan med hensyn til type, antall og plassering.

Så snart det oppstår tegn på avvik fra fastsatt kvalitet, skal:

- enheter eller varepartiet som mistenkes for avvik, omgående merkes og hendelsen(e) registreres
- passende tiltak iverksettes for å hindre gjentakelser av avvik

Bolter med avvik bør vurderes av utpekte personer. Disse skal bestemme om boltene kan brukes som de er, aksepteres dersom de blir supplert med flere bolter eventuelt annen type sikring, eller om de skal avvises. Personene som utfører gjennomgåelsen må være kompetente til å vurdere følgene av avviket.

Tiltak bør iverksettes for å hindre gjentakelse av avvik.

Korrigerende tiltak

Gjennomføring av korrigerende tiltak begynner med at det avdekkes et kvalitetsrelatert problem. Det iverksettes deretter tiltak for å eliminere eller redusere faren for gjentakelse av problemet.

Ansvar og myndighet for å sette i verk korrigerende tiltak skal fastsettes som en del av kvalitets-systemet.

Forholdet mellom årsak og virkning bør fastslås før igangsettelse av forebyggende tiltak.

For å hindre at et avvik gjentar seg, kan det være nødvendig å gjøre endringer i produksjonen.

5.3 Opplæring - "oppfrisking"

Behovet for opplæring av personell varierer alt etter erfaringsbakgrunn og hvor kompleks en jobb er.

Et opplærings-/oppfriskingskurs i startfasen til et anlegg er lite ressurskrevende, men effektivt opplegg. I regi av anleggsledelsen og leverandøren av aktuelle sikringsmidler kan et virkningsfullt kurs holdes i løpet av 2-4 timer. Kurset bør bestå av en teoretisk og en praktisk del.

Den teoretiske delen bør inneholde:

- virkemåte
- materialegenskaper
- monteringsprosedyre (f.eks. presentert som en sjekkliste over aktuelle fallgruver)

Den praktiske delen av kurset bør være en demonstrasjon av montering. Ved å sette inn bolter i gjennomsiktige plastrør vises boltens virkemåte, samtidig kan monteringsfeil provoseres frem. Konsekvensene vil da åpenbare seg for alle.

Det er viktig at den stedlige anleggsledelsen deltar aktivt i et slikt opplegg. Det understreker både overfor egne medarbeidere og byggherren at kvalitetssikring tas alvorlig og blir prioritert.

Kurset bør inngå i utførende entreprenørers kvalitetsplan. Et slikt kurs bør imidlertid ikke være et krav fra byggherren. Et krav vil vanskeliggjøre spesialtilpasning. Før en kjenner bemanningen på anlegget, vil heller ikke opplæringsbehovet være klart. Samtidig vil aldri et pålegg fra byggherren ha samme motiverende virkning eller understreke prioritet, på samme måte som et initiativ fra utførende entreprenør.



Forankring av større fjellblokk. (Foto: K. B. Pedersen)

5.4 Kontrollmetoder

Visuell kontroll under utførelsen

Monteringsprosedyren for den enkelte bolttypen må følges. Se monteringsbeskrivelse i kapittel 2 og/eller leverandør-/produktbeskrivelsen.

Montering i plastrør med samme dimensjoner som borhullet kan gjøres for å kontrollere mørtelens konsistens. For tynn mørtel vil raskt avsløres ved at mørtelen renner ut av plastrøret. Stuffarbeideren vil dermed selv se behovet for å redusere vanntilsetningen. Dersom mørtelslangen ikke føres til bunnen av hullet, eller den dras raskt ut, vil dette vises ved manglende oppfylling av plastrøret. Arbeidslaget vil eventuelt kunne justere utførelsen etter kontrollen.

Visuell kontroll

Utført bolting, dvs. boltetype, antall og plassering, kan sammenlignes med gjeldende plan.

Det kan kontrolleres at vinkelen mellom bolt og fjelloverflate ikke er mindre enn anbefalt, og at halv- eller kula ligger riktig an mot platen.

Kontroll av forspenning og kalibrering/kontroll av forspenningsutstyr (muttertrekker) kan gjøres ved å plassere en hydraulisk jekk mellom fjelloverflaten og endeplaten.

For å oppnå mest mulig jevn friksjon i gjengene bør disse smøres med f.eks. voks.

Kontroll av forankring og innstøping

Prøvetrekking med hydraulisk jekk

Metoden blir brukt som kontroll av endeforankrede bolter.

Prøvetrekking kan foretas ved å trekke boltene til brudd. Dette angir nøyaktig forankringens, eventuelt boltens, kapasitet. En stor ulempe er at metoden er destruktiv (boltene ødelegges).

Mer aktuelt er det å trekke boltene til en gitt øvre grense. Et vanlig krav er 50-70% av boltens flytegrense.

Trekkingen foregår med en spesiell hydraulisk jekk. Det anbefales at hydraulikkpumpen er trykkluftdrevet.

NB! Prøvetrekking av bolter kan være farlig og må utføres av kyndig personell.

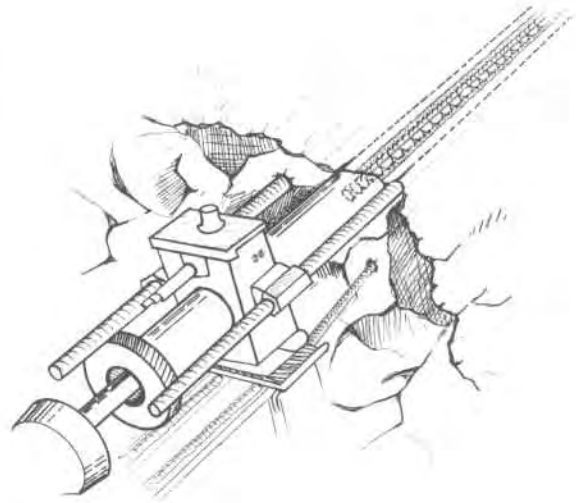
Figur 39 Hydraulisk strekkprøvejekk



Figur 40 Boltometer



Figur 41 Utboring av bolt



Boltometerundersøkelse

Et boltometer er et instrument for ikke-destruktiv testing av innstøpte bolter. Det består av en impuls-giver og en mottaker. Impulsgiveren sender pulser av ultralyd gjennom boltene. Pulsene reflekteres og sendes tilbake til mottakeren. Instrumentet er koblet til en skriver som skriver ut registreringene.

I en bolt som er helt omhyllt av mørtel, vil en større del av ultralyden forplantes ut i omliggende fjell, og den reflekterte delen blir liten. I en bolt med ufullstendig innstøpning vil en stor andel av ultralyden reflekteres.

Resultatene skiller mellom god, mindre god og dårlig innstøping. En bolt med noe redusert innstøping er vanskelig å klassifisere. Det er i tillegg vanskelig å skille mellom store ikke-innstøpte partier og flere mindre luftlommer.

NB! Utførelse og tolking av boltometerundersøkelser krever spesialkompetanse.

Utboring

Boltene og omliggende fjell bores ut med kjerneborutstyr.

Utboring av bolter er en destruktiv metode. Utboringen er tidkrevende og kostbar (avhenger av operatørens nøyaktighet og erfaring). Innstilling foretas med utgangspunkt i utstikkende del av boltene. På grunn av boravvik og krav til nøyaktighet ved innstilling av utstyr er det vanskelig å få godt resultat på utboringslengder over 2 meter.

Metoden kan brukes til verifikasjon av boltometerkontrollen.

(Bolter som har stått i lengre tid kan bores ut for å undersøke bestandighet i form av korrosjon, nedbryting av mørtelen eller polyestermassen, osv.)

Materialkontroll

Bolter og annet materiell skal være i overensstemmelse med spesifiserte krav.

Lagringen må følge gjeldende prosedyrer, som regel leverandørens anbefalinger. Husk f.eks. å sjekke datostemplede produkter.

5.5 Stikkprøvekontroll

Forslag til kontrollomfang

Kontroll kan gjøres ved stikkprøver. Omfanget bestemmes ved hjelp av Norsk Standard NS 5800 /38/.

Utvelgingen av stikkprøvene skjer tilfeldig. Partistørrelsen velges ut fra praktiske hensyn, månedsproduksjon eller et gitt antall bolter.

For at man skal kunne se hele partiet under ett, forutsettes det at alle arbeidslagene oppnår samme resultat. Dersom det dukker opp systematiske feil, kan det være aktuelt å spore disse tilbake til det laget som utførte monteringen. Korrigerende tiltak må i så fall iverksettes. I hvilken grad det skal skilles mellom arbeidslagene for å finne synderbukker, er et vanskelig

spørsmål. Dersom slike tiltak blir nødvendige, er det viktig at alle har en åpen og positiv holdning til kritikk. Man må sammen finne årsaken til feilene som blir gjort. Følelsen av at man kontrolleres og overstyres, kan ofte skape dårlig arbeidsmiljø.

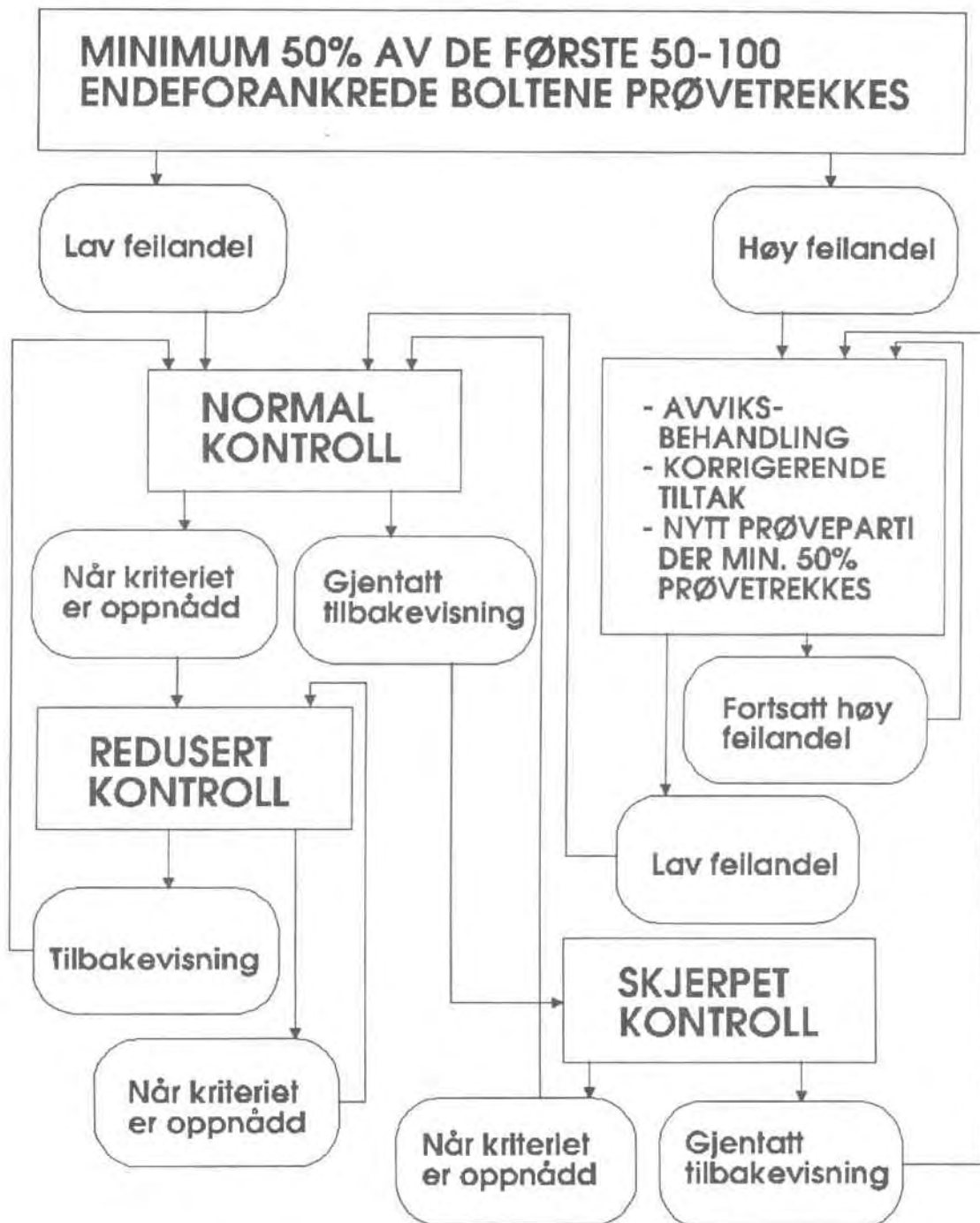
Før statistisk stikkprøvekontroll tas i bruk, bør det settes krav om minimum 50% kontroll av f.eks. de 50-100 første boltene. Dette for å kunne avdekke åpenbare prosedyrefeil. Er feilandelen lav, kan statistisk stikkprøvekontroll settes i gang.

Fjellet kan i enkelte tilfeller være så dårlig at man får problemer med å forankre boltene tilfredsstillende. Disse boltene skal merkes og loggføres før utførelse av stikkprøvekontroll, og bør ikke inngå i stikkprøvekontrollen.



Ut boring av bolter for kvalitetskontroll. (Foto: K. B. Pedersen)

Figur 42 Flytskjema for stikkprøvekontroll (delvis etter NS 5800/38/)



Sprang mellom kontrollnivåer

Det er definert i NS 5800 /38/, kapittel 8.3, hvordan sprang mellom kontrollnivåer skal gjennomføres. Det brukes normal kontroll til å begynne med, se flytskjema i figur 42.

Overgang fra normal til skjerpet kontroll

Når 2 av 5 partier er tilbakevist.

Overgang fra skjerpet til normal kontroll

Når 5 etterfølgende partier er godkjent.

Overgang fra normal til redusert kontroll

Når de 10 foregående partier er godkjent.

Når totalt antall feil blant disse er mindre eller lik 4.

Ved jevn produksjon.

Når ansvarlig instans ønsker redusert kontroll.

Overgang fra redusert til normal kontroll

Ved tilbakevising av parti.

Når antall feil ligger mellom aksept og tilbakevising.

Ved opphold i produksjonen.

Eksempel på stikkprøveomfang

(Ulike definisjoner fra NS 5800 er gitt i vedlegg 6.)

Prøveparti:	200 stk.endeforankredebolter
Akseptabelt kvalitetsnivå:	2,5%
a-risken:	5%
b-risken:	10%
Kontrollnivå:	Normalt, nivå II

Tabell 26 fremkommer av tabellene I og II A fra NS 5800.

Tabell 26 Eksempel på kontrollomfang

Kontrollnivå	Stikkprøve- størrelse	Aksepttall	Tilbakevisningstall
Redusert	13	1	3
Normal	32	2	3
Skjerpet	32	1	2

Antall bolter som skal inngå i stikkprøvekontrollen, bør tilpasses det totale bolteomfanget ved det enkelte anlegget.

Referanser

- /1/ Norsk Bergmekanikkgruppe, "Ingeniørgeologi-Berg", håndbok, Tapir Forlag, Trondheim, 1985, 138 sider + vedlegg.
- /2/ Kontor for Fjellsprengningsteknikk, KFF, "Praktisk håndbok i Fjellbolting", Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, NTNF, Marius Stamnes Boktrykkeri A/S, Oslo, 1973, 84 sider.
- /3/ B. Stillborg, "Professional Users Handbook for Rock Bolting", Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 15, Trans Tech Publications, 1986, 145 sider.
- /4/ P. Choquet, "Rock Bolting Practical Guide", Canada Centre for Mineral and Energy Technology, CANMET, SP88-15E, Québec, 1987, 160 sider + vedlegg.
- /5/ G. Stjern, "Boltetyper-virkemåter og utførelse", NIF-kurs nr. 34410-Bolting og forankring i berg, 15-17 mars 1993, 13 sider.
- /6/ E. Grimstad & K.B. Pedersen, "Langtidsvirkning på polyesterforankrede og mørtelinnstøpte fjellbolter. Foreløpige erfaringer", Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1986, side 35.1-35.16.
- /7/ A. Bruland & A. Thidemann, "Sikring av vanttunneler", SINTEF-rapport nr. STF36 A91056, utført for Vassdragsregulantenenes Forening, 1991, 88 sider + bilag.
- /8/ K.B. Pedersen, "Foreløpig rapport fra korrosjonsforsøk på bolter i Vardøtunnelen", Intern rapport nr. 1608, Veglaboratoriet, mai 1993, 2 sider + vedlegg.
- /9/ R. Thomas & T. Wallin, "Varmforzinking", utgitt av Nordisk Forzinkingsforening, august 1989, side 5.
- /10/ G. Hafsaas, O.K. Birkeland & T.G. Unneland, "Kvalitet av sikringsarbeider - Presentasjon av resultater fra to diplomoppgaver utført høsten 1991", Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1992, side 13.1-13.15.
- /11/ Norsk Verkstedsindustri Standardiseringsentral (NVS), "Uorganiskebelegg. Sinkbelegg påført ved stykkevis varmforsinking. Generelle opplysninger og krav", NS 1978, 1. utg., august 1991, 9 sider.
- /12/ Direktoratet for arbeidstilsynet, "Vannløselige kromater i sement", forskrifter til arbeidsmiljøloven, bestillingsnr. 489, 1987, 3 sider.
- /13/ A. Hofsøy & I. Gukild, "Bond studies in hot dip galvanized reinforcement in concrete", ACI Journal, March 1969, side 174-184.
- /14/ J. Kvåle, "Utstyr og praktisk utførelse", NIF-kurs nr. 34410-Bolting og forankring i berg, 15-17 mars 1993, 13 sider.
- /15/ K.B. Pedersen & G. Hafsaas, "Utboring og kvalitetskontroll av bergbolter", Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1991, side 17.1-17.11.
- /16/ Statens vegvesen, "Vegtunneler", håndbok nr. 021 i vegvesenets håndbokserie, august 1992, side 50-64.
- /17/ Norsk Betongforenings komite for sprøytebetong, "Sprøytebetong til fjellsikring", Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7, 1993, 72 sider.
- /18/ J. Holmgren, "Bergforstærkning med sprutbetong", Vattenfall Vattenkraft, 1992, side 29-43.
- /19/ A.M. Heltzen, "Forsiktig sprengning av tunnel og bergromskontur", Intern rapport nr. 1522, Veglaboratoriet, 1992, 28 sider + bilag.
- /20/ Norges Byggstandardiseringsråd, "Geoteknikk prosjektering. Fundamentering, grunnarbeider, fjellarbeider", NS 3480, 1. utg., august 1988, 11 sider.

- /21/ Norges Byggstandardiseringsråd, "Prosjektering av bygningskonstruksjoner. Dimensjonerende laster", NS 3479, 2. utg., februar 1981, 66 sider.
- /22/ N. Barton, R. Lien & J. Lunde, "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support", *Rock Mechanics* 6, No. 4, Springer-Verlag, 1974, side 189-236.
- /23/ Z.T. Bieniawski, "The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications", *Proceedings 4th International Congress of Rock Mechanics*, ISRM, Montreux, 1979, Vol. 2, side 41-48.
- /24/ L.V. Rabcewics & J. Golser, "Principles of dimensioning the supporting system for the "New Austrian tunnelling method", *Water Power*, March 1973, side 88-93.
- /25/ A.M. Myrvang, "Kompendium i bergmekanikk", Institutt for Geologi og Bergteknikk, NTH, Trondheim, 1990, 216 sider.
- /26/ L.A. Panek, "Design for bolting stratified roof", *Transactions of the Society of Mining Engineers*, Vol. 229, June 1964, side 113-119.
- /27/ T. Jorstad, "Rock bolting", avhandling utført ved Colorado School of Mines til graden Master of Science in Mining Engineering, 1967, upublisert, 168 sider.
- /28/ E. Hoek & J.W. Bray, "Rock Slope Engineering", *The Institution of Mining and Metallurgy*, London, 1981, 358 sider.
- /29/ B. Nilsen, "Stabilitetsanalyse av flomløpskanal, Paunglaung Hydropower Project", *Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk* 1984, side 31.1-31.28.
- /30/ N. Barton & V.D. Choubey, "The shear strength of rock joints in theory and practice", *Rock Mechanics* 10, 1977, side 1-54.
- /31/ S.G.A. Bergman & S. Bjurström, "Swedish experience of rock bolting. A keynote lecture", *Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting*, Abisko, Sverige, august 1983, side 243-255.
- /32/ S. Bjurström, "Shear strength of hard rock joints reinforced by grouted untensioned bolts", *Advances in Rock Mech., Proceedings 3rd International Congress of Rock Mechanics*, ISRM, Denver, 1974, Vol. IIB, side 1194-1199.
- /33/ B. Nilsen & R. Hagen, "Stabilitetsproblemer og forslag til ukonvensjonell sikring ved Tellnes dagbrudd", *Fjellsprengningsteknikk/ Bergmekanikk/ Geoteknikk* 1990, side 23.1-23.20.
- /34/ R. Lien & F. Løset, "Q-metoden. Bruk av denne til beskrivelse av bergmasser og som et hjelpemiddel ved vurdering av sikringstiltak i bergrom", *NGI-rapport nr. 54001-3*, 1978, 19 sider.
- /35/ E. Grimstad & N. Barton, "Updating of the Q-system for NMT", *International Symposium on Sprayed Concrete*, Fagernes, October 17-21, 1993, side 46-66.
- /36/ Norsk Verkstedsindustri Standardiseringsentral (NVS), "Kvalitet. Terminologi", *NS-ISO 8402*, 1. utg., februar 1989, 8 sider.
- /37/ Norsk Verkstedsindustri Standardiseringsentral (NVS), "Kvalitetsledelse og kvalitetssikringsstandarder. Retningslinjer for valg og bruk", *NS-ISO 9000*, 1. utg., mars 1988, 11 sider.
- /38/ Norsk Verkstedsindustri Standardiseringsentral (NVS), "Prosedyre for stikkprøvetaking og Tabeller for attributtkontroll", *NS 5800*, 1. utg., mai 1978, 67 sider.
- Referanser og grunnlagsmateriale for øvrig som er brukt for å utarbeide boken er gitt i internrapport "Bergbolting, Delrapport 1, Erfaringsgrunnlag" i Veglaboratoriets rapportserie.

Figuroversikt

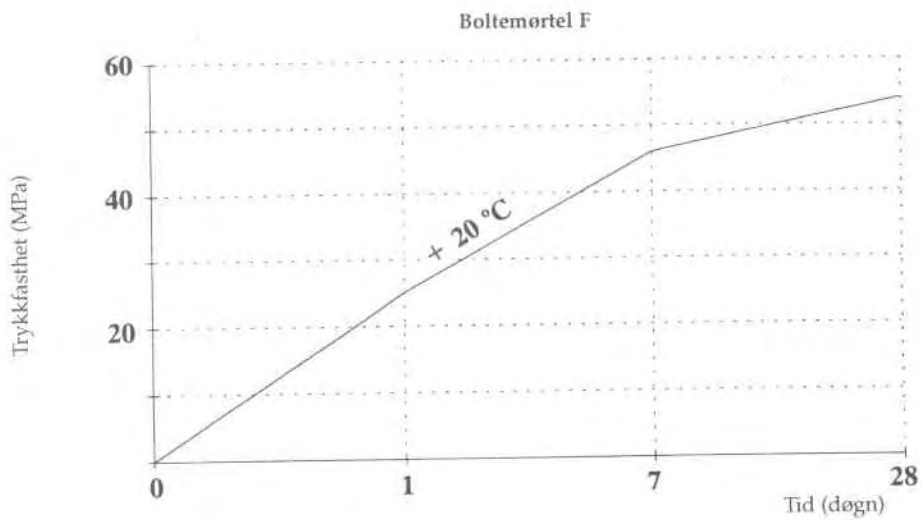
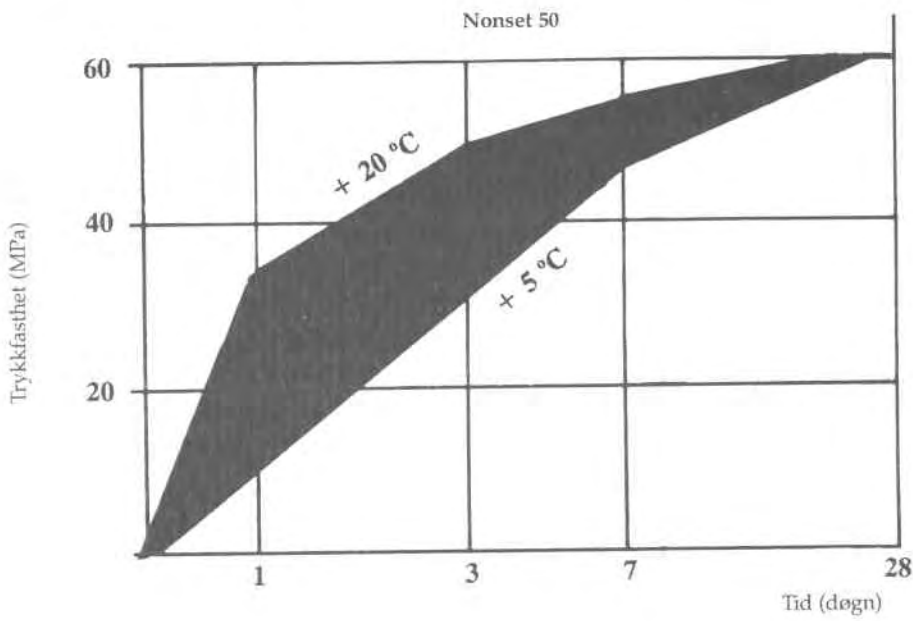
Figur 1	Prinsippskisse av sikring med bolter i fjellside fra ca. 1860	9
Figur 2	Splitt- og kilebolt	9
Figur 3	Eksempler på underlagsplater	33
Figur 4	Kvalitetsavvik på innstøpte bolter	35
Figur 5	Knemater	38
Figur 6	Fullmekanisert rigg	38
Figur 7	Tunnelborrigg med tre borebommer og en bom med korg	39
Figur 8	Vinkel mellom borhullets retning og fjelloverflaten	40
Figur 9	Riktig tilpasset lengde på boltehullet for polyesterforankrede bolter	40
Figur 10	Hjullaster med korg	41
Figur 11	Luftdrill med matekolonne	41
Figur 12	Mørtelpumpe	42
Figur 13	Muttertrekker	42
Figur 14	Hydraulisk jekk og momentnøkkel	43
Figur 15	Montering av bolt med ekspansjonshylse	44
Figur 16	Montering av bolt med polyesterpatron	45
Figur 17	Montering av fullt innstøpt kamstålbolt	49
Figur 18	Montering av perfbolt	50
Figur 19	Montering av rørbolt	51
Figur 20	Montering av endeforankret og ettergyst bolt	52
Figur 21	Eksempel på spredt bolting	58
Figur 22	Eksempel på systematisk bolting	58
Figur 23	Eksempler på forbolting	59
Figur 24	Eksempler på bolting i grovblokkig fjell	62
Figur 25	Eksempler på bolting i moderat oppsprukket fjell	63
Figur 26	Eksempel på bruk av bolter og sprøytebetong i tett oppsprukket fjell	63
Figur 27	Eksempler på bolting i lagdelt/skifrig fjell	64
Figur 28	Eksempel på bolting i sprakefjell	64
Figur 29	Eksempler på bolting i slepper og svakhetssoner	65
Figur 30	Teoretisk last/deformasjonskurve for fjell og fjellforsterkning /24/, /25/	72
Figur 31	Bolting i horisontalt lagdelt fjell	72
Figur 32	Bolting av enkeltblokk	73
Figur 33	Boltelengder ved avgrensede løse blokker	73
Figur 34	Avtagende boltelengder ut mot vederlagene	74
Figur 35	Dannelse av kompresjonsbue ved bruk av forspente bolter	75
Figur 36	Sikring av antatt ustabil blokk i fjellskjæring	77
Figur 37	Anbefalt vinkel mellom bolt og sprekkeplan	77
Figur 38	Forholdet mellom bergmassekvalitet, Q-verdi og sikring /35/	79
Figur 39	Hydraulisk strekkprøvejeck	84
Figur 40	Boltometer	85
Figur 41	Utboring av bolt	85
Figur 42	Flytskjema for stikkprøvekontroll (delvis etter NS 5800 /38/)	87

Tabelloversikt

Tabell 1	Bolt forankret med ekspansjonshylse	12
Tabell 2	Polyesterforankret bolt - Boltehull Ø25-Ø32 mm	13
Tabell 3	Polyesterforankret bolt - Boltehull Ø43-Ø48 mm	14
Tabell 4	Bolt endeforankret med mørtel	15
Tabell 5	Mørtelinnstøpt kamstålbolt	17
Tabell 6	Perfobolt	18
Tabell 7	Polyesterinnstøpt bolt	19
Tabell 8	Rørbolt	21
Tabell 9	Endeforankret og ettergyst bolt	22
Tabell 10	CT-bolten	23
Tabell 11	Friksjonsbolt - Split Set	25
Tabell 12	Friksjonsbolt - Swellex	26
Tabell 13	Borstangbolt	27
Tabell 14	Glassfiberbolt	28
Tabell 15	Kabler (ikke-forspente kabelbolter)	30
Tabell 16	Lissestag (forspent kabel)	31
Tabell 17	Stangstag	32
Tabell 18	Borutstyr til bolteboring ved ulike tunneltverrsnitt	37
Tabell 19	Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse	44
Tabell 20	Anbefalte bolte-, patron- og borhulldiametre ved polyesterforankring	46
Tabell 21	Feilkilder ved forankring med polyester	48
Tabell 22	Feilkilder ved innstøping av bolter	54
Tabell 23	Hovedgrupper av fjellforhold der bolter brukes til sikring	61
Tabell 24	Valg av boltetyper ved ulike fjellforhold	66
Tabell 25	Q-verdien	78
Tabell 26	Eksempel på kontrollomfang	88

Vedlegg 1

Eksempler på trykkfasthet over tid for to boltemørtler (oppgitt av leverandørene)



Vedlegg 2

Prinsipper for dimensjonering ved bruk av bruddgrensetilstanden

Ved bruk av bruddgrensetilstanden skal dimensjonerende motstand (M_D) være lik eller større enn dimensjonerende last (L_D):

$$M_D \geq L_D$$

Dimensjonerende motstand (M_D) ved bruddgrensetilstanden kan uttrykkes ved at motstanden (M) divideres med en materialkoeffisient (k_M):

$$M_D = M / k_M$$

Bruddgrensetilstandens dimensjonerende last (L_D) finnes ved at lasten (L) multipliseres med en lastkoeffisient (k_L):

$$L_D = L \times k_L$$

I henhold til NS 3480 /20/ skal følgende verdier brukes:

"For tyngden av jord og berg skal lastkoeffisienten 1,0 brukes."
"Materialkoeffisienten skal normalt ikke settes lavere enn 1,3."

Normale bygningslaster, naturlaster og lastkoeffisienter er gitt i NS 3479 /21/.

Beregningseksempel etter grensetilstandsmetoden ved bolte-sikring i heng og vegg i en tunnel er gitt i litteraturen /7/.

Vedlegg 3

Beregning av antall bolter ved blokkbolting i tunnel

Ved likevekt:

stabiliserende krefter = drivende krefter

Sikkerhetsfaktor (F) :

$$F = \frac{\text{stabiliserende krefter}}{\text{drivende krefter}}$$

Total boltekraft (T): $T = NB$

Tyngde (G) av løs eller antatt ustabilblokk eller blokk-

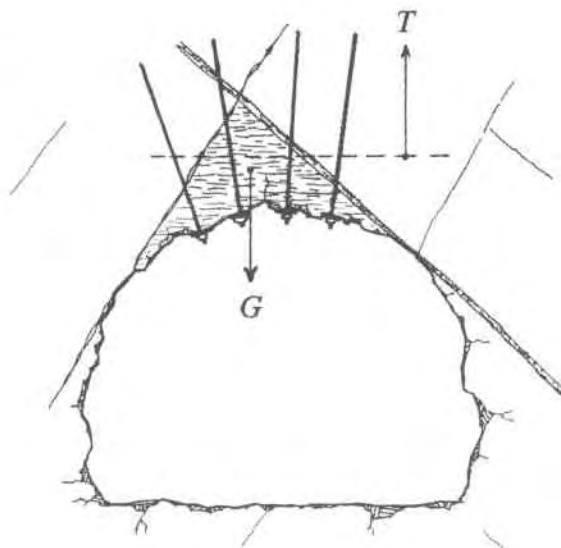
samling: $G = mg = \rho Vg$

(ser bort fra friksjon på sprekkeflatene)

$$F = \frac{T}{G}$$

$$F = \frac{NB}{\rho Vg}$$

$$N = \frac{F\rho Vg}{B}$$



F = Sikkerhetsfaktor

(f.eks. mellom 1,5-3)

N = Antall bolter

B = Boltens bæreevne

(f.eks. flytlast = 120 kN for Ø20mm, K 500 S)

m = Massen til antatt ustabil blokk eller blokk-
samling, tonn

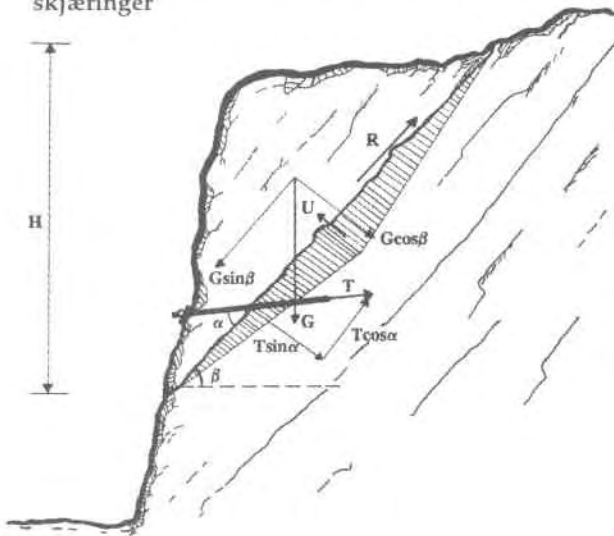
ρ = Fjellets tetthet, for norske bergarter vanligvis
2,6-3,0 tonn/m³

V = Antatt ustabil fjellvolum, m³

g = Tyngdeakselerasjonen, ca. 9,8 m/s²

Vedlegg 4a

Beregning av antall bolter ved sikring av vegger og skjæringer



$$R = cA + (G \cos \beta - U + T \sin \alpha) \tan \phi$$

c = Sprekkens/sleppas kohesjon (se vedlegg 4c)

A = Areal av sprekkoplanets utglidningsflate

G = Tyngde av antatt ustabil blokk eller blokksamling

β = Sprekkeplanets fallvinkel

U = Sprekkevannstrykk (se vedlegg 4c)

T = Total boltekraft

α = Vinkel mellom bolten(e) og sprekkoplanet
(anbefalt mellom 30-50°)

ϕ = Sprekkens/sleppas friksjonsvinkel
(se vedlegg 4d)

H = Høydeforskjell mellom sprekkens utgående

Vedlegg 4b

Sikkerhet mot utglidning for forhold som vist i figuren i vedlegg 4a:

Ved likevekt:

stabiliserende krefter = drivende krefter

Sikkerhetsfaktor (F):

$$F = \frac{\text{stabiliserende.krefter}}{\text{drivende.krefter}}$$

$$F = \frac{cA + (G\cos\beta - U + T\sin\alpha) \tan\phi}{G\sin\beta - T\cos\alpha}$$

Total boltekraft (T): $T = NB$

Tyngde (G) av løs eller antatt ustabil blokk eller blokk-samling: $G = mg = \rho Vg$

$$F = \frac{cA + (\rho Vg\cos\beta - U + NB\sin\alpha) \tan\phi}{\rho Vg\sin\beta - NB\cos\alpha}$$

$$N = \frac{\rho Vg(F\sin\beta - \cos\beta \tan\phi) + U\tan\phi - cA}{B(\sin\alpha \tan\phi + F\cos\alpha)}$$

F = Sikkerhetsfaktor (f.eks. mellom 1,5-2)

N = Antall bolter

B = Boltens bæreevne (f.eks. flytlast = 220 kN for Ø25 mm, K 500 TE)

m = Massen til antatt ustabil blokk eller blokk-samling, tonn

ρ = Fjellets tetthet, for norske bergarter vanligvis 2,6-3,0 tonn/m³

V = Antatt ustabil fjellvolum, m³

g = Tyngdeakselerasjonen, ca. 9,8 m/s²

Vedlegg 4c

Kohesjon(c)

Verdiene er hentet fra /28/.

Materiale:

Kohesjon, c (kN/m²):

Sprengt/oppsprukket fjell

(uten leire på sprekker) ~ 0

Leire

Bløt bentonitt 10 - 20

Meget bløt organisk leire 10 - 30

Bløt, noe organisk leire 20 - 50

Bløt glasial leire 30 - 70

Tørr/fast glasial leire 70 - 150

Ukonsoliderte, usorterte breavsetninger

(morene) 150 - 250

Ikke oppsprukket (intakt) fjell

Harde magmatiske bergarter -

granitt, basalt, porfyr 35000 - 55000

Metamorfe bergarter -

kvartsitt, gneis, fyllitt, glimmerskifer 20000 - 40000

Harde sedimentære bergarter -

kalkstein, dolomitt, sandstein 10000 - 30000

Myke sedimentære bergarter -

sandstein, kull, kritt, leirskifer 1000 - 20000

Vedlegg 4d

Friksjonsvinkel(ϕ)

Tilnærmet friksjonsvinkel (ϕ) for ulike sprekkplan, etter /7/.

Sprekkekarakter:	Friksjonsvinkel, ϕ :
Stor ruhet - ujevn	$\geq 60^\circ$
Middels ruhet - plan	$\approx 35 - 60^\circ$
Liten ruhet - polert	$\approx 25 - 35^\circ$
Sprekkemateriale:	
glimmer, grafitt, leire	$\approx 15 - 30^\circ$
kloritt, talk, aktiv leire	$\approx 7 - 20^\circ$

Friksjonsvinkelen (ϕ) for et sprekkplan kan også finnes ved å benytte ruhetstallet (J_r) og styrketallet (J_a), som er to observerbare parametre i Q-metoden /22/, /34/, se vedlegg 5:

$$\phi \cong \arctan\left(\frac{J_r}{J_a}\right)$$

Sprekkevannstrykk (U)

Når vanntrykket antas fordelt som på figuren i vedlegg 4a, og det forutsettes vannmettet skjæring, kan vanntrykket beregnes ut fra følgende ligning /28/, /29/:

$$U = \frac{\rho_w g A H}{4}$$

$$(A = \frac{H}{\sin \beta} L)$$

U = Vanntrykk, kN

ρ_w = Tetthet av vann, tonn/m³

H = Høydeforskjell mellom sprekkens utgående, m

β = Sprekkeplanets fallvinkel

A = Sprekkeflatens areal, m²

g = Tyngdeakselerasjonen, m/s²

L = Sprekkens lengde, m

Vedlegg 5a

Angivelse av tallverdier for parametre til bestemmelse av Q-verdien

1. Oppsprekningstall - RQD

Beskrivelse av bergmassens oppsprekningsgrad ved hjelp av RQD.

Beskrivelse av bergmassens oppsprekningsgrad ved hjelp av RQD.	RQD pr. m ³	Antall sprekker
A. Meget sterkt oppsprukket	0-25	> 27
B. Sterkt oppsprukket	25-50	20-27
C. Moderat oppsprukket	50-75	13-19
D. Lite oppsprukket	75-90	8-12
E. Meget lite oppsprukket	90-100	0-7

Merknad: For RQD-verdier mellom 0-10 brukes alltid 10 i formelen for Q.

Ved bestemmelse av RQD er intervall på 5 nøyaktig nok (100, 95, 90, osv.).

2. Sprekkesett-tall - J_n

Beskrivelse av antall sprekkesett med angivelse av tallverdier for J_n.

Beskrivelse av antall sprekkesett med angivelse av tallverdier for J _n .	J _n
A. Få eller bare sporadiske sprekker	0,5-1
B. Ett sprekkesett	2
C. Ett sprekkesett + sporadiske sprekker	3
D. To sprekkesett	4
E. To sprekkesett + sporadiske sprekker	6
F. Tre sprekkesett	9
G. Tre sprekkesett + sporadiske sprekker	12
H. Fire eller flere sprekkesett, sterktoppsprukket berg, sukkerbitberg osv.	15
J. Oppknust berg, nærmest som jordmateriale	20

Merknad: For tunnelkryss brukes $3xJ_n$. For portaler, påhugg o.l. brukes $2xJ_n$.

3. Sprekkesetenes ruhetstall - J_r

Beskrivelse av sprekkens ruhet med tallangivelse for parameteren J_r.

Beskrivelse av sprekkens ruhet med tallangivelse for parameteren J _r .	J _r
a) Bergkontakt	
b) Bergkontakt før 10 cm skjærdeformasjon	
A. Diskontinuerlige sprekker	4
B. Ru eller irregulære, bølgete	3
C. Glatte, bølgete	2
D. Glidespeil, bølgete	1,5
E. Ru eller irregulære, plane	1,5
F. Glatte, plane	1,0
G. Glidespeil, plane	0,5

Merknad: Første del av beskrivelsen refererer til små strukturer (mm, cm), mens andre del refererer til middels store strukturer (dm, m).

c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon

Beskrivelse av sprekkens ruhet med tallangivelse for parameteren J _r .	J _r
H. Soner med stort nok leirinnhold til å hindre bergkontakt	1,0
J. Gruslignende knust materiale tykt nok til å hindre bergkontakt	1,0

Merknad: 1,0 adderes når midlere sprekkelavstand er større enn 3 m.

$J_r = 0,5$ kan brukes for plane glidespeil med lineasjon, når lineasjonen er orientert langs minimum styrke.

Vedlegg 5b

4. Sprekkematerialets styrketall - J_a

Beskrivelse av sprekkematerialets styrke med tallangivelse for parameteren J_a og tilnærmede verdier for friksjonsvinkelen, f_r .

	J_a	f_r (tilnærmet)
<i>a) Bergkontakt (ingen mineralinnfylling, kun belegg)</i>		
A. Sammenvokste sprekker med hard, uoppbløtelig, impermeabel fylling, f.eks. kvarts, feltspat	0,75	-
B. Uomvandlede sprekkeflater, bare overflateoksydasjon	1,0	25-35°
C. Svakt omvandlede sprekkeflater. Uopløselig mineralbelegg. Sandige partikler, leirfritt, oppknust sprekkemateriale	2,0	25-30°
D. Siltig eller sandig sprekkemateriale, litt leire (ikke svelleleire)	3,0	20-25°
E. Oppbløtelig leire eller leirbelegg med lav friksjon, f.eks. kaolinitt eller glimmer. Også kloritt, talk, gips, grafitt osv., og små mengder svelleleire	4,0	8-16°
<i>b) Bergkontakt for 10 cm skjærdeformasjon (tynn mineralinnfylling)</i>		
F. Sandige partikler, leirfritt, oppknust sprekkemateriale	4,0	25-30°
G. Sterkt overkonsolidert, uoppbløtelig leirfylling (kontinuerlig, men < 5 mm tykkelse)	6,0	16-24°
H. Middels eller lav overkonsolidering, oppbløtelig sprekkefylling av leirmateriale (kontinuerlig, men < 5 mm tykkelse)	8,0	12-16°
J. Sprekkefylling av svelleleire, dvs. smektitt eller montmorillonitt (kontinuerlig, men < 5 mm tykkelse). Ja-verdien avhenger av prosentvis innhold av leirpartikler og tilgang på vann osv.	8-12	6-12°
<i>c) Ingen bergkontakt ved skjærdeformasjon (tykk mineralinnfylling)</i>		
K., L. & M. Soner eller bånd av desintegrert eller knust bergartsmasse og leire (se G, H, J for beskrivelse av leirforholdene)	6, 8 el. 8-12	6-24°
N. Soner eller bånd av siltig eller sandig leire, liten leirfraksjon (uoppbløtelig)	5,0	-
O., P. & Q. Tykke, kontinuerlige soner eller bånd av leire (se G, H, J for beskrivelse av leirforholdene)	10, 13 el. 13-20	6-24°

5. Sprekkevannsfaktor - J_w

Beskrivelse av vannforhold med tallangivelse for parameter J_w .

	J_w	ca. vanntrykk (i kg/cm ²)
A. Tørre bergrom eller minimal innlekkasje, dvs. < 5 l/min lokalt	1,0	< 1
B. Middels innlekkasje eller trykk. Stedvis utvasking av sprekkemateriale	0,66	1-2,5
C. Stor innlekkasje eller høyt trykk i massivt berg med sprekker uten fylling	0,5	2,5-10
D. Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekkemateriale	0,33	2,5-10
E. Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprengning, avtagende med tiden	0,2-0,1	> 10
F. Meget stor innlekkasje eller vanntrykk. Ikke avtagende	0,1-0,05	> 10

Merknad: Verdier for C til F er antatte. J_w økes når dreneringstiltak blir gjort.

Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert.

Vedlegg 5c

6. Bergspenningsfaktor - SRF

Beskrivelse av spenningsforhold og tallangivelse for parameter SRF.

a) Svakhetssoner som kan medføre nedfall når bergrommet er sprengt.	SRF
A. Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse, svake bergmasser (alle dybder)	10
B. Enkle svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse (anleggets dybde ≤ 50 m)	5
C. Enkle svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse (anleggets dybde > 50 m)	2,5
D. Hyppig opptreden av markerte sprekker (skjærsprekker, slepper) i harde, udeformerbare bergarter (uten leire), svake omkringliggende bergarter (alle dybder)	7,5
E. Enkle markerte svakhetssoner (skjærsoner, sprekkesoner) i harde, udeformerbare bergarter (uten leire, anleggets dybde ≤ 50 m)	5,0
F. Enkle markerte svakhetssoner (skjærsoner, sprekkesoner) i harde, deformerbare bergarter (uten leire, anleggets dybde > 50 m)	2,5
G. Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket eller sukkerbitberg, osv. (alle dybder)	5,0

Merknad: SRF-verdiene reduseres med 25-50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.

b) Harde, lite deformerbare bergmasser (kompetente). Bergtrykksproblemer.	SRF	σ_c/σ_1	σ_θ/σ_c
H. Lave spenninger, nær overflaten, åpne sprekker	2,5	> 200	$< 0,01$
J. Middels høye bergspenninger, gunstige spenningsforhold	1	200-10	0,01-0,3
K. Høye spenninger, meget "tette" bergarter, vanligvis gunstig for stabilitet, kan være ugunstig for veggstabilitet	0,5-2	10-5	0,3-0,4
L. Moderat avskalling etter > 1 time i massivt berg	5-50	5-3	0,5-0,65
M. Avskalling og bergslag etter noen få minutter i massivt berg	50-200	3-2	0,65-1
N. Intenst bergslag ("strain-burst") og samtidig deformasjon i massivt berg	200-400	< 2	> 1

Merknad: For sterkt anisotrope spenningstilstander (hvis målt): når $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduser σ_c til $0,75\sigma_c$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduser σ_c til $0,5\sigma_c$, hvor σ_c = enaksial kompresjonsstyrke, σ_1 og σ_3 er h.h.v. største og minste hovedspenning og σ_θ = maks. tangensiell spenning (estimert fra elastisitetsteori). Få beskrevne tilfeller hvor overdekningen er mindre enn spennvidden. Det antas da at SRF økes fra 2,5 til 5 (se H).

c) Tyteberg. Plastisk flyting av bløte, deformerbare (inkompetente) bergarter under innflytelse av høye bergtrykk.

	SRF	σ_θ/σ_c
O. Moderat tyteberg	5-10	1-5
P. Intenst tyteberg	10-20	> 5

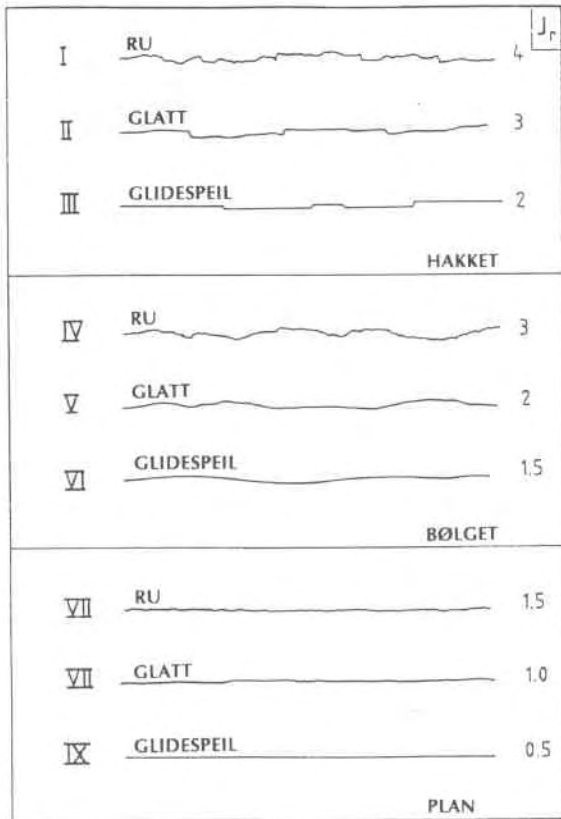
Merknad: Tyteberg kan forekomme ved dyp $H > 350Q^{1/3}$.

Bergmassens kompresjonsstyrke kan estimeres fra $q \approx 0,7\gamma Q^{1/3}$ hvor γ = bergartens tetthet i kN/m³.

d) Svellende berg. Kjemisk svelleaktivitet som avhenger av tilgang på vann.	SRF
R. Moderat svellende berg	5-10
S. Intenst svellende berg	10-15

Vedlegg 5d

Skisser av sprekkeflater med forskjellig ruhetsgrad og antatt J_r -verdi



Vedlegg 5e

Forholdstall for bergomsikring (ESR)

Klasse	Type utgravning/bergrom	ESR
A	Midlertidige gruverom, osv.	ca. 3-5?
B	Permanente gruverom, vann-tunneler (ikke trykksjakter), tverrslag, pilottunneler, osv.	1,6
C	Lagerhaller, renseanlegg, lite trafikkerte veg- og jernbanetunneler, svingekammer, atkomsttunneler, osv.	1,3
D	Stasjonshaller, sterkt trafikkerte veg- og jernbanetunneler, tilfluktsrom, portaler, osv.	1,0
E	Haller for kjernekraftverk, jernbanestasjoner, sportshaller, fabrikkhaller, osv.	ca. 0,8?

Vedlegg 6

Begreper i NS 5800

Prøveparti

Det samlede observasjonsmaterieil som skal analyseres, f.eks. 200 bolter.

Stikkprøve

For å slippe å kontrollere alle enhetene i et prøveparti tas det en stikkprøve. Med en viss usikkerhet, som vi kan bestemme på forhånd, vil vi kunne trekke konklusjoner om prøvepartiet basert på de resultatene vi får fra stikkprøven.

Akseptabelt kvalitetsnivå (AQL-verdi)

Angir den maksimale feilprosenten som kan betraktes som tilfredsstillende ved stikkprøvekontroll.

Aksepttall

Antall feil en vil akseptere i en stikkprøve.

Tilbakevisningstall

Antall feil som ved en stikkprøve medfører at partiet ikke blir akseptert.

Akseptsannsynlighet

Sannsynlighet for at et vareparti blir akseptert.

Leverandørrisiko (entreprenørrisiko)

Risikoen for at et parti blir tilbakevist selv om kvaliteten er tilfredsstillende.

Omtales som α -risiken. Vanlig verdi 5%.

Kjøpers risiko (byggerrisiko)

Risikoen for å akseptere et parti der kvaliteten ikke er tilfredsstillende.

Omtales som β -risiken. Vanlig verdi 10%.

Uakseptabelt kvalitetsnivå (LTPD-verdi)

Den feilandel byggherren bare unntaksvis vil akseptere (i β % av tilfellene).

Akseptsannsynlighetskurve (OC-kurve)

Kurve som tar utgangspunkt i stikkprøvestørrelsen og aksepttallet for å vise akseptsannsynligheten som funksjon av feilandelen i prøvepartiet.

Kontrollnivå

Det er kontrollnivået som bestemmer forholdet mellom partistørrelsen og stikkprøvestørrelsen. Nivået settes av den ansvarlige instans.



www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISBN: 82-7207-495-8

Trygt fram sammen