



NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK



Foto: Pretec

Håndbok nr. 11

Bergbolting

BERGBOLTING

Håndbok nr. 11

NORSK FORENING FOR FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

HÅNDBOK NR 11

© Norsk forening for fjellsprenningsteknikk – NFF

ISBN 978-82-92641-46-0

Forsidebilde:

Bolting i Mossetunnelen

Foto: Pretec AS

Layout:

Konsis Grafisk AS

konsis@konsis.no

www.konsis.no

NFFs håndbøker er utarbeidet av fagpersoner oppnevnt av utviklingskomiteen i NFF. Innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunkt redigering ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme. Verken NFF eller forfattere har noe ansvar for eventuelle feil eller mangler i rapporten og mulige konsekvenser av disse. Det forutsettes at håndboken benyttes av kompetente, fagkyndige personer med forståelse for de begrensninger og forutsetninger som legges til grunn.

Innhold	4
Forord	7
1. Innledning	8
2. Bruk av bolter	9
2.1. Sikringspraksis for tunnel og bergskjæring.....	9
2.1.1. Spredt bolting.....	9
2.1.2. Systematisk bolting.....	10
2.1.3. Forbolting	10
2.1.4. Bolting foran stuff	11
2.2. Bergforhold og boltetyper	12
2.2.1. Bergforhold og stabilitet.....	12
2.2.2. Bergforhold og sikringsmetode.....	12
2.2.3. Valg av boltetyper ved ulike bergforhold.....	16
2.3. Bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler	18
2.3.1. Bolter, bånd og nett.....	18
2.3.2. Bolter og sprøytebetong.....	18
2.4. Sikring ved spesielle forhold.....	19
2.4.1. Boring og sprengning	19
2.4.2. Rensk.....	19
3. Boltetyper	20
3.1. Endeforankrede bolter	20
3.1.1. Bolt forankret med ekspansjonshylse	21
3.1.2. Polyesterforankret bolt - boltehull Ø25-Ø32 mm	22
3.1.3. Polyesterforankret bolt - boltehul Ø43-Ø48 mm.....	23
3.1.4. Bolt endeforankret med mørtel	24
3.2.1. Mørtelinnstøpt kamstålbolt	25
3.2.2. Perfobolt	26
3.2.3. Polyesterinnstøpt bolt.....	27
3.3. Kombinasjonsbolter	28
3.3.1. Rørbolt	29
3.3.2. Endeforankret og ettergyst bolt.....	30
3.3.3. CT-bolt (Ulike diame.....	31
3.3.4. NC-bolt (Ulike diametre og betegnelser).....	32
3.3.5. Fin bolt.....	33
3.4. Andre boltetyper	34
3.4.1. Friksjonsbolt - Split Set	34
3.4.2. Friksjonsbolt - Swellex.....	35
3.4.3. Glassfiberbolt.....	36
3.4.4. D-bolt.....	37

3.5. Kabler og stag	37
3.5.1. Stangstag	38
3.5.2. Selvborende stag	39
3.5.3. Lissestag (forspent kabel)	40
3.5.4. Kabler (ikke-forspente kabelbolter)	41
3.6. Boltematerialer og tilbehør	42
3.6.1. Underlagsplater og halvkuler	42
3.6.2. Ekspansjonshylser	42
3.6.3. Polyester	42
3.6.4. Mørtel	42
3.7. Korrosjonsvern	42
3.7.1. Varmforsinking	42
3.7.2. Varmforsinking + pulverlakkering	42
3.7.3. Rustfritt stål	43
3.7.4. Fullt innstøpt bolt	43
4. Utstyr og montering	44
4.1. Boreutstyr og boring av boltehull	44
4.1.1. Håndholdte boremaskiner	44
4.1.2. Bolterigg	44
4.1.3. Tunnelborerigg	44
4.1.4. Feilkilder ved boring av boltehull	45
4.2. Utstyr for montering av bolter	46
4.2.1. Tunnelborerigg, hjullaster med korg eller arbeidsplattform	46
4.2.2. Luftdrill med matekolonne (matesylinder)	47
4.2.3. Mørtelpumpe	47
4.2.4. Muttertrekker	47
4.2.5. Hydraulisk jekk og momentnøkkel	48
4.3. Montering av bolter med ekspansjonshylse	49
4.3.1. Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse	50
4.4. Montering av bolter med polyesterpatron	51
4.4.1. Kvalitet på polyesterforankring	52
4.4.2. Feilkilder ved forankring med polyester	53
4.5. Bruk av mørtel til innstøpning av bolter	53
4.5.1. Feilkilder ved innstøpning av bolter	55
4.6. Innstøpning av bolter	55
4.7. Forspenning av bolter	61
4.8. Vann i boltehull	61

5. Dimensjonering	62
5.1. Dimensjonering av sikring	62
5.2. Spredt bolting.....	64
5.2.1. Antall bolter	64
5.2.2. Boltelengde	65
5.2.3. Bolteretning.....	65
5.3. Systematisk bolting	66
5.3.1. Systematisk, ikke-forspent bolting.....	66
5.3.2. Boltelengder ved systematisk, ikke-forspent bolting	66
5.3.3. Bolteavstand ved systematisk, ikke-forspent bolting	67
5.3.4. Systematisk, forspent bolting.....	67
5.4. Bolting i bergvegger og -skjæringer.....	68
5.4.1. Bolteretning ved bolting i bergvegger og -skjæringer	69
6. Kontrollmetoder	70
6.1. Visuell kontroll under utførelsen.....	70
6.2. Visuell kontroll av utført bolting.....	70
6.3. Kontroll av forankring ved prøvetrekking.....	70
6.4. Kontroll av innstøpning ved utboring.....	71
7. Dokumentasjon.....	72
7.1. Definisjoner	72
7.2. Metoder for registrering av bergsikring.....	74
7.2.1. Manuell kartlegging.....	75
7.2.2. Borelogg fra borerigg og innmåling med totalstasjon.....	76
7.2.3. Registering med kamera.....	80
7.3. Sluttdokumentasjon	82
8. Referanser.....	86

Forord

Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (NFF) er en åpen forening for personer og virksomheter som er knyttet til eller interessert i aktiviteter som angår norsk bergteknologi. En sentral del av foreningens arbeid gjelder utviklingsprosjekter til nytte for bransjen. Dette skjer i nært samarbeid med relevante aktører, og de oppnådde resultater gjøres blant annet kjent gjennom NFF sine publikasjoner, håndbøker og tekniske rapporter.

Denne håndboka har en forholdsvis lang forhistorie. Kontor for Fjellsprengningsteknikk KFF ga i 1973 ut «Praktisk håndbok i fjellbolting». Dette ble et utgangspunkt for Statens vegvesens Publikasjon nr. 72 Fjellbolting fra Veglaboratoriet, som ble utgitt i 1994 og Statens vegvesen håndbok V224 Fjellbolting utgitt i 2000 (tidligere håndbok 215). Det ble gjort en forholdsvis omfattende revidering i Vegdirektoratet, før hele arbeidet ble overlevert NFF i 2017. Utviklingskomiteen i NFF har deretter nedsatt en gruppe som har sikret at den nå er oppdatert i forhold til dagens praksis og produkter.

Arbeidet med den reviderte utgaven har vært gjennomført av:

Marcus Fritzøe Lawton, Bane NOR
Ragnhild Rostad, Veidekke
Thorvald Wetlesen Sr, Bever Control
Anette Wold Magnussen, Statens vegvesen
Tone Nakstad, NFF

Tegningene i boken er blant annet utarbeidet av Mette Bergan, Kristine Ekseth og Arild Walberg Solerød.

Utviklingskomiteen i NFF har stått for korrekturlesing og kvalitetssikring av arbeidet.

Norsk forening for fjellsprengningsteknikk
Utviklingskomiteen
August 2020

1. Innledning

Denne boken er primært rettet mot stoffarbeider, bas, oppsynsmann, formann og kontrollingeniør, men ingeniørgeologer og andre fagpersoner vil også ha nytte av boken i sitt arbeid. Det er ønskelig at boken blir aktivt brukt av entreprenører, konsulenter, bygghefter og andre i fagmiljøet.

Hensikten med denne boken er blant annet å gi beskrivelser om bolting. Boken skal være et bidrag til å sikre kvalitet på boltingen. Boken tar for seg bolter til bergforsterkning. Det er verdt å nevne at det også finnes montasjebolter. Det er bolter som ikke i seg selv sikrer berg. Disse boltene krever høyere nøyaktighet ved plassering og brukes til å montere blant annet betongelement, membran, duk og tekniske installasjoner. Disse boltene vil ikke bli diskutert videre i boka og er kun nevnt fordi de er med i permanent sikring, men er ikke med under driving av tunnelen.

Bolter er den mest brukte metoden til sikring ved de fleste bergforhold. Det finnes en rekke ulike boltetyper. Boltene har ulik utforming og virkemåte, som utnyttes til å sikre bergmasse med svært ulike karakterer. Bolter kan endeforankres og forspennes, eller de kan støpes inn og fungere som en armering av berget.

Bolter kan brukes sammen med andre sikringsmidler som bånd, nett og sprøytebetong. Som regel 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 kan være store spenninger i berget, som medfører lastpåkjenninger på eventuelle sikringsmidler. Berget bør derfor i størst mulig grad bære seg selv, og bolter og andre sikringsmidler skal hjelpe berget til å bli selvbærende.

Vann i boltehull er problematisk og kan påvirke levetid for bolten. Vann i boltehull gir problemer med gysing og med forankring av bolter, samt kan bidra til et korrosivt miljø.

Norsk sikringspraksis har vært, og er i stor grad basert på å gjøre vurderinger og foreta beslutninger etter hvert som berget avdekkes ("design as you go"). Bolter som virker øyeblikkelig, som endeforankrede bolter, brukes som arbeidssikring. Bolter brukt som arbeidssikring inngår som en del av den

permanente sikringen for berganlegget, og boltene skal være mulig å gyse med sementmørtel etter at de er innsatt.

Bruk av bolter gjøres derfor i stor grad ut fra valg av bolter som tilfredsstiller krav til lang levetid og er gyst der det ikke er bergtrykksproblemer.

I tillegg til senere erfaringer og undersøkelser er grunnlagsmaterialet til denne boken blant annet hentet fra tidligere utgitte bøker om bolting /1/, /2/, /3/.

2. Bruk av bolter

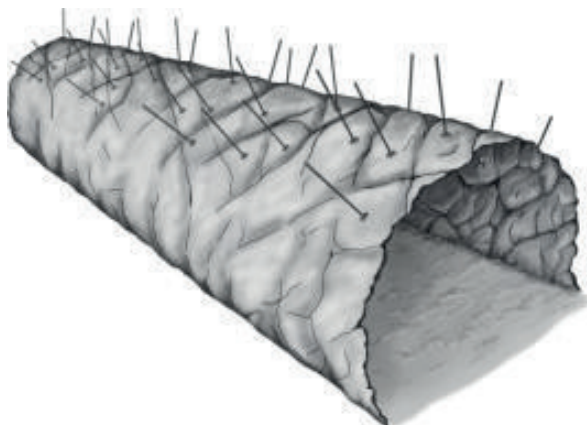
2.1. Sikringspraksis for tunnel og bergskjæring

Arbeidssikring installeres for å gi sikre og stabile arbeidsforhold under driving av tunnel, påhugg/forskjæring og bergskjæring. Permanent sikring installeres for å gi langtidsstabilitet, og dermed ivareta sikkerheten til brukerne over tid.

Bergsikringen dimensjoneres på grunnlag av ingeniørgeologiske forhold. Vurderinger som gjøres i forbindelse med sikring, innebærer observasjon av bergforholdene, herunder ingeniørgeologisk kartlegging og bergmasseklassifisering, eventuelle beregninger, og valg av sikringsmidler. Ut fra vurderingene som er gjort velges boltetyper, boltelengder, antall og plassering av bolten.

De ulike boltetyperne er presentert i kapittel 3. I dette kapitlet gis en kort beskrivelse av bruken av de vanligste boltene.

Til øyeblikkelig sikring eller arbeidssikring brukes hovedsakelig to typer bolter, enten kombinasjonsbolt med ekspansjonshylse eller endeforankret bolt med polyesterpatron. Boltene brukes som arbeidssikring fordi de gir hurtig virkning. Boltene kan forspennes og gir et aktivt trykk i bergmassen. Sprekkene presses sammen slik at friksjonen og dermed fastheten og stabiliteten i bergmassen øker.



Figur 2.1 Eksempel på spredt bolting

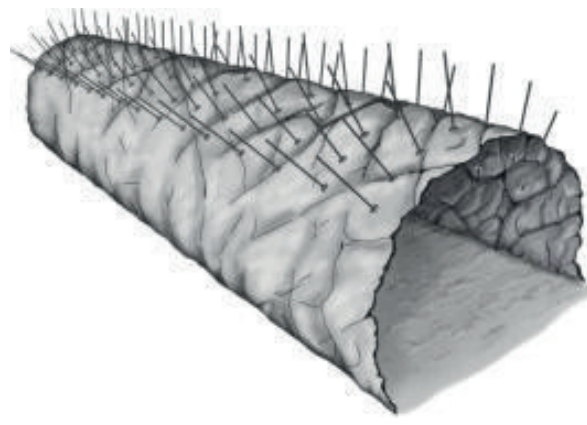
Til permanent sikring benyttes fullt innstøpte bolter, enten forspente kombinasjonsbolter eller ikke-forspente bolter, ut fra levetidsbetraktninger. Limte endeforankrede bolter kan brukes til permanent sikring ved høye bergspenninger. En bolt uten forspenning blir virksom etter hvert som berget deformeres.

De ulike boltemetodene som brukes i berganlegg kan deles inn i:

- Spredt bolting
- Systematisk bolting
- Forbolting (spiling)
- Bolting foran stuff

2.1.1. Spredt bolting

Ved spredt bolting settes hver bolt inn for å sikre en antatt ustabil blokk eller blokksamling, uten at boltene settes opp i et spesielt mønster (se figur 2.1). Spredt bolting brukes ofte i grovblokkig til moderat oppsprukket berg, med sikring av en avgrenset klart definert blokk eller blokksamling. Der løse blokker skal sikres, brukes bolter som gir rask forankring og forspenning. Fordybling er en form for spredt bolting, med fullt innstøpt kamstålbolt, som hovedsakelig virker på skjær.



Figur 2.2 Eksempel på systematisk bolting

2.1.2. Systematisk bolting

Ved systematisk bolting settes boltene inn i berget i bestemte mønstre. Det er vanlig å bruke samme avstand mellom boltene og bolterastene, c/c 1,0–2,5 meter (se figur 2.2). Systematisk bolting brukes vanligvis ved vanskelige bergforhold og/eller ved tett til moderat oppsprukket berg.

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

Systematisk bolting brukes som oftest i kombinasjon med sprøytebetong. Systematisk bolting utføres så langt det er mulig etter at sprøytebetongen er påført.

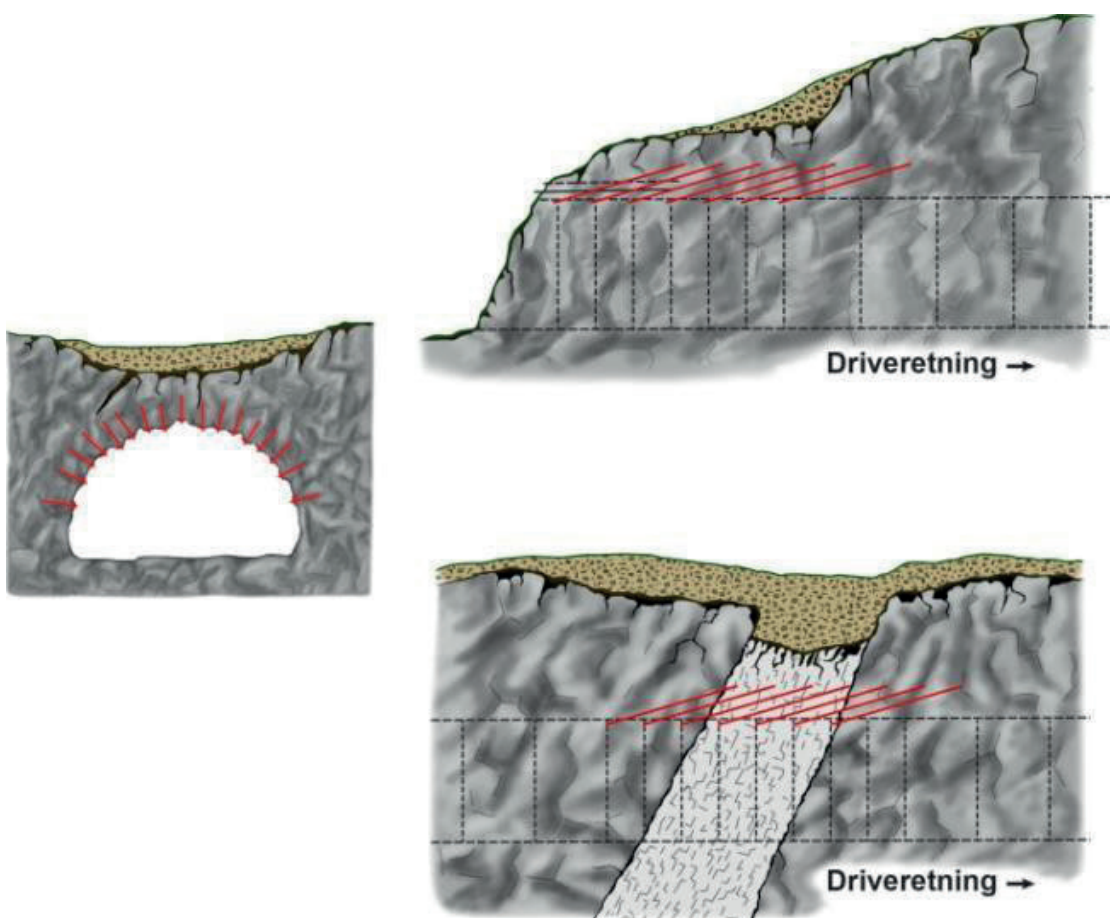
2.1.3. Forbolting

Forbolting (spiling) i tunnel brukes i spesielt dårlig berg (svakhetssoner) og ved liten bergoverdekning. Boltemetoden er også vanlig å bruke ved tunnel-påhugg. (Se figur 2.3 og 2.4).

Hensikten med forbolting er å bevare profilet etter sprengning og unngå ras i heng og stuff ved å danne en "bru" for de antatt ustabile massene som hviler mot forboltene. Forboltene skal holde profilet inntil annen sikring, som armerte sprøytebetongbuer, sprøytebetong og radielle bolter, er etablert.

Forboltene settes inn foran stuff og viftes ut fra tunnelaksen med en vinkel på 10–15°. Det er vanlig å bruke fullt innstøpte kamstålbolter $\varnothing 32$ mm, med 6–8 meters lengde (lengde $\approx 1\frac{1}{2}$ –2 ganger salvelengden). Bolteendene forankres/låses permanent av en armert sprøytebetongbue, eventuelt med midlertidige bergbånd festet med radielle bolter og som sprøytes inn. Bolteavstand kan være ned til 0,2–0,3 meter.

Skjermer med kamstålbolter $\varnothing 32$ mm eller selv-borende stag, kombinert med korte salver, kan brukes ved ekstra dårlig bergmasse der hullene raser sammen.

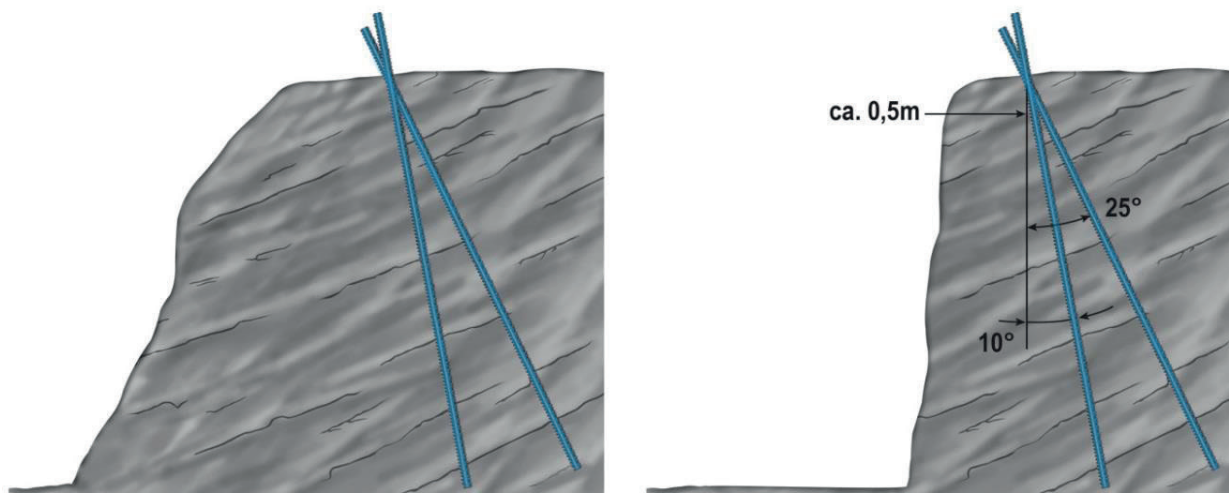


Figur 2.3 Eksempler på forbolting i tunnel

Forbolting i bergskjæring utføres etter en vurdering av totalstabiliteten, for å hindre utfall av blokk fra skjæringstoppen i forbindelse med sprengning eller saging. Avstand mellom forboltene, boltedimensjon og bolteretning vurderes normalt ut fra bergmassen, sprekkegeometri, blokkstørrelse og skjæringshøyde.

Forbolting bør spesielt vurderes ved sprengning eller saging av skjæring nært inntil spunt eller andre konstruksjoner, og for å bevare konturen.

Gyst kam, 32 eller 25mm, L = 6m, c/c = 1,0m

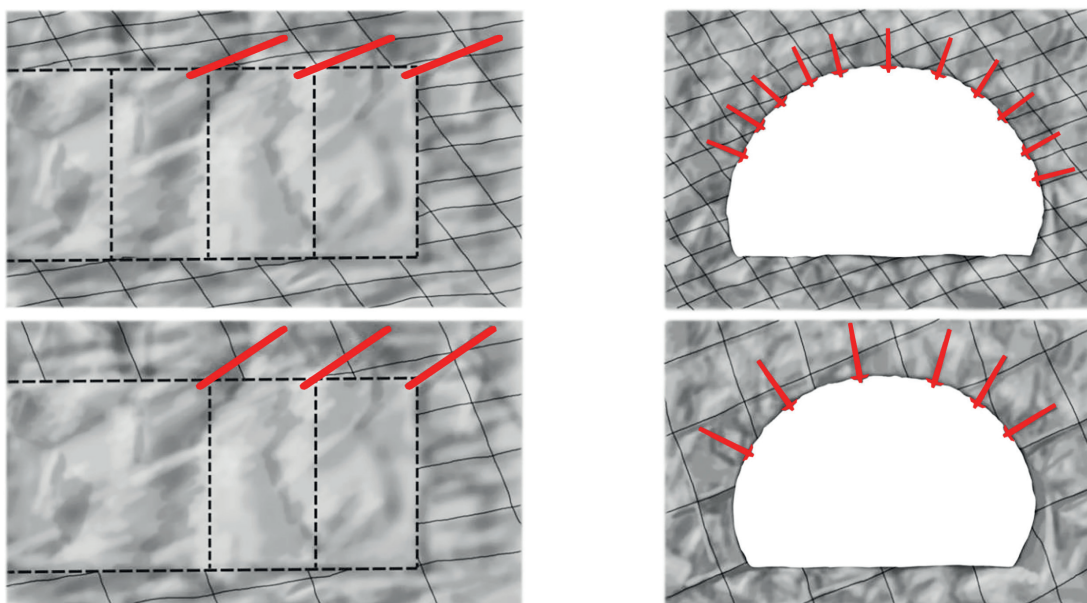


Figur 2.4 Eksempel på forbolting i skjæring eller tunnelpåhugg før sprengning (til venstre) og etter sprengning (til høyre)

2.1.4. Bolting foran stuff

Bolting foran stuff i tunnel brukes for å beholde profilet der geologi, strukturgeologi og sprekkeorientering gjør at det vil være fare for utfall av blokker utenfor tunnelprofilen ved salveskyting (se figur 2.5). Boltene

henges eller støttes opp i bakkant. Dette gjøres med radielle bolter og bergbånd som sprøytes inn, eller ved å understøtte med en sprøytebetongbue. Senteravstand mellom boltene kan være 0,4-0,7 meter. Vinkelen på boltene tilpasses sprekkegeometrien.



Figur 2.5 Eksempler på bolting foran stuff

2.2. Bergforhold og boltetyper

2.2.1. Bergforhold og stabilitet

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

1. Spenningsforhold: spenninger som berget til enhver tid står under som resultat av gravitasjon, bevegelser i jordskorpen (tektonikk), størkningspenninger, strukturgeologi, frisprenning av bergrom.
2. Materialeegenskaper: bergmassens egenskaper i videste forstand, som bergartens kornstørrelse, kornbinding, trykk- og strekkfasthet, elastisitet, mekanisk anisotropi, osv. Med materialeegenskaper menes også frekvens, ruhet, forvitringsgrad og sprekkefylling for sprekker og andre diskontinuiteter, samt sleppers og knusningssoners egenskaper.
3. Strukturgeologi og geometriske forhold: retningsbestemte faktorer som influerer på stabilitet. Retningsbestemte faktorer kan være innbyrdes orientering av sprekker, slepper og svakhetssoner og deres retning i forhold til tunnelen/bergrommet eller skjæringen og hovedspenningens orientering (spesielt viktig ved bergtrykksproblemer). Andre faktorer som inngår i geometriske forhold er spennvidde og overdekning for tunnelen eller bergrommet, bergskjæringshøyden og -lengden, samt terrenget bak skjæringen.
4. Vannforhold: vann på sprekker, sprekkevannstrykk, porevannstrykk i berget, grunnvannstand, gradienter i vannet på grunn av sprengningsarbeider, uttørking og oppfukning av berget, større vanninnbrudd, utspyling av sleppemateriale, osv. Med vannforhold menes også isdannelse. Vann i berget gir redusert stabilitet i tunnel/bergrom eller skjæring.

2.2.2. Bergforhold og sikringsmetode

En veiledende, forenklet inndeling av bergforhold og sikringsmetoder er vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1. Hovedgrupper av bergforhold der bolter brukes til sikring (for Q-verdier, se /4 /)

	Strukturer, bergforhold	Eksempler på sikringsmetode i tunnel	Eksempler på sikringsmetode i skjæring
Lite oppsprukket berg (Q = 100-10)	Midlere sprekkeavstand > 1 m	- spredt bolting - sprøytebetong for å slippe fremtidig rensk	- spredt bolting (av låseblokker)
Moderat oppsprukket berg (Q = 10-4)	Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m	- systematisk bolting - sprøytebetong	- spredt bolting - ev. bergbånd og steinsprangnett
Tett oppsprukket berg (Q = 4-1)	Midlere sprekkeavstand < 0,3 m	- systematisk bolting - sprøytebetong	- spredt eller systematisk bolting - bergbånd og steinsprangnett eller sprøytebetong (i høye skjæringer)
Lagdelt/skifrig berg (Q = 4-1)	Ett dominerende sprekkesystem	- systematisk bolting - sprøytebetong	- spredt eller systematisk bolting - bergbånd og steinsprangnett eller sprøytebetong (i høye skjæringer) - selvboende stag
Høye bergspenninger	Høye bergspenninger Bergtrykksproblemer	- systematisk bolting med endeforankrede bolter - sprøytebetong	- spredt eller systematisk bolting - ev. sprøytebetong - selvboende stag
Slepper og svakhetssoner	Oppknust berg med/uten svelleleire	- systematisk innstøpte bolter - forbolter og radielle bolter kombinert med sprøytebetong - armerte sprøytebetongbuer eller utstøping	- innstøpte bolter - sprøytebetong - bergbånd - ev. utstøping - selvboende stag

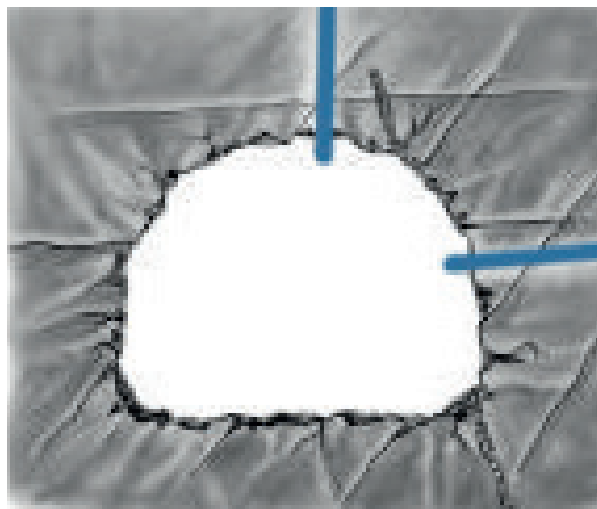
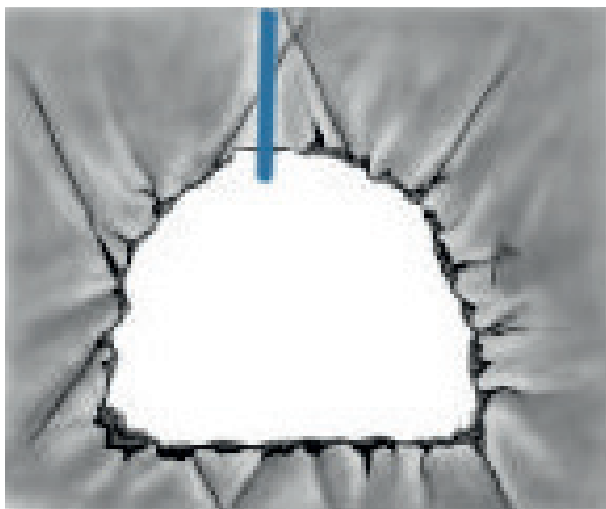
Stabilitetsproblemer er ofte kombinasjoner av flere av de seks hovedgruppene i tabell 2.1. I det etterfølgende knyttes kommentarer til sikring ved de ulike stabilitetsproblemene som er nevnt i tabellen. Dimensjonering i forbindelse med bolting er vist i kapittel 5.

Lite oppsprukket berg

Midlere sprekkeavstand er større enn 1 meter og sprekkenes eventuelle fyllingsmateriale overstiger ikke 20-30 mm.

Bolting i lite oppsprukket berg utføres normalt med spredt bolting (figur 2.6). Det innebærer blant annet

bolting av nøkkelblokker (låsing av nøkkelblokker gir ikke mulighet for utfall over eller bak disse).



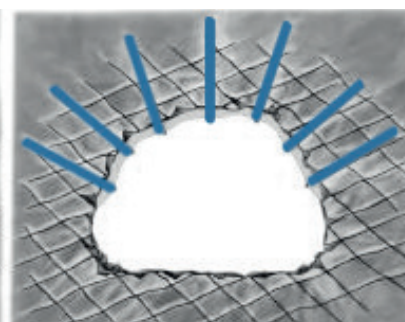
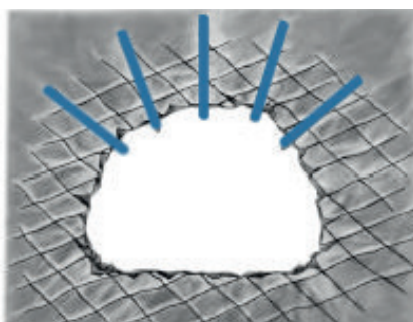
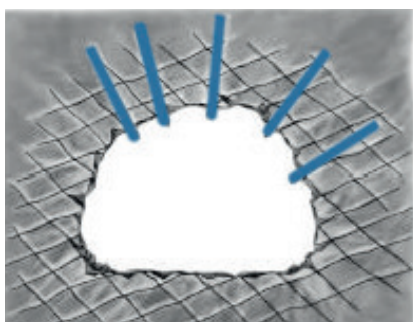
Figur 2.6 Eksempler på bolting i grovblokkig berg

Moderat oppsprukket berg

Midlere sprekkeavstand er 0,3 – 1 m og med minst to sprekkesett.

Bolting i moderat oppsprukket berg kan utføres med ulike boltetyper og -metoder (figur 2.7). Avhengig

av bergforholdene forøvrig, berganleggets bruksområde og krav til sikkerhet, kan det brukes både spredt og systematisk bolting, eventuelt i kombinasjon med bånd, nett eller sprøytebetong.



Figur 2.7 Eksempler på bolting i moderat oppsprukket berg

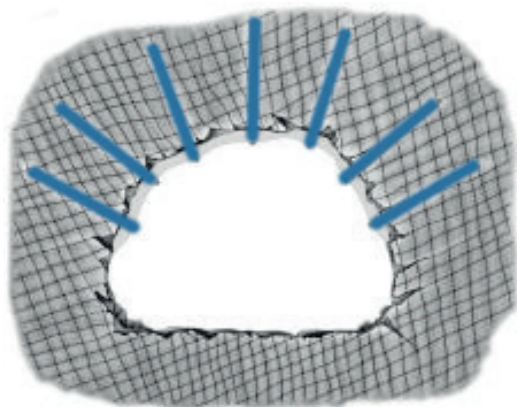
Tett oppsprukket berg

Midlere sprekkeavstand er mindre enn 0,3 m og med minst to sprekkesett.

Sprøytebetong i kombinasjon med bolter brukes ofte som tunnelsikring i tett oppsprukket berg (figur 2.8). I bergskjæringer brukes ofte steinsprangnett i kombinasjon med bolter.

Svake bergarter kan i mange tilfeller sikres med sprøytebetong og systematisk bolting, som for tett oppsprukket berg. Tykkelsen på sprøytebetong og bolteavstand tilpasses de stedlige bergforholdene.

Kan bruke selvboende stag i bergskjæringer.

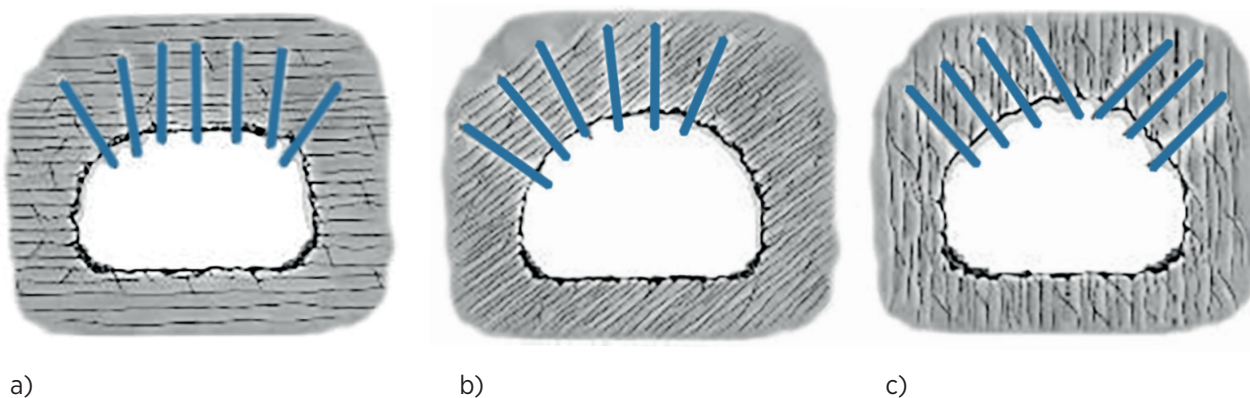


Figur 2.8 Eksempel på bruk av bolter og sprøytebetong i tett oppsprukket berg

Lagdelt/skifrig berg

Ett dominerende sprekkesystem som kan danne avløsningsflater. Bergmasse med kun ett gjennomsettende sprekkesett kan også inngå i denne gruppen. Bergarter som kan klassifiseres som lagdelte/skifrige er for eksempel 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 er avgjørende for valg og plassering av sikringsmidler (figur 2.9).

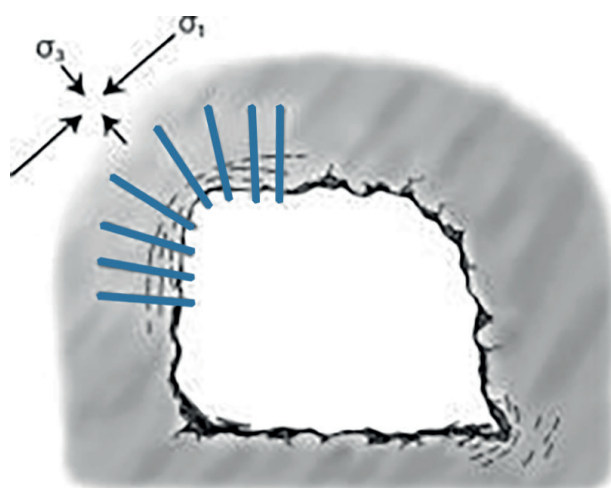


Figur 2.9 Eksempler på bolting i lagdelt/skifrig berg, a) horisontalt, b) skråtilt og c) vertikalt

Høye bergspenninger

Høye og/eller anisotrope spenninger kan gi sprakeberg, avskalling eller i verste fall bergslag. I slike tilfeller brukes endeforankrede bolter med stor bruddforlengelse og store trekantplater. Boltene suppleres ofte med nett, bånd og/eller sprøytebetong. Bergtrykksproblemer er et overflatefenomen (lagvis oppsprekking/avskalling), og det brukes korte bolter, vanligvis 3 meters lengde (figur 2.10). Boltene forspennes ikke, men mutteren strammes forsiktig til. Boltene spennes opp ved at bergmassen deformeres. Underlagsplatene skal ligge fast inntil bergoverflaten og ikke være løse.

Kan bruke selvboende stag i bergskjæringer.



Figur 2.10 Eksempel på bolting i sprakeberg

Tyteberg ("squeezing rock") er en type bergtrykksproblem som kan resultere i store deformasjoner. Tyteberg kan forekomme i bergarter og svakhetssoner med lav trykkfasthet og E-modul i forhold til bergspenningene. Tyteberg krever ofte tung sikring, som armerte sprøytebetongbuer supplert med radielle bolter eller armert betongutstøping rundt hele tunnelprofilen.

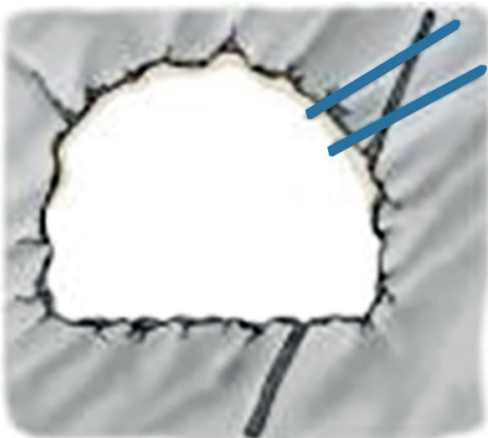
Slepper og svakhetssoner

Gjennomsettende slepper med fyllingsmateriale på $\geq 20\text{--}30\text{ mm}$, og svakhetssoner.

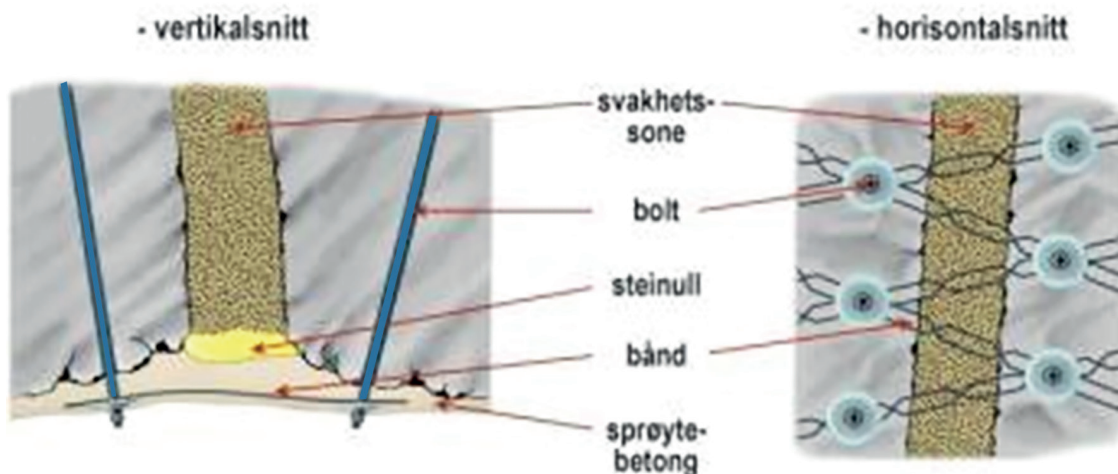
Sleppene vurderes som tilnærmet friksjonsløse, og sikring med innstøpte bolter utføres for å låse sleppene og dermed hindre bevegelse (figur 2.11).

Mindre svakhetssoner ($< 1\text{ m}$) som inneholder svelleleire har i en del tilfeller blitt sikret med bolter, bånd og fiberarmert sprøytebetong som vist i figur 2.12.

I bergskjæringer brukes ofte selvborende stag.



Figur 2.11 Sikring av sleppe oppe til høyre



Figur 2.12 Eksempler på bolting i slepper og svakhetssoner

Det kan vurderes å plassere deformerbart materiale (f.eks. PE-skum) inn mot sonen med svelleleire. Funksjonen til det deformerbare materialet er å tillate noe svelling for å redusere trykket på sikringen. Det vanligste er å sikre slike soner med armerte sprøytebetongbuer, antall buer vurderes ut fra tykkelse og retning på sonen for å låse/hindre bevegelse i sleppe. Ved store vannlekkasjer er det viktig å bore drenasjehull, spesielt i skjæring, der det dekkes med sprøytebetong. Dette er vist i figur 2.12.

Ved spesielt aktiv svelleleire eller ved sikring av større knusningssoner, brukes armerte sprøytebetongbuer med liten avstand eller betongutstøping.

2.2.3. Valg av boltetyper ved ulike bergforhold

Krav til permanent sikring ved ulike berganlegg varierer ut fra bruksområder og sikringsnivåer for berganleggene. Bolter endeforankret med ekspansjonshylse var for eksempel vurdert gode nok som permanente bolter i tilførselstunneler til vannkraftverk /5/, men er ikke tillatt som permanentsikring i vegtunneler. Bolter endeforankret med innstøpningsmasse (som regel utført ved bruk av polyesterpatroner) er tillatt i områder med bergslag siden innstøpte bolter ikke er hensiktsmessige ved slike bergforhold /6/. Som permanent sikring i bergskjæringer på veganlegg benyttes kun unntaksvis endeforankrede bolter.

Valg av boltetype ut fra bergforhold er i tabell 2.2 delt inn i tre kategorier: anbefalt, kan brukes eller frarådes, basert på norske erfaringer og vurderinger.

Tabell 2.2 Valg av boltetyper ved ulike bergforhold (for Q-verdier, se /4 /)

	Bolt endeforankret med ekspansjonshylse	Bolt endeforankret med polyester	Fullt innstøpt bolt (ikke forspent) ^{1,2)}	Kombinasjonsbolt (forspent og innstøpt) ²⁾
Lite oppsprukket berg (Q = 100-10)	anbefales	anbefales	anbefales	anbefales
Moderat oppsprukket berg (Q = 10-4)	anbefales	anbefales	anbefales	anbefales
Tett oppsprukket berg (Q = 4-1)	frarådes	kan brukes	anbefales	anbefales
Lagdelt/skifrig berg (Q = 4-1)	kan brukes	anbefales	anbefales	anbefales
Høye bergspenninger	kan brukes	anbefales	frarådes	frarådes
Slepper og svakhetssoner	frarådes	kan brukes	anbefales ³⁾	kan brukes ³⁾

1) Sementbasert mørtel har relativt lang herdetid.

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

3) Kan være for stiv ved svelleleirerike soner.

I det følgende gis utdypende kommentarer til tabell 2.2. I tillegg knyttes noen kommentarer til friksjonsbolter, som det er liten praktisk erfaring med i Norge.

(a) Bolter endeforankret med ekspansjonshylse anbefales ikke:

- i svake bergmasser der bergartstypen eller sprekkefyllingen kan ha effekt på forankringskapasiteten, eller i sterkt oppsprukket berg
- i svært harde bergarter uten at forankringskapasiteten kontrolleres
- i nærheten av sprengningsaktivitet der forspenningen kan mistes/løsne, hvis ikke boltene etterstrammes bak stoff

- for å motstå skjærbevegelser i berget 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.

(b) Bolter endeforankret med polyester anbefales ikke:

- i sterkt oppsprukket berg, krever i så fall økt forankringslengde og kontroll av forankringskapasiteten

- i borehull med løse eller skarpe partikler hvis ikke polyesterpatronen beskyttes med ekstra netting. Alternativet er å bruke to patroner eller bore nytt hull.
- for å motstå skjærbevegelser i berget 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.

(c) Fullt innstøpte, ikke-forspente bolter anbefales ikke:

- i borehull med kontinuerlig rennende vann
- til øyeblikkelig sikring (ved bruk av sement-basert mørtel)
- ved store deformasjoner i berget (kan bolten være for stiv).

(d) Kombinasjonsbolter anbefales ikke:

- i borehull med kontinuerlig rennende vann, med mindre det er påmonterte pakninger.
- ved store deformasjoner i berget (kan bolten være for stiv).

Friksjonsbolt type Swellex er ikke anbefalt:

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

Friksjonsbolt type Split Set er ikke anbefalt:

- som permanent sikring
- for å motstå skjærbevegelser i berget når en stiv bolt er ønskelig, for eksempel ved blokkbolting i en bergskjæring (bolten har stor evne til å ta opp skjærdeformasjon, men har lav skjærkapasitet)
- der det er vanskelig å kontrollere hulldiametere.

2.3. Bolter i kombinasjon med andre sikringsmidler

Bolter alene er brukt i eldre vegtunneler og i gruver og vannkrafttunneler i grovblokkig til moderat oppsprukket berg, i noen grad i lagdelt, skifrig berg og ved sprakeberg. I bergskjæringer benyttes bolter alene vanligvis i grovblokkig til moderat oppsprukket berg, og ellers i kombinasjon med betong, nett, bånd og stag. Andre sikringsmidler er bånd, nett, sprøytebetong, armerte sprøytebetongbuer og betongutstøping.

Valg av sikringsmidler og -mengde baseres hovedsakelig på de stedlige bergforholdene, og er ofte produksjonstilpasset. Valget varierer også med type berganlegg og sikringsnivået for anlegget.

2.3.1. Bolter, bånd og nett

Ved dimensjonering ivaretar boltene totalstabiliteten, mens nett og bånd skal hindre nedfall av mindre stein mellom boltene. Avstanden mellom nettboltene bør ikke være for stor, for å unngå lommer i nettet. I tunneler og bergrom benyttes i hovedsak fiberarmert sprøytebetong. Tidligere har det vært brukt flettverksnett (50 x 50 x 3 mm). Nettet er mindre stivt og dermed lettere å håndtere enn et steinsprangnett, men er ikke anbefalt. Fordelen med steinsprangnettet, er at det ikke rakner selv om nettingen ryker. Det finnes i dimensjonene 80x100x2,7/3,7mm (2,7mm er uten plastbelegg, 3,7mm er med plastbelegg)

Steinsprangnett brukes ofte i skjæringer i tett til moderat oppsprukket berg. Nettet kan suppleres med bergbolter og eventuelt forsterkes med bergbånd. Steinsprangnett gir god drenering. Bolter i kombinasjon med bergbånd brukes ofte til å "sy" sammen større og mindre bergblokker i bergskjæringer.

2.3.2 Bolter og sprøytebetong

Fiberarmert sprøytebetong brukes i kombinasjon med bolter for å sikre og forsterke bergmassen. Sprøytebetong er et fleksibelt materiale som kan brukes til ulike sikringsmetoder ved de fleste bergforhold. Sprøytebetongen skal trenge inn i åpne sprekker og jevne ut uregelmessigheter i overflaten. Sprøytebetong hindrer også vann i å vaske ut finstoff og småstein, og kan brukes til å forsegle mindre leirsoner. Et sprøytebetonglag vil ha kileeffekt, og i tillegg gi sammenbinding og heft til bergmassen. Ved tykke lag, som for eksempel i sprøytebetongbuer, kan sprøytebetongen gi hvelvvirkning.

Bruk av sprøytebetong og valg av sprøytebetongtykkelse avhenger blant annet av sikringsnivået på berganlegget. Endeforankrede bolter brukes ofte i kombinasjon med fiberarmert sprøytebetong ved bergtrykksproblemer. Der en lite oppsprukket bergmasse har markerte (gjennomsettende) sprekker/slepper, bør bolter installeres før sprøytebetong påføres. Ved kontroll av permanent sikring sjekkes sprøytebetonglaget for oppsprekking og bompartier, og eventuell supplerende bolting eller sprøyting vurderes.

2.4. Sikring ved spesielle forhold

I tillegg til mulige stabilitetsproblemer ved ulike bergforhold (2.2.1) kan andre forhold virke inn på valg av sikringsopplegg:

- 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 (fullprofilboring eller konvensjonell drift)
- rensk
- boring
- sprengning

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

2.4.1. Boring og sprengning

Nøyaktig boring er viktig for å få en jevn kontur. Unøyaktig boring og uforsiktig lading, resulterer ofte i baksprengning, utfall og dannelse av "spir" og "knøler", som har betydning for endelig sikringsomfang.

Utførelse av sprengning har innvirkning på sikringsomfanget. Forsiktig sprengning med redusert ladning i konturhullene og nest ytterste rad, evt med sømboring, er viktige faktorer som hindrer dannelse av sprengningsriss og -sprekker. Forsiktig sprengning kan redusere bolteomfanget /7/, /8/.

2.4.2. Rensk

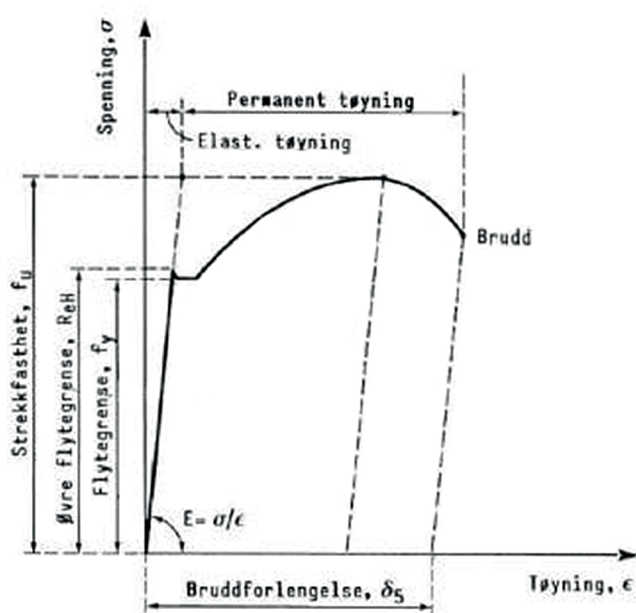
Rensk er en viktig del av sikringsarbeidet. God rensk gir økt sikkerhet under boltearbeidet og reduserer muligheten for nedfall og behovet for fysiske sikringsmidler. Ved bergtrykksproblemer bør rensken utelates og bolter og eventuelt andre sikringmidler brukes direkte.

Håndrensk med spett gir mulighet for å bli "kjent" med berget. Spyleren sk avdekker berget og gjør det lettere å vurdere sikringsomfanget. Rensk utføres også mekanisk med for eksempel gravemaskin påmontert hydraulisk pigghammer, bergfres etc. Maskinell rensk kan gi fare for nye riss og sprekker.

Generelt bør all maskinrensk kontrolleres med manuell spetterensk.

3. Boltetyper

I de etterfølgende underkapitler er det tatt med et utvalg av ulike boltetyper. Boltene er vist med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper. Det er likevel viktig at man setter seg inn i de tekniske data og bruksområder som beskrives i produktdatablad for den enkelte bolt. Betegnelser og navn på ulike bolter varierer mellom de ulike leverandørene. Vi har inkludert et utvalg fra ulike leverandører. Det henvises til full produktoversikt fra den enkelte leverandør som stort sett er tilgjengelig i kataloger på leverandørenes nettsider.



Figur 3.1 Spennings-tøyningsdiagram for stål, etter NS-EN 10088 /9/

For σ - ϵ - kurven i figur 3.1 gjelder:

f_y = flytegrense

f_u = bruddspenning

$f_{0.2}$ = spenning som gir 0,2 % permanent tøyning

δ_5 = bruddforlengelse

A_g = prosentvis total forlengelse ved maksimal kraft
/9/

Figur 3.1 viser spennings-tøyningskurve ved strekkprøving av bolt av duktilt karbonstål. Dette er inkludert i denne boken, da egenskapene til stål generelt er viktig kunnskap når man skal forstå bruken av ulike bolter til ulike formål.

3.1. Endeforankrede bolter

Endeforankrede bolter brukes ved behov for hurtig sikring (for eksempel på stuff) og for å øke innspenning av berget. Forspenning av boltene fører til større friksjon på sprekkene og gir berget høyere fasthet. Endeforankrede, forspente bolter betegnes som aktive bolter. Boltene forankres med en ekspansjonshylse, polyester eller mørtel innerst i et boltehull. Forspenningen skjer ved at en mutter dras til mot underlagsplaten, som igjen presses mot bergoverflaten. Dette gir et strekk i boltene.

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

Boltestålet er som regel rundstål eller kamstål. Der kammene er er frest bort er det mindre tverrsnitt i gjengepartiet enn i boltestammen. En konsekvens er at overbelastning gir flyt og brudd i gjengepartiet før boltestammen er fullt aktivisert.

Hovedtyper av endeforankrede bolter:

- Bolt forankret med ekspansjonshylse (3.1.1)
- Polyesterforankret bolt (3.1.2, 3.1.3)
- Bolt endeforankret med mørtel (3.1.4)

3.1.1. Bolt forankret med ekspansjonshylse



Bruksområde

Kan brukes i middels hardt til hardt berg der det er behov for øyeblikkelig sikring og for innspenning av berget. Brukes ikke i sterkt oppsprukket berg. Mye brukt i vanntunneler. Bolten gjøres aktiv ved at den blir forspent.

Montering

Bolteenden med ekspansjonshylse skyves inn i boltehullet. Bolten strammes opp ved å trekke til mutteren mot underlagsplaten. Se også kapittel 4.3.

Fordeler

Rask å montere. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Rask forspenning. Høy belastningskapasitet i godt berg. Bolten kan strammes opp igjen om den løsner.

Ulemper

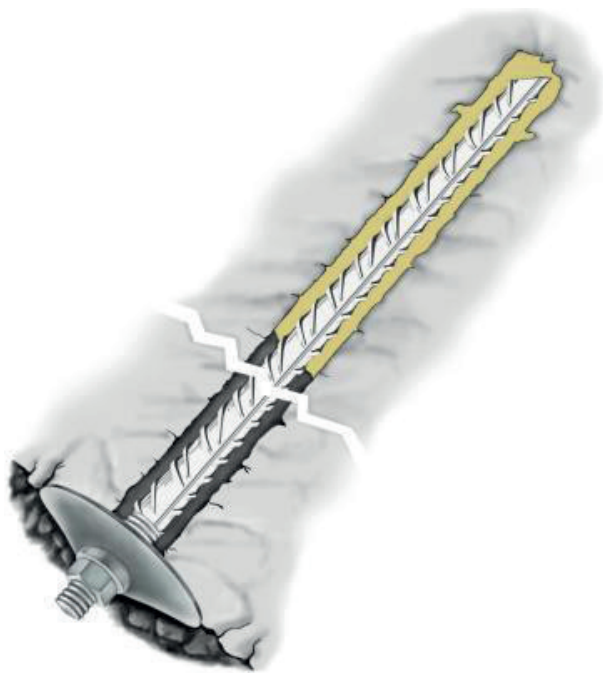
Gir dårlig forankring i svake bergarter, sterkt oppsprukket berg og svakhetssoner. Kan gi dårlig forankring i svært harde bergarter, og forankringen bør da kontrolleres. Kan miste forspenningen på grunn av rystelser fra sprengning og avskalling under underlagsplaten, og bolten bør da spennes opp igjen.

Materiale	Kampstål
Betegnelse	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	33-52
Diameter [mm]	16-20
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	79-123
Bruddlast [kN]	94-147
Grensetøyning [A_{gt}]	8 %
Vekt [kg/m]	1,6-2,5

Materiale	Rundstål
Betegnelse	St 37/S235
Hulldiameter [mm]	33-52
Diameter [mm]	16-20
Flytgrense [MPa]	225
Flytelast [kN]	45-71
Bruddlast [kN]	72-113
Grensetøyning	26 %
Vekt [kg/m]	1,6-2,5

Lengde [m]	1,5 - 6
Korrosjonsbeskyttelse Varmforsinket Varmforsinket og pulverlakkert	
Forankring Ekspansjonshylse, underlagsplate, halvkule og mutter	

3.1.2. Polyesterforankret bolt - boltehull Ø25-Ø32 mm



Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	25-32
Diameter [mm]	20
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	157
Bruddlast [kN]	189
Grensetøyning [A_{gt}]	8 %
Vekt [kg/m]	2,5
Lengde [m]	1,5 - 8

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Polyesterpatron, underlagsplate, halvkule og mutter

Bruksområde

Brukes både i harde og svake bergarter. Kan tillate noe oppsprukket berg, men polyester kan gi dårlig feste i tett oppsprukket berg eller svake/løse bergarter. Brukes der det er behov for rask sikring og for innspenning av berget. Godt egnet i sprakeberg. Boltene blir aktive ved forspenning.

Montering

Polyesterpatronen skyves inn til hullbunnen ved hjelp av boltene eller en ladekjepp. Boltene roteres og mates sakte gjennom polyesterpatronen. Boltene forspennes (i sprakeberg strammes mutteren inntil underlagsplaten, men boltene skal ikke forspennes). Se også kapittel 4.4.

Fordeler

Gir rask sikring etter installasjon, mulighet for forspenning etter 4-5 minutter for de hurtigste polyesterpatronene.

Ulemper

Det er flere muligheter for feilmontering: avhenger av riktig tilpassede dimensjoner på bolt, polyesterpatron og borehull, samt riktig rotasjonstid og -hastighet (se også montering, kap. 4.4). 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.

3.1.3. Polyesterforankret bolt - Boltehull Ø43-Ø48 mm



Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	43-48
Diameter [mm]	20
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	123
Bruddlast [kN]	147
Grensetøyning [A_{gt}]	8 %
Vekt [kg/m]	2,5
Lengde [m]	1,5 - 8

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Polyesterpatron, underlagsplate, halvkule og mutter

Bruksområde

Kan brukes både i harde og svake bergarter. Polyesterpatroner kan gi dårlig feste i tett oppsprukket berg eller svake/løse bergarter. Brukes der det er behov for rask sikring og for innspenning av berget. Godt egnet i sprakeberg. Mye brukt i vegtunneler. Bolten blir aktiv ved forspenning.

Montering

Polyesterpatronen skyves inn til hullbunnen ved hjelp av bolten. Bolten med underlagsplate, halvkule og mutter roteres og mates gjennom polyesterpatronen. Bolten forspennes ved å stramme mutteren mot underlagsplaten. (I sprakeberg strammes mutteren inntil, men bolten skal ikke forspennes). Se også kapittel 4.4.

Fordeler

Boltene er utviklet for å kunne bruke samme bore-rigg/borkrone til lade- og boltehull. Blandemekanismene (propeller) gjør at polyestere og herderen blandes i borehull 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).

Ulemper

Flere muligheter for feilmontering: avhengig av riktig tilpassede dimensjoner på bolt, polyesterpatron og borehull, samt riktig rotasjonstid og -hastighet, se også montering, kap. 4.4.

Forspenningen kan reduseres på grunn av avskalling under underlagsplaten, bolten bør da etterstrammes. Monteringspersonell må oppholde seg under usikret heng under rotering og reversering (ca. 1 minutt). Uherdet polyester har begrenset lagringstid.

3.1.4. Bolt endeforankret med mørtel



Materiale	Kamstål
Betegnelsen	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	30-52
Diameter [mm]	20 og 25
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	123 og 177 *
Bruddlast [kN]	147 og 212
Grensetøyning [A_{gt}]	8 %
Vekt [kg/m]	2,5 og 3,9
Lengde [m]	1,5 - 6

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert
*Kapasitet gjenger

Forankring

Mørtelpatron (er)
Perfohylse (kort hylse innerst i borehullet)
Underlagsplate, halvkule og mutter

Bruksområde

Brukes ved små boltearbeider der det ønskes innstøpning med sementmørtel.

Montering

En vannmettet mørtelpatron føres inn i hullet med boltene. Boltene presses gjennom mørtelen. Mutteren skrues inn til endeplaten og boltene forspennes etter at mørtelen har herdet. (Ved bruk av flere patroner kan boltene gis full innstøpning, de skal da ikke forspennes.)

Endeforankring med perfohylse, se kapittel 4.5.

Fordeler

Enkel å montere. Trenger ikke spesialutstyr ved montering. Boltene kan forspennes når mørtelen har herdet.

Ulemper

Herdetid for mørtel. Forankringslengden er avhengig av korrekt hulldybde og -diameter.

3.2. Fullt innstøpte bolter

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

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

Ved montering fylles boltehullet med innstøpningsmiddel før boltene skyves inn. Kamstål er vanlig som boltestål. I Norge brukes normalt sementbasert mørtel som innstøpningsmiddel, men polyester kan også benyttes. Der det brukes underlagsplate, halvkule og mutter skal mutteren bare strammes inntil. Fullt innstøpte bolter skal ikke forspennes.

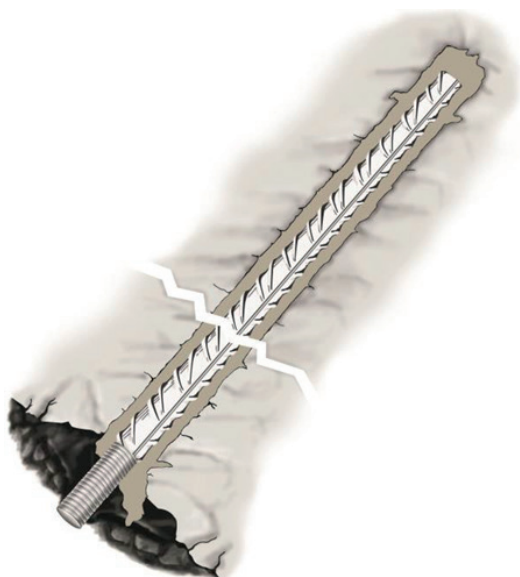
Full innstøpning gir økt korrosjonsvern. Brudd i mørtelen, utvasking av mørtel på grunn av rennende vann, luftlommer og usentrisk beliggenhet av boltene i boltehullet gjør at mørtel som eneste korrosjonsvern ikke alltid er tilstrekkelig. Korrekt montering stiller store krav til mørtelens konsistens og sammensetning.

Ulike fullt innstøpte bolter er vist i det følgende med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

Hovedtyper av fullt innstøpte bolter:

- Mørtelinnstøpt kamstålbolt (3.2.1)
- Perfobolt (3.2.2)
- Polyesterinnstøpt bolt (3.2.3)

3.2.1. Mørtelinnstøpt kamstålbolt



Bruksområde

Kan brukes i alle bergarter og oppsprekkingsgrader. Er en stiv boltetype og derfor ikke egnet ved store deformasjoner, f.eks. ved høye bergtrykk (sprakeberg). Mye brukt til systematisk bolting bak stoff og forbolting. Bolten er godt egnet til sikring i bergskjæringer.

Montering

Mørtel pumpes inn i boltehullet med en mørtelpumpe. Bolten presses deretter inn i hullet. Se også kapittel 4.5.

Fordeler

Relativt rask montering bak stoff. Fullt innstøpte bolter gir høy lastkapasitet ved ulike bergforhold. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen. Lite egnet ved kontinuerlig rennende vann i borehullet. Kontroll av mørtelkvaliteten er vanskelig. Godt innstøpningsresultat er avhengig av korrekt montering, spesielt bruk av riktig mørtelkonsistens.

Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	30-52
Diameter [mm]	20 og 25 (25 og 32 ved forbolting)
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	157 og 245
Bruddlast [kN]	189 og 295
Bruddforlengelse	Fullt innstøpt - stivt system
Vekt [kg/m]	2,5 og 3,9
Lengde [m]	0,8-8

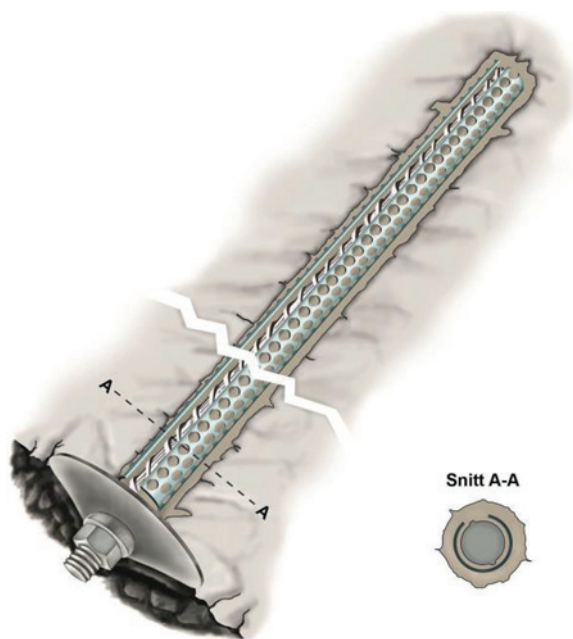
Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Sementmørtel

3.2.2. Perfobolt



Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	33-38
Diameter [mm]	20 og 25
Perforør [mm]	29
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	157 og 245
Bruddlast [kN]	189 og 295
Bruddforlengelse	Fullt innstøpt -stivt system
Vekt [kg/m]	2,5 og 3,9
Lengde [m]	0,8-8

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Sementmørtel

Bruksområde

Kan brukes i alle bergarter og oppsprekkingsgrader (ikke sprakeberg). Perfobolten er tidligere mye brukt, i dag brukes den i noen grad ved mindre boltearbeider. Korte perfolengder kan brukes til å danne ankerfeste for endeforankrede bolter.

Montering

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 borehullsvegg fylles. Se forøvrig kapittel 4.5.

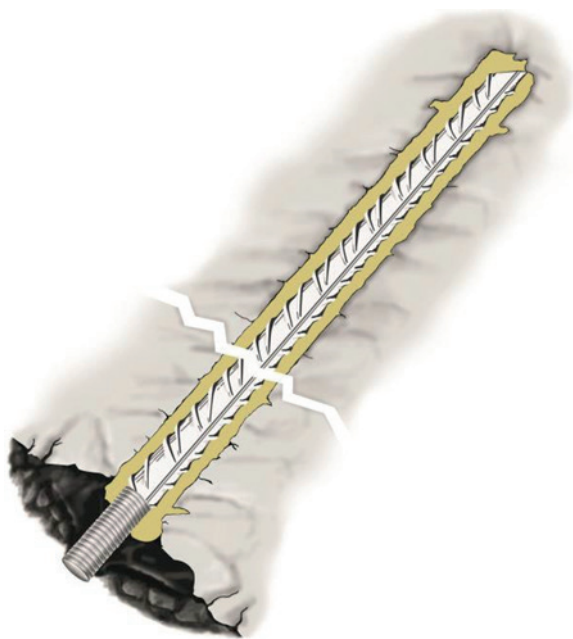
Fordeler

Gir god forankring i alle bergarter. Enkel å bruke dersom dimensjonen på bolten og perforøret er riktig tilpasset boltehullet. God kontroll av forankringen. Krever ikke pumpeutstyr ved montering. Full innstøpning gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Tidkrevende og lite produksjonsvennlig montering. Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen, og er derfor 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.

3.2.3. Polyesterinnstøpt bolt



Bruksområde

Kan brukes i de fleste bergarter og oppsprekkingsgrader. Sikringssystemet kan gjøres aktivt ved bruk av hurtigherdende polyester innerst i børehullet og forspenning. Bolter som er fullt innstøpt med polyester, brukes ikke i sprakeberg. Injisering med polyestermasse brukes i utlandet. Full innstøpning med polyester er lite brukt i Norge (er brukt på Svalbard).

Montering

Boltene injiseres med polyestermasse. For boltelengder opp til 2 meter kan polyesterpatroner skyves inn i hullet, bolten roteres så inn. Ved bruk av hurtigherdende polyester innerst og sakteherdende ytterst kan boltene forspennes. For montering, se også kapittel 4.4.

Fordeler

Bolten gir raskt virkning etter installasjon om det brukes hurtigherdende polyester. Innstøpningen gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Det kreves spesialutstyr for å injisere polyester på en slik måte at man unngår søl og at det blir riktig herding rundt hele boltens lengde.

Materiale	Kamstål
Betegnelsen	B500NC etc.
Hulldiameter [mm]	30-45
Diameter [mm]	20 og 25
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	157 og 245
Bruddlast [kN]	189 og 295
Bruddforlengelse	Fullt innstøpt -stivt system
Vekt [kg/m]	2,5 og 3,9
Lengde [m]	0,8-6

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Injisering av polyestermasse
Polyesterpatroner for bolter opp til ca 2 meter

3.3. Kombinasjonsbolter



Materiale	Rørstål
Betegnelse	S355
Hulldiameter [mm]	45-48
Diameter [mm]	25
Stålareal [mm²]	314
Flytegrense [MPa]	345
Flytelast [kN]	108
Bruddlast [kN]	-148
Bruddforlengelse	20% før innstøpning
Vekt [kg/m]	2,5 og 3,9
Lengde [m]	1,5-6

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Ekspansjonshylse + mørtel
Underlagsplate, halvkule og mutter

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 boltene forspennes før innstøpning.

Kombinasjonsbolter kan brukes ved de fleste bergforhold. Unntaket er ved store deformasjoner, som ved høye bergtrykk (sprakeberg). Forspenning og ettergysing gjør bolten svært stiv. Ved store deformasjoner konsentreres derfor spenningene mer og kan føre til brudd i boltene.

Mørtelen gir økt korrosjonsvern, og boltetypen er mye brukt i svært korrosivt miljø, for eksempel undersjøiske 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 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 stoff. 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 innstøpningen.

Ulike kombinasjonsbolter er vist i det følgende med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

Hovedtyper av kombinasjonsbolter:

- Rørbolt (3.3.1)
- Endeforankret og ettergyst bolt (3.3.2)
- CT-bolt (3.3.3)
- NC-bolt (3.3.4)
- Fin-bolt (3.3.5)

3.3.1. Rørbolt

Bruksområde

Kan brukes ved de fleste bergforhold. Brukes når både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Mye brukt i undersjøiske tunneler.

Montering

Bolten endeforankres med ekspansjonshylse. En mørtelsslange kobles på bolteenden, og mørtel pumpes opp innvendig i røret og fyller boltehullet. Se også kapittel 4.5. Der bolten sprøytes inn før den ettergyses iverksettes ekstratiltak, f.eks. kan bolteenden forsynes med en mørtelsslange og en slange i skiven for utlufting.

Fordeler

Gir øyeblikkelig sikring. Permanent sikring etter innstøpning. Innstøpning gir økt korrosjonsvern.

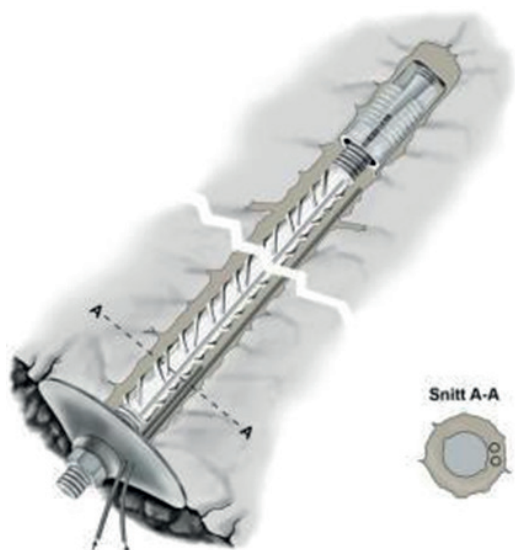
Ulemper

Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i svake bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket berg. Det er viktig å være nøye med mørtelkonsistensen for at mørtelen ikke renner ut når gyseslangen tas av bolten. Ved korrosjon av ekspansjonshylsen, og/eller ved korrosjon mellom boltegjenger og gjenene i ekspansjonshylsen får bolten svekket kapasitet. Dette på grunn av at den glatte stammen ikke gir en tilstrekkelig forankring i gysemassen.

Anmerking

Bolten har tidligere vært brukt som permanent sikring ved veganlegg.

3.3.2. Endeforankret og ettergyst bolt



Bruksområde

Kan brukes ved de fleste bergforhold. Brukes der både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Brukt bl.a. i undersjøiske tunneler. Bolten blir aktiv ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.

Montering

Bolten monteres som en endeforankret bolt og ettergyses. Ved innstøpning brukes polyuretanskum mellom underlagsplaten og bergoverflaten, samt utluftings- og gyseslange. Se også kapittel 4.5.

Fordeler

Gir øyeblikkelig eller hurtig sikring. Innstøpning gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i svake bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket berg. Midlertidig sikring med polyesterpatroner kan gi dårlig feste i tett oppsprukket berg eller svake bergarter. Kvaliteten på polyesterforankring er avhengig av korrekt montering.

Materiale	Kamstål Rundstål
Betegnelse	B500NC St37/S235
Hulldiameter [mm]	45-52
Diameter [mm] Stålareal [mm²]	16 og 20 314
Flytegrense [MPa]	500 225
Flytelast kamstål [kN] Flytelast rundstål [kN]	101 og 157 45 og 71
Bruddlast kamstål [kN] Bruddlast rundstål [kN]	121 og 189 72 og 113
Grensetøyning [A_{gt}] Bruddforlengelse	8% 26%
Vekt [kg/m]	1,6-2,5
Lengde [m]	1,5-6

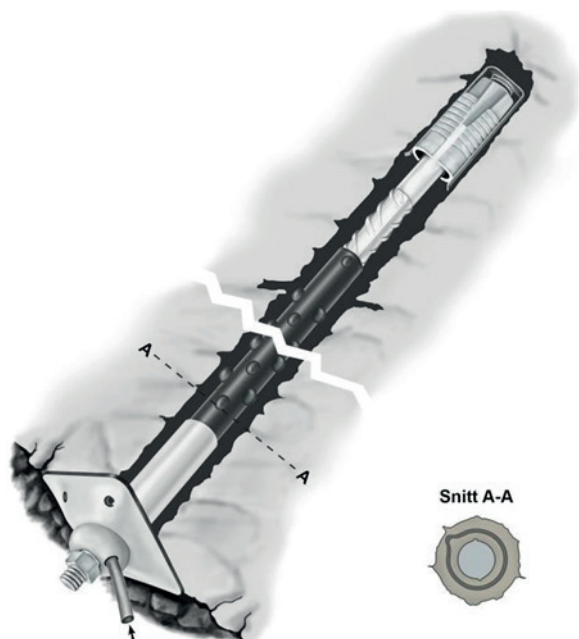
Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Ekspansjonshylse og mørtel
Polyester og mørtel
Underlagsplate, halvkule og mutter

3.3.3. CT-bolt (Ulike diame)



Bruksområde

Kombinasjonsbolt som kan brukes ved de fleste bergforhold. Brukes der både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Etter innstøpning blir bolten forseglet inne i plastrøret, som gir svært god korrosjonsbeskyttelse og gjør bolten godt egnet for undersjøiske tunneler. Bolten blir aktiv ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.

Montering

Bolten endeforankres med ekspansjonshylse. Ved hjelp av et gysemunnstykke, som kobles til hullet i halvkulen, pumpes mørtelen opp gjennom plastrøret til enden av bolten og videre på utsiden av røret til mørtelen kommer ut rundt underlagskiven. Der bolten dekkes med sprøytebetong før den blir gyst, festes på forhånd en mørtelslange til halvkulen og en til underlagskiven.

Fordeler

Gir øyeblikkelig sikring ved endeforankring. Permanent sikring etter innstøpning. Plastrøret gir en forsegling av bolten og lang levetid på grunn av økt korrosjonsvern.

Ulemper

Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i svake bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket berg.

Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC
Hulldiameter [mm]	43-52 52-63 64-70
Diameter [mm]	20 22 32
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast kamstål [kN]	157 237 416
Bruddlast kamstål [kN]	189 296 482
Grensetøyning [A_{gt}]	8% (før innstøpning)
Vekt [kg/m]	2,4 4,1 7,3
Lengde [m]	1,5-8 1,5-8 1,5-12

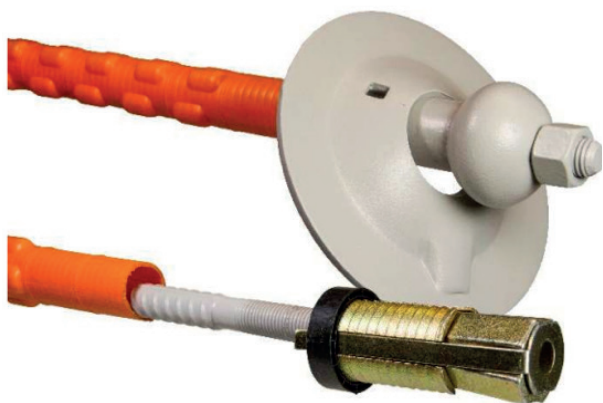
Korrosjonsbeskyttelse

Plastrøret rundt boltestammen
Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Ekspansjonshylse og mørtel
Alternativt polyester og mørtel
Underlagsplate.
Spesialhalvkule og mutter følger

3.3.4. NC-bolt (Ulike diametre og betegnelser)



Bruksområde

Kombinasjonsbolt som kan brukes ved de fleste bergforhold. Brukes der både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Etter innstøpning blir bolten forseglet inne i plastrøret, som gir svært god korrosjonsbeskyttelse og gjør bolten godt egnet for undersjøiske tunneler. Bolten blir aktiv ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.

Montering

Bolten endeforankres med ekspansjonshylse. Ved hjelp av et gysemunnstykke, som kobles til hullet i kulen, pumpes mørtelen opp gjennom plastrøret til enden av bolten og videre på utsiden av røret til mørtelen kommer ut rundt underlagskiven. Der bolten dekkes med sprøytebetong før den blir gyst, festes på forhånd en mørtelsslange til halvkulen og en til underlagskiven.

Fordeler

Gir øyeblikkelig sikring ved endeforankring. Permanent sikring etter innstøpning. Plastrøret gir en total forsegling av bolten og lang levetid på grunn av økt korrosjonsvern.

Ulemper

Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i svake bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket berg.

Materiale	Kamstål
Betegnelse	HRB500E/600E
Hulldiameter [mm]	45-48 64-68
Flytegrense [MPa]	500,600 og 630
Flytelast kamstål [kN]	123 og 191 347 og 416
Bruddlast kamstål [kN]	147 og 239 416 og 521
Grensetøyning [A_{gt}]	8% og 7,5% (før innstøpning)
Vekt [kg/m]	2,47 og 3,0 6,43
Lengde [m]	5-12

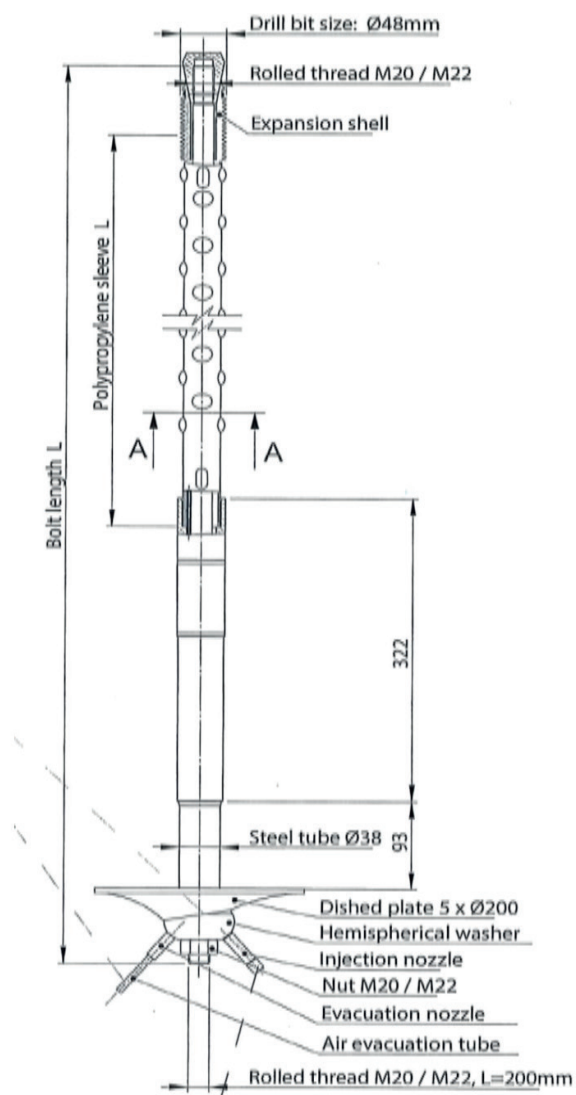
Korrosjonsbeskyttelse

Plastrøret rundt boltestammen
Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Ekspansjonshylse og mørtel
Underlagsplate.
Kule og mutter

3.3.5. Fin bolt



Bruksområde

Kombinasjonsbolt spesielt beregnet for boltehull med vann, kan brukes ved de fleste bergforhold. Brukes der både øyeblikkelig og varig sikring er påkrevd. Etter innstøpning blir boltene forseglet inne i plastrøret, som gir svært god korrosjonsbeskyttelse og gjør boltene godt egnet for undersjøiske tunneler. Boltene blir aktive ved forspenning og gir et stivt system etter gysing.

Montering

Boltene endeforankres med ekspansjonshylse. Ved hjelp av et gysemunnstykke, som kobles til hullet i halvkulen, pumpes mørtelen opp gjennom plastrøret til enden av boltene og videre på utsiden av røret til mørtelen kommer ut av evakueringshullet.

Materiale	Kamstål
Betegnelse	B500NC
Hulldiameter [mm]	43-52
Diameter [mm]	20
Flytegrense [MPa]	500
Flytelast [kN]	157
Bruddlast kamstål [kN]	189
Grensetøyning [A_{gt}]	8% (før innstøpning)
Vekt [kg/m]	2,4
Lengde [m]	1,5-6
Lengde [m]	0,8-8

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Injisering av polyestermasse
Polyesterpatroner for bolter opp til ca 2 meter

Fordeler

Gir øyeblikkelig sikring ved endeforankring. Permanent sikring etter innstøpning. Plastrøret gir en forsegling av boltene og lang levetid på grunn av økt korrosjonsvern. Stopper lekkasje i vannførende boltehull.

Ulemper

Ekspansjonshylse kan gi dårlig midlertidig sikring i svake bergarter, svakhetssoner og tett oppsprukket berg.

3.4. Andre boltetyper

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

Kabler og stag er presentert i kapittel 3.5.

Friksjonsbolter kan brukes til øyeblikkelig sikring i de fleste bergarter. Friksjonsbolter og glassfiberbolter er lite brukt i Norge.

En hul kamstålbolt som endeforankres og ettergyses, finnes på det internasjonale markedet. Denne kombinasjonsbolten er lite brukt i Norge.

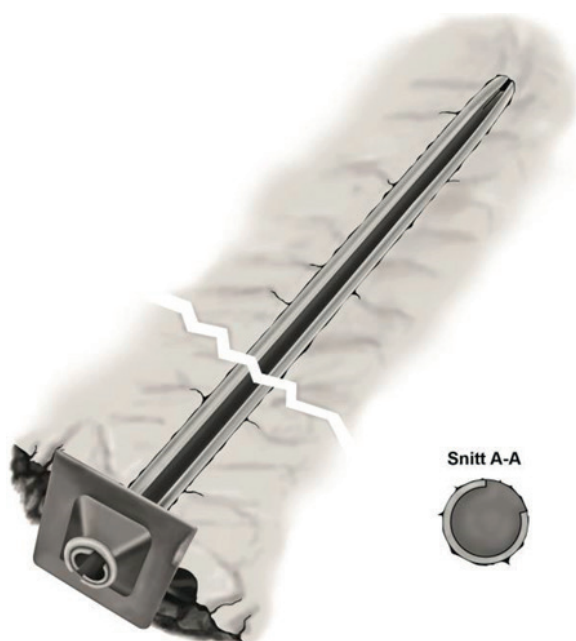
En annen boltetype som foreløpig ikke er tatt i bruk i Norge, er en pluggbolt som brukes i gruveindustrien i USA. Bolten forankres etter de samme prinsippene som en betongskrue.

Andre boltetyper er vist i det følgende med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

Boltetyper som er plassert i denne gruppen

- Friksjonsbolter (Split Set, Swellex) (3.4.1, 3.4.2)
- Glassfiberbolt (3.4.3)
- D-bolt (3.4.4)
- Borstangbolt (ikke omtalt)

3.4.1. Friksjonsbolt - Split Set



Materiale	Stål
Hulldiameter [mm]	32-45
Diameter [mm]	33-46
Flytelast [kN]	90 (for ø39 mm bolt)
Bruddlast [kN]	70-140
Bruddforlengelse	16%
Vekt [kg/m]	1,8
Lengde [m]	0,9-3
Lengde [m]	0,8-8

Korrosjonsbeskyttelse

Kan varmforsinkes

Forankring

Friksjon mellom stål og berg

Bruksområde

Split Set brukes til øyeblikkelig sikring ved de fleste bergforhold. 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.

Montering

Split Set-bolten slås inn i boltehullet. Bolten må ha større diameter enn boltehullet.

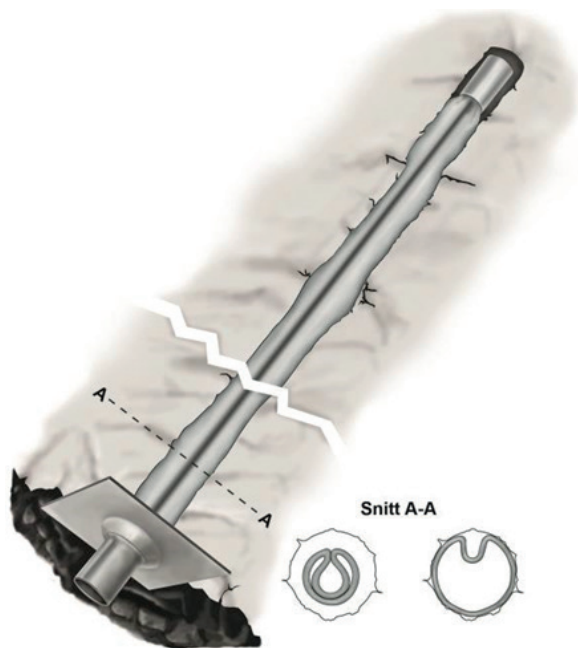
Fordeler

Lett og rask å installere. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Stor evne til skjærdeformasjon (ettergivende sikring).

Ulemper

Bolten er korrosjonsutsatt. Borehulldiameteren er kritisk: For lite boltehull gjør det vanskelig eller umulig å få inn bolten. For stort hull fører til liten friksjon mellom bolt og berg og redusert lastkapasitet. Installasjon av lange bolter kan være vanskelig. Kan ikke forspennes (underlagsplaten kan imidlertid gi et trykk mot bergoverflaten etter montering). Kan oppta høy skjærdeformasjon, men har relativt lav skjærkapasitet.

3.4.2. Friksjonsbolt - Swellex



Materiale	Domex 220
Betegnelsen	SS 1232-04
Hulldiameter [mm]	32-39 43-52
Diameter [mm]	26
Flytelast [kN]	130
Bruddlast [kN]	130
Bruddforlengelse	10%
Vekt [kg/m]	2
Lengde [m]	1,5-5

Korrosjonsbeskyttelse

Bitumenbasert maling eller plastbelegg

Forankring

Friksjon og mekanisk motstand

Bruksområde

Kan i prinsippet brukes ved de fleste bergforhold. Noe brukt i gruver i Norge.

Montering

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 borehullsveggen.

Fordeler

Enkel og sikker montering. Gir øyeblikkelig sikring etter installasjon. Tåler vibrasjon.

Ulemper

Bolten er korrosjonsutsatt. Spesialutstyr for å installere boltetypen. Kan ikke forspennes.

3.4.3. Glassfiberbolt



Bruksområde

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, for eksempel ved TBM-drift. Kan brukes i korrosive omgivelser, f.eks. i vannførende berg med veldig surt vann. Boltene har vært lite brukt i Norge.

Montering

Rørbolter av glassfiber forankres ved å gyse gjennom boltene. Massive glassfiberbolter kan forankres som stålbolter, f.eks. med mørtel, epoxy eller polyester.

Fordeler

Lett å kutte. Korroderer ikke. Relativt høy strekkfasthet, høy lastkapasitet. Lav spesifikk vekt.

Bolten er snillere med knuseverk enn stålbolter, altså velegna for (arbeidssikring) sikring av berg som skal knuses.

Ulemper

Relativt stiv bolt med liten evne til å deformeres. Begrenset skjærkapasitet.

Materiale	Massiv glassfiberbolt (elelr rørbolt av glassfiber)
Hulldiameter [mm]	27-48
Diameter [mm]	22-25
Diamater rørbolt [mm]	40
Bruddlast [kN]	85-250
Bruddlast rørbolt [kN]	> 62
Ekspansjonsverdi	0,5% for massiv bolt 2% for rørbolt
Vekt [kg/m]	0,7-0,9
Lengde [m]	Skjøtbare

Forankring

Mørtel
Polyester
Epoxy

3.4.4. D-bolt



Materiale	Rundstål
Betegnelsen	
Hulldiameter [mm]	30-48
Diameter [mm]	20 og 22
Flytelast [kN]	141 og 171
Bruddforlengelse	15%
Vekt [kg/m]	2,5 og 3
Lengde [m]	1,8-6

Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og pulverlakkert

Forankring

Sementmørtel

Bruksområde

Bolten er fortrinnsvis beregnet på bruk i berg med store deformasjoner, men har også en armerende effekt tilnærmet lik en innstøpt kamstålbolt. Bolten har punktvis forankringer som gjør at deformasjonen fordeles over en større lengde på bolten enn en kamstålbolt som har kontinuerlig forankring.

Montering

Mørtel pumpes inn i boltehullet med en mørtelpumpe. V/c-tall for mørtel er mellom 0,3 og 0,4. Bolten presses deretter inn i hullet. Se også kapittel 4.5. Bolten kan også forankres med polyester ved at det nødvendige antall pølser for å fylle hulrommet mellom bolt og berg dyttes inn.

Fordeler

Relativt rask montering bak stuff. Fullt innstøpte bolter gir høy lastkapasitet ved ulike bergforhold. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen. Ikke egnet ved kontinuerlig rennende vann i borehullet. Godt innstøpningsresultat er avhengig av korrekt montering, spesielt bruk av riktig mørtelkonsistens, se også kapittel 4.5. Ved store deformasjoner kan korrosjonsbeskyttelsen skades.

3.5. Kabler og stag

Kabler og stag er ikke behandlet detaljert i denne boken. Kabler og stag er her gitt som betegnelse på lange bolter (normalt over 6 meter) som består av en eller flere vaiere (lisser) eller av høyfast stangstål.

Virknings- og monteringsprinsippene skiller seg ikke fra vanlige bolter, men både dimensjonering og montering av kabler og stål betegnes vanligvis som spesialarbeid. Montering utføres av personer med høy fagkompetanse og erfaring med denne type arbeid.

Kabler (ikke-forspente kabelbolter) brukes til stabilisering av blant annet store bergrom, dammer, bergskråninger, høye bergskjæringer og ellers der det er behov for lange bolter.

Lissestag (forspent kabel) kan brukes til stabilisering av blant annet bergskråninger, store bergrom, dammer og byggegropen i berg. Lissestagene har høye lastkapasiteter og gis normalt høy forspenning.

Stangstag er bolter av høyfast stål som kan brukes til stabilisering av høye bergskjæringer, store bergrom, dammer og byggegropen i berg. Stangstag har

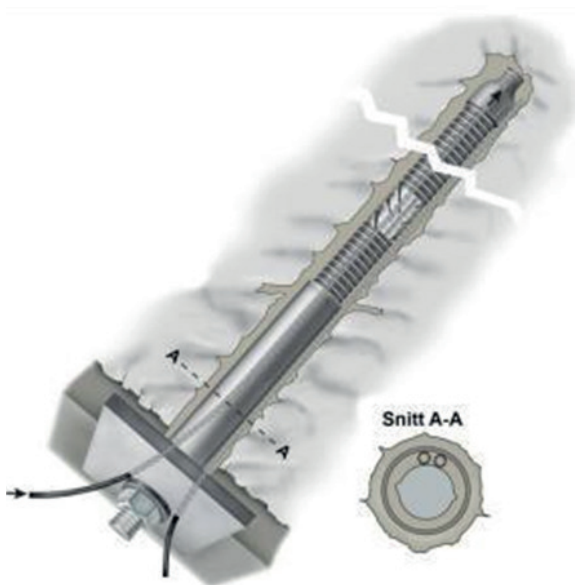
normalt høye lastkapasiteter, og krever forspenning for å utnyttes fullt ut.

Kabler og stag er vist i det følgende med skisser, tekniske data, bruksområde, montering, fordeler og ulemper.

Hovedtyper av kabler og stag:

- Stangstag (3.5.1)
- Selvborende stag (3.5.2)
- Lissestag (forspent kabel) (3.5.3)
- Kabler (ikke-forspente kabelbolter) (3.5.4)

3.5.1. Stangstag



Bruksområde

Stabilisering av høye bergskjæringer, store bergrom, dammer og byggegroper i berg.

Montering

Stag kan forspennes og støpes helt inn i mørtel, eller bare endeforankres i mørtel eller polyester. Monteringsprinsipper er som for kombinasjonsbolter. Monteringsanvisning fra leverandør.

Fordeler

Stor lastkapasitet, kan forspennes med stor kraft. Mørtel og eventuell plasthylse gir korrosjonsvern.

Ulemper

Liten skjærkapasitet i forhold til strekk-kapasitet. Noe mer omfattende monteringsarbeid enn for vanlige bolter. Stangstag gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av herdetid for mørtelen.

Materiale	Stag
Hulldiameter [mm]	35-100
Diameter [mm]	15-36
Flytegrense [MPa]	835-1230
Flytelast [kN]	159-1099
Bruddlast [kN]	195-1252
Bruddforlengelse	0-5%
Vekt [kg/m]	1,5-10
Lengde [m]	Skjøtbare

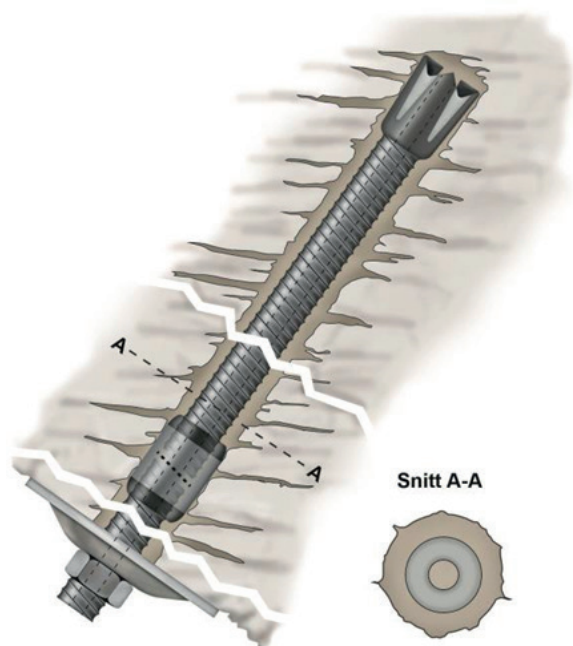
Korrosjonsbeskyttelse

Mørtel
Plasthylse

Forankring

Fullt innstøpt i mørtel
Endeforankret i mørtel
Endeforankret i polyester
Bæreskive og mutter ved endeforankring.

3.5.2. Selvborende stag



Bruksområde

Staget 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 berg, der det er fare for at deler av borehullet kan rase sammen når borstangen trekkes ut etter boring. I dagen kan bolten med fordel brukes i berg med løsmasseoverdekning, fordi det ikke er nødvendig å fjerne løsmassene ved boring/montering av bolten.

Montering

Borstangbolten trekkes ikke ut igjen etter boring. Mørtel gyses inn gjennom den hule stangen.

Fordeler

Slipper å trekke ut borstangen etter bruk. Slipper å fjerne løsmasseoverdekning før forankring i berget. Gysing kan foregå samtidig som borstangbolten bores inn i berget. Får injisert et stort område rundt bolten. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Godt innstøpningsresultat avhenger av korrekt montering.

Materiale	Spesiallagde, helgjengede borstangbolter.
Hulldiameter [mm]	30-70
Diameter [mm]	25-40
Flytelast [kN]	130-490
Bruddlast [kN]	200-660
Bruddforlengelse	Fullt innstøpt - stivt system
Vekt [kg/m]	2,5-6,9
Lengde [m]	2-6, muligheter for skjøting

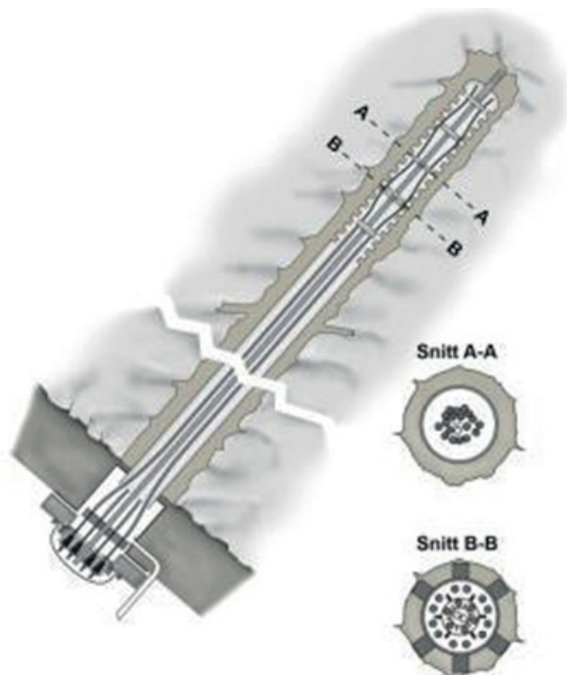
Korrosjonsbeskyttelse

Varmforsinket
Varmforsinket og epoxybelagt
Rustfritt stål

Forankring

Sementmørtel
Polyuretan

3.5.3. Lissestag (forspent kabel)



Bruksområde

Stabilisering av store bergrom, bergskråninger, spuntvegger, dammer og byggegroper i berg.

Montering

Det finnes mange varianter av lissestag og flere ulike monteringsmåter. Prinsippet for de fleste er at de blir skjøvet inn i hullet og gyses fra bunnen med en slange. Permanente stag har som regel et beskyttende plastrør utenpå lissene og gyses derfor både på utsiden og innsiden av dette. Etter at mørtelen er herdet blir staget prøvetrukket og forspent.

Fordeler

Stor lastkapasitet, kan forspennes med stor kraft. Får kontroll på forankringskapasiteten under forspenningen. Mørtel og eventuell plasthylse gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

Montering av forspente, innstøpte lissestag krever spesialkompetanse. Lissestag gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av relativt lang herdetid for mørtelen.

Materiale	Stålvaier bygges sammen til kabler
Hulldiameter [mm]	76-200 (for permanente kabler)
Diameter [mm]	12,5-15,7 pr vaier 60-165 pr kabel
Flytegrense [MPa]	1670
Flytelast [kN]	1 vaier: 167-276 (I praksis opptil ca. 8500)
Bruddlast [kN]	1 vaier: 167-307 (I praksis opptil ca. 9500)
Bruddforlengelse	3,5%
Vekt [kg/m]	1 vaier: 0,8-1,3 (I praksis opptil ~ 42)
Lengde [m]	Ønsket lengde

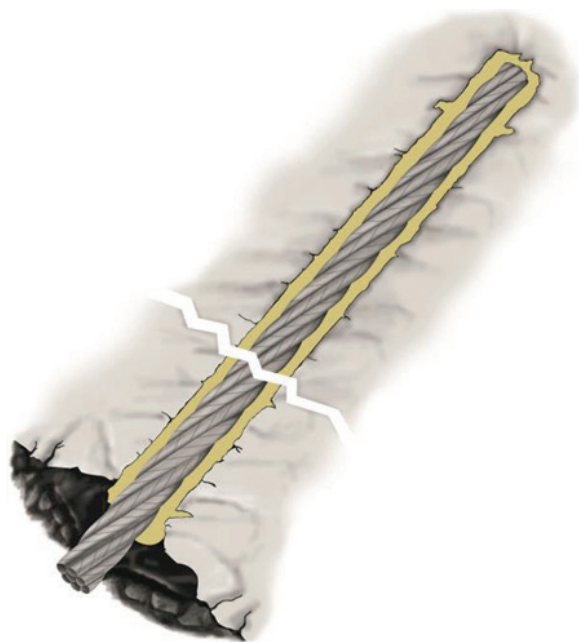
Korrosjonsbeskyttelse

Mørtel og plasthylse

Forankring

Endeforankret med mørtel
Fullt innstøpt i mørtel

3.5.4. Kabler (ikke-forspente kabelbolter)



Materiale	Stålvaiere bygges sammen til kabler
Hulldiameter [mm]	35 og oppover
Diameter [mm]	28 og oppover
Flytegrense [MPa]	1770
Flytelast [kN]	500 og oppover
Bruddlast [kN]	500 og oppover
Bruddforlengelse	3%
Vekt [kg/m]	3,1 og oppover
Lengde [m]	Ønsket lengde

Korrosjonsbeskyttelse

Mørtel

Forankring

Fullt innstøpt med mørtel
(Kan endeforankres og forspennes)

Bruksområde

Brukes til sikring av bergrom og skjæringer der lange bolter (kabler) er ønskelig. Det innebærer stabilisering av bl.a. berghaller, høye bergskjæringer, bergskråninger og dammer.

Montering

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 borehull.

(Kabler med ekspansjonshylse og kabellås kan forspennes og gyses til full innstøpning er oppnådd /10/).

Fordeler

Lange bolter kan monteres inn selv fra små rom. Høy lastkapasitet. Mørtelen gir økt korrosjonsvern.

Ulemper

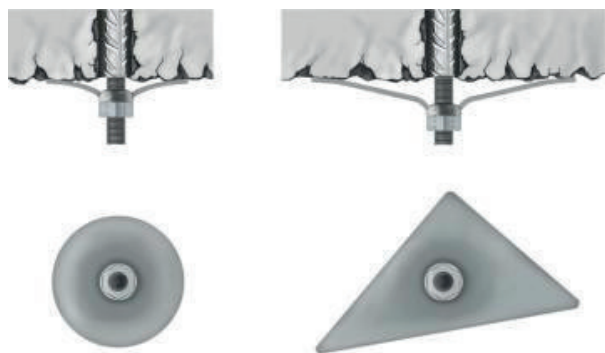
Det kan være vanskelig å kontrollere kvaliteten på innstøpningen. Gir ikke øyeblikkelig sikring på grunn av lang herdetid for mørtelen. Leveres normalt ikke med korrosjonsbeskyttelse.

3.6. Boltematerialer og tilbehør

3.6.1. Underlagsplater og halvkuler

Det finnes en rekke forskjellige underlagsplater på markedet, se eksempel i figur 3.2. Tradisjonelt er det brukt mest underlagsplater med dimensjon 6 x \varnothing 150 mm, 6 x \varnothing 200 mm eller 5 x 190 mm. Ved sikring av sprakeberg med kun bolter har det vært vanlig å bruke store trekantplater 5 x 400 x 500 mm siden disse gir stor anleggsflate mot berget.

Halvkule brukes for å få best mulig samvirke mellom underlagsplate, bolt og berg. Halvkulen gjør at platen kan ha et lite vinkelavvik fra normalt på boltestammen. Halvkuler som brukes i Norge i dag, har et funksjonsområde mellom 0–20°.



Figur 3.2 Eksempler på underlagsplater

3.6.2. Ekspansjonshylser

Ekspansjonshylser finnes i flere varianter. I Norge brukes hovedsakelig en såkalt "bail-type" som består av en konisk mutter og to kileformede, for-tannede blad. Se for eksempel forankring på skissen i kapittel 3.1.1.

3.6.3. Polyester

Leverandør- og/eller produktbeskrivelsen med hensyn til lagring og montering med polyester må følges. Se kapittel 4.4.

Polyesterens herdetid er temperaturavhengig. Dersom polyesterpatronene lagres kaldt, bør de tempereres før de brukes.

3.6.4. Mørtel

Korrekt montering stiller store krav til mørtelens konsistens og sammensetning. Mørtelen skal ha en kremaktig konsistens. Ulike typer og mengder av tilsetningsstoffer gjør at mørtelproduktene trenger

ulik vanntilsetning for å oppnå riktig konsistens. Riktig vanntilsetning angis av leverandør.

Reaksjon mellom sink og sement omtales under neste avsnitt. Ved gysing av varmforsinkede bolter brukes boltemørtel som er tilpasset dette. For innstøpning av bolter, se også kapittel 4.5.

3.7. Korrosjonsvern

For å oppnå den tilsiktede levetiden på bolter og stag er det viktig at de installeres riktig og at de består av riktige materialer. Alle bolter til permanent sikring og til oppheng av installasjoner/vann- og frostsikringskonstruksjoner er i dag korrosjonsbeskyttet. Korrosjonsbeskyttelsen består vanligvis av varmforsinking og pulverlakkering. Der bolten er fullt innstøpt gir dette økt bestandighet på grunn av det basiske miljøet og mindre kontakt med vann. For opphengsbolter brukes det også rustfritt stål.

Lissestag korrosjonsbeskyttes ved mørtelinnstøpning, plastrør, bruk av fett og plastbelegg. Stangstag og selvborende stag beskyttes som regel som vanlige bolter.

3.7.1. Varmforsinking

Varmforsinking beskytter stålet i bolten mot korrosjon. Sinken fungerer både som en fysisk barriere og som en offeranode ved lokal blottlegging av stålet, fordi sink er mindre edelt enn jern.

Varmforsinkingsprosessen går ut på å dyppe stålet i et oppvarmet sinkbad. Sinken reagerer med stålet og danner jern-sink legeringer på overflaten (metallurgisk binding). Det vil finnes jern leget med sink gjennom hele det varmforsinkede belegget og konsentrasjonen av jern er større dypere ned i belegget. Beleggtykkelsen er hovedsakelig avhengig av tykkelsen på stålgodset og silisiuminnholdet i stålet.

Der det oppstår lokale skader i varmforsinkingen eller at bolten kappes, repareres skaden/bolteenden etter anbefalinger fra bolteleverandør.

3.7.2. Varmforsinking + pulverlakkering

Ved pulverlakkering påføres bolten et beskyttende belegg som virker som en fysisk barriere mot aggressiver. Bolt som er varmforsinket og pulverlakkert får dermed en dobbel korrosjonsbeskyttelse. Etter forbehandling blir det varmforsinkede stålet sprøytet med elektrostatisk ladete pulverkorn som fester seg til overflaten ved elektrostatisk tiltrekking. Det pulverlakkerte stålet blir plassert i en ovn der pulverlakkerten smelter, flyter sammen og herder. I denne prosessen er stålemnet som skal pulverlakkert jordet, noe som vil medføre jordings-

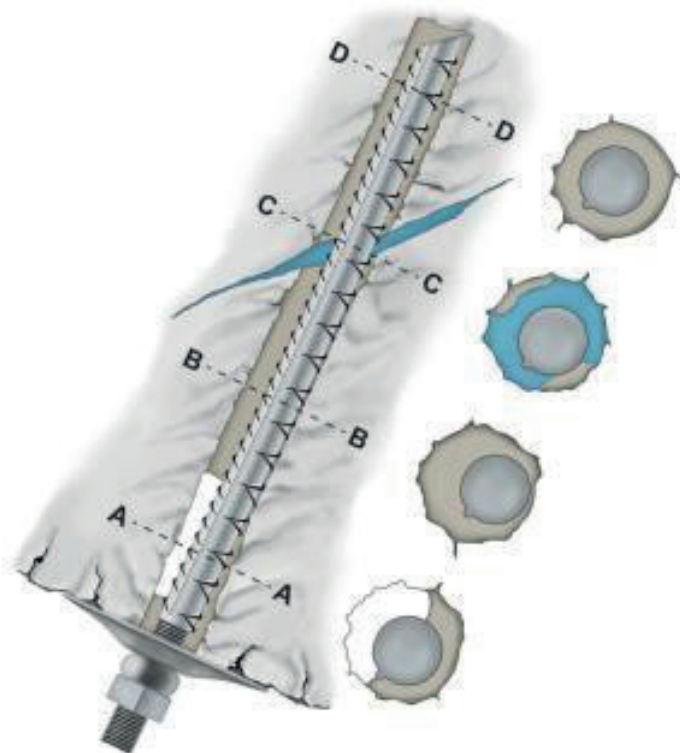
merker i pulverlakken. For å minimere jordingsmerkene brukes det oppheng med minimal liggeflate. Sentreringsbrikker brukes for å sentrere og låse bolten i boltehullet.

3.7.3. Rustfritt stål

Rustfritt stål brukes i mange sammenhenger der det stilles spesielle krav til levetiden, og der miljøet er meget korrosivt.

3.7.4. Fullt innstøpt bolt

Fullt innstøpt bolt er forbundet med lang levetid, og er derfor anbefalt for sikringsbolter som inngår i permanent sikring. Boltemørtler er bestandige mørtler som gir minimal vanddiffusjon og vanntransport, og de beskytter mot inntrenging av aggressiver. Det alkaliske miljøet i sementbaserte boltemørtler beskytter også stålet mot korrosjon ved at det dannes en beskyttende passivfilm på overflaten.



Figur 3.3
Eksempler på kvalitetsavvik på innstøpte bolter

Fullt innstøpning gir ikke alltid det tiltenkte korrosjonsvern /11/, /12/ og derfor må bolter som skal støpes inn og inngå i den permanente stabilitetssikringen korrosjonsbeskyttes i sin helhet. Se figur 3.3. Se også kap. 4.5.

Snitt A: Feil under montering (operatørfeil) kan føre til luftlommer og redusert fyllingsgrad av mørtel. En vanlig feil er bruk av for tynn mørtel.

Snitt B: Eksentrisk plassert bolt – når bolten ligger inntil berget i boltehullet, kan det medføre at områder av bolten ikke er fullt omhyllet av mørtel. Borehull med avbøyning kan medvirke til kontakt mellom berg og bolt. Det bør brukes sentreringsfjær eller sentreringsklips.

Snitt C: Vannførende hull – kan føre til delvis utvasking av mørtel.

Snitt D: Full overdekning. Dette viser hvordan det skal se ut når alt er gjort riktig

Porevannet i sementbaserte mørtler er svært alkalisk og i et slikt miljø er sink ustabil og brytes ned av komponenter i sementen. Når galvanisert stål kommer i kontakt med våt sement skjer en kjemisk reaksjon hvor det felles ut krystaller på overflaten som igjen passiviserer sinken mot videre korrosjon. Med denne reaksjonen følger dannelse av hydrogengass på overflaten mellom sinkbelegget og mørtelen. Utviklingen av hydrogengass er blant annet avhengig av jernkonsentrasjonen i det ytre laget av sinkbelegget, krominnholdet i sementen og pH /13/, /14/.

Når boltene er varmforinket må det brukes boltemørtler som hindrer reaksjonen mellom sement og sink.

4. 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 krav til produksjon og montering av boltene. Personell som monterer bolter bør ha erfaring, eller få opplæring i faget.

Korrekt utførelse under monteringen er avgjørende for å oppnå et godt sluttprodukt. Montering av bolter starter med boring av hull for boltene. Bordimensjon velges etter boltens diameter og forankring gitt i bolteleverandørens datablad. Riktig tilpassing og

bruk av bolteboringsutstyret gir økt arbeidssikkerhet og økt kapasitet. Ved innsetting og forankring av bolter er det viktig at monteringsprosedyrene følges.

4.1. Boreutstyr og boring av boltehull

Ved bolting i berg tilpasses borehullets diameter, lengde og retning til den aktuelle boltetypen (tabell 4.1). Boreriggen plasseres slik at bommen hele tiden står i riktig borvinkel i forhold til bergoverflaten. Borvinkelen er som regel normalt på bergoverflaten. Se også kapittel 2.

Tabell 4.1 Boreutstyr til bolteboring ved ulike tunneltverrsnitt

Tunneltverrsnitt	Utstyr for boltehullsboring	Boltehulldiameter
7 - 15 m ² (sjakt)	Håndholdte boremaskiner	27 - 40 mm
10 - 25 m ²	Håndholdte boremaskiner/Borerigg	27 - 40 mm
15 - 40 m ²	Borerigg eller egen bolterigg	38 - 51 mm
40 - 100 m ²	Borerigg eller egen bolterigg	45 - 51 mm
Over 100 m ² (berghall)	Borerigg eller egen bolterigg	45 - 76 mm

4.1.1. Håndholdte boremaskiner

Håndholdte boremaskiner brukes først og fremst i tverrsnitt der det er vanskelig å komme til med større utstyr. Boringen utføres fra korg, fra arbeidsplattform eller direkte fra sålen.

4.1.2. Bolterigg

Bolteriggen borer boltehullet, men bolten installeres manuelt. Riggen har normalt en standard roterbom med kortere matelengde enn en vanlig tunnelrigg. Dette fordi at bommen lettere skal kunne manøvreres og boltehullene plasseres i riktig vinkel. Er bommen teleskopisk forlengbar, blir rekkevidden for hver oppstilling større. Der 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 boltene, men boltemontasjen kan også utføres fra egen arbeidsplattform.

En fullautomatisert bolterigg (figur 4.1) kan i tillegg til å bore boltehull også installere bolter. Begge operasjonene utføres fra operatørplass på riggen. Riggen

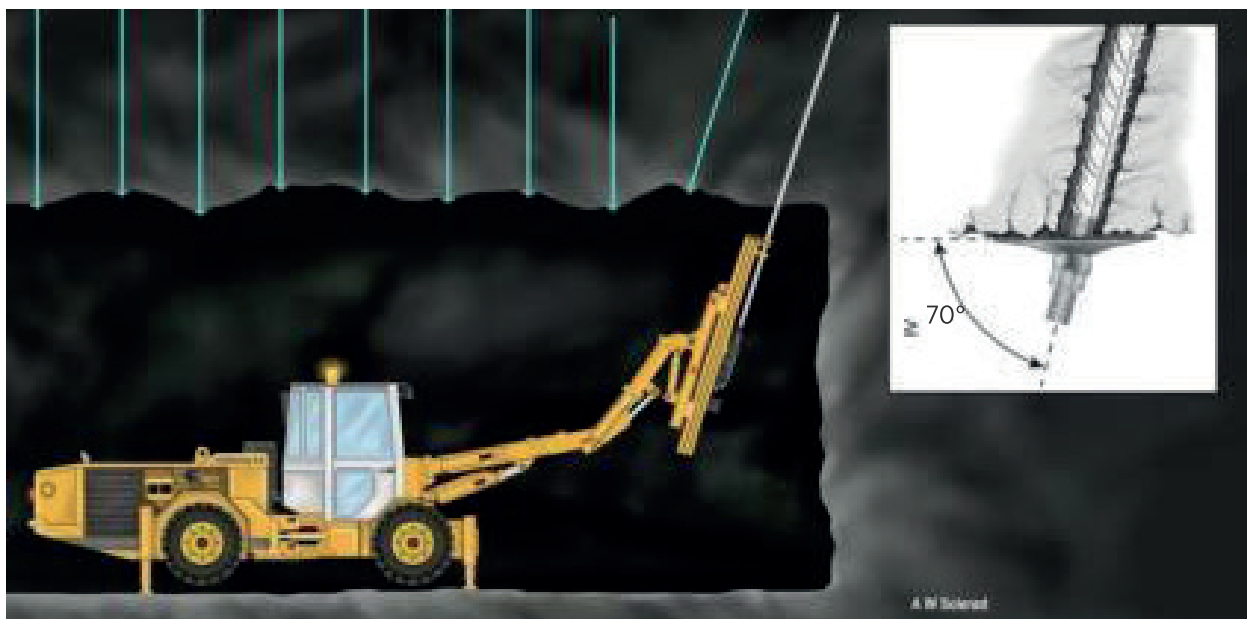
kan utstyres med utstyr for montering av ulike bolte-typer, med magasin for boltene (8-10 stk.).



Figur 4.1 Fullmekanisert bolterigg
4.1.3. Tunnelborerigg

Ved tunneldriving er det vanlig at tunnelrigger blir brukt til å bore hull til boltene på foregående salve. Montering av boltene gjøres manuelt fra arbeidskorga på riggen. Av praktiske grunner er det vanlig å bruke $\varnothing 48\text{--}51$ mm til boring av både 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 4.2 Vinkel mellom borehullets retning og bergoverflaten

4.1.4. Feilkilder ved boring av boltehull

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

- A. Feil vinkel mellom bolt og bergoverflaten
- B. For lange borehull ved polyesterforankring av bolter.

A. Feil vinkel mellom bolt og bergoverflaten

Hullene skal bores så radielt på tunnelaksen som mulig. En vanlig feil er at bommene ikke er langt nok fremme ved boring, noe som fører til at boltene blir vinklet fremover i tunnelen. Hovedårsakene til at denne feilen oppstår er at riggen har for lang matebjelke i forhold til tunnelens høyde/bredde, eller at borryggen ikke plasseres (flyttes) riktig i forhold til stoffen.

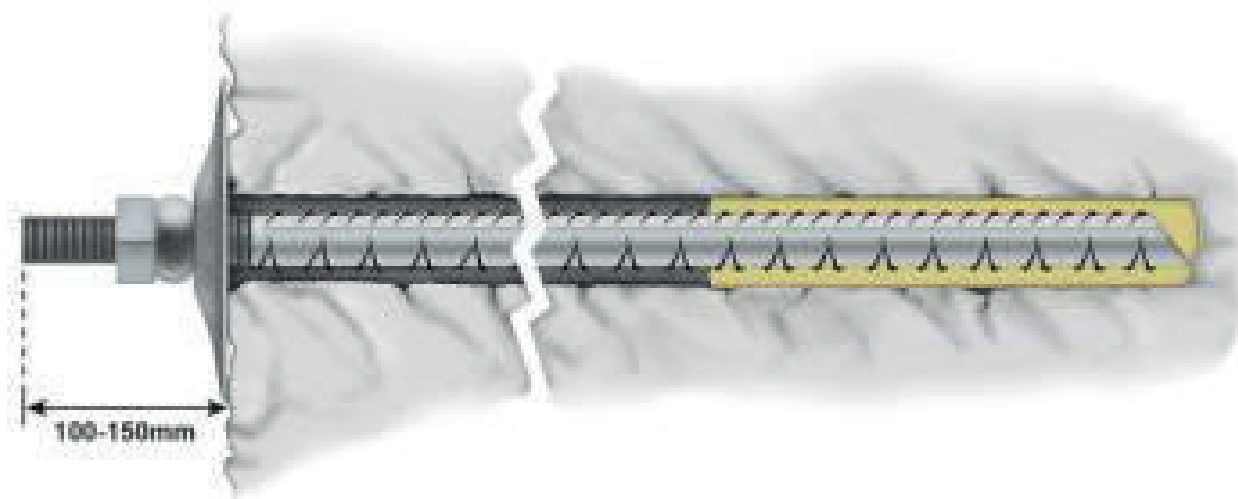
For liten vinkel mellom borehullets retning og tunnelaksen er ugunstig for endeforankrede bolter og andre bolter som skal forspennes da forspenningskraften

radielt minker ved økende vinkel. Minste vinkel mellom borehullets retning og bergoverflaten må normalt være ca. 70° , se figur 4.2. Årsaken er at halvkulens funksjonsområde er mellom ca. $0\text{--}20^\circ$ avvik. Halvkulen gjør at platen ligger flatt mot berget og forhindrer bøyespenninger i boltens gjengeområde. Boltene får dermed en aksiell belastning av forspenningen.

B. For lange borehull ved polyesterforankring av bolter

For lange hull må unngås ved bruk av polyesterpatroner fordi polyestere ikke blandes med herderen. Dette gir bolter med liten eller ingen lastkapasitet /12/, /15/.

Ved boring for polyesterforankrede bolter er det viktig at borehullet er $100\text{--}150$ mm kortere enn boltene (figur 4.3). Dette for å ta høyde for gjengene som må være utenfor boltehullet.



Figur 4.3 Riktig tilpasset lengde på boltehullet for polyesterforankrede bolter

4.2. Utstyr for montering av bolter

4.2.1. Tunnelborerigg, hjullaster med korg eller arbeidsplattform

I store og mellomstore tunnelvernsnitt er tunnelborerigg som regel utstyrt med korg som brukes ved lading og montering av boltene. Ved omfattende bolting kan det være best å bruke eget utstyr

ved montering, for eksempel egen bolterigg, godkjent hjullaster med korg (se skisse i figur 4.4) eller hydraulisk arbeidsplattform (på bakstuffedbil).



Figur 4.4 Hjullaster med korg

4.2.2. Luftdrill med matekolonne (matesylinder)

Ved montering av polyesterforankrede bolter brukes drill med rotasjonshastighet på 300–400 o/min. Normalt blir det brukt en luftdrill påmontert en matekolonne (figur 4.5). Matekolonnen letter også arbeidet med innmating av bolten.



Figur 4.5 Luftdrill med matekolonne

4.2.3. Mørtelpumpe

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

Skrupumpe (figur 4.6) brukes vanligvis ved gysing av bolter. Fordelen med en skrupumpe er at den kan transportere en forholdsvis tykk mørtel, samtidig som den har en jevn mating. Pumpa har vanligvis to kammer, ett for blanding og ett der den ferdig blandede mørtelen blir pumpet fra.



Figur 4.6 Mørtelpumpe (skrupumpe)

4.2.4. Muttertrekker

Muttertrekkere brukes til forspenning av bolter. Muttertrekkeren brukes i kombinasjon med en lang mutterpipe for stramming av mutteren mot underlagsplaten (figur 4.7). Ved bruk av muttertrekker vil forspenningen alltid variere noe. Det er viktig at muttertrekkeren kalibreres før bruk fordi friksjonen mellom gjenger, mutter og halvkule varierer mellom ulike boltetyper.

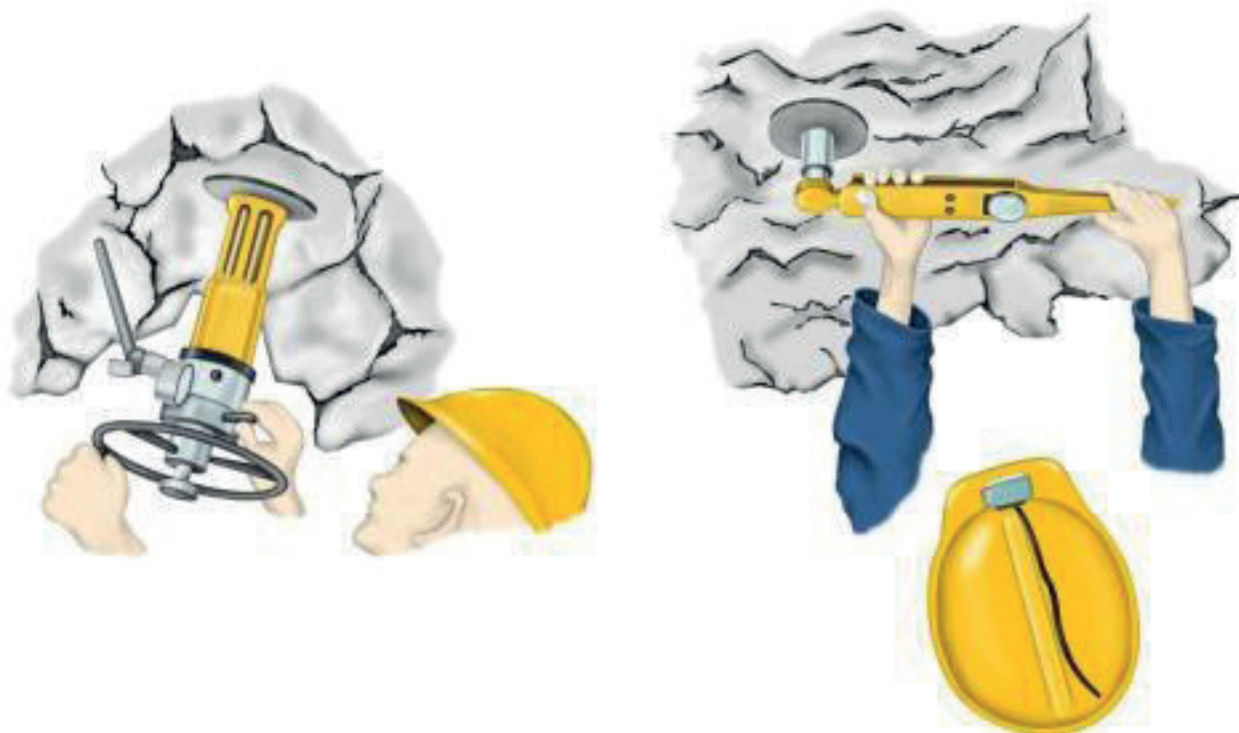


Figur 4.7 Muttertrekker

4.2.5. Hydraulisk jekk og momentnøkkel

Den mest nøyaktige metoden for forspenning av bolter er å strekkbelaste boltene med en hydraulisk jekk, og så etterstramme mutteren til ønsket forspenning (figur 4.8). Denne metoden er forholdsvis tidkrevende og er derfor lite brukt. Hydrauliske jekker brukes for å kontrollere endeforankrede bolter, se kapittel 6.

Momentnøkkel kan 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.



Figur 4.8 Hydraulisk jekk og momentnøkkel

4.3. Montering av bolter med ekspansjonshylse

En ekspansjonshylse er en mekanisk forankring som brukes på flere boltetyper. Ekspansjonshylsen gir normalt god forankring ved middels godt og godt berg (figur 4.9).

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



Figur 4.9 Montering av bolt med ekspansjonshylse (endeforankrede bolter).

Tabell 4.2 Forklaring til figur 4.9

1.	Hullet bores minst like langt som bolten.
2.	Ekspansjonshylsen skrues inn på bolten. Om nødvendig kan bøylene bøyes litt ut slik at bladene berører hullveggen når bolten skyves inn i hullet. For å unngå at bolten føres for langt inn, bør underlagsplate, halvkule og mutter være montert på bolten før den skyves inn i boltehullet.
3.	Bolten forspennes ved å skru til mutteren med en muttertrekker eller en momentnøkkel.

4.3.1. Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse

Det er viktig å være oppmerksom på at forspente bolter montert med ekspansjonshylse har en ten-

dens til å miste sin forspenning på grunn av rystelser fra sprengning. Etterstramming bør derfor utføres.

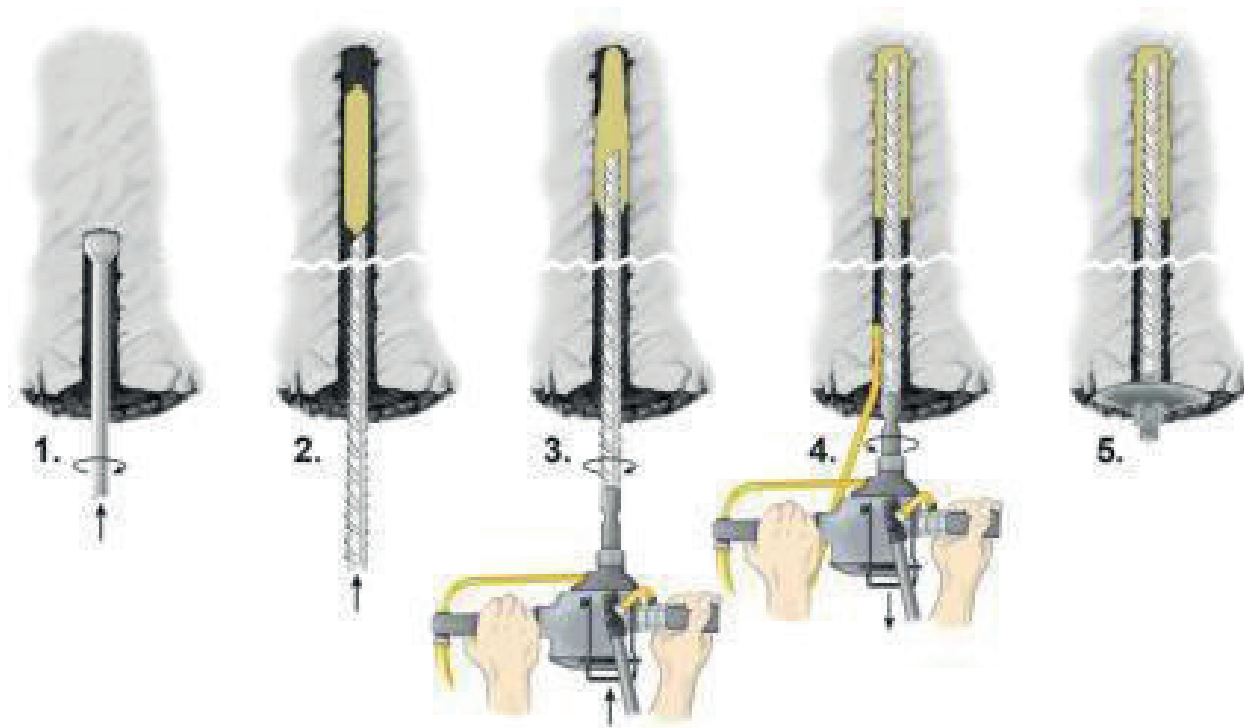
Tabell 4.3 Feilkilder ved forankring med ekspansjonshylse

Feilkilder	Resultat
Misforhold mellom borehulsdiameter og ekspansjonshylsediameter	Redusert forankringskapasitet, stor tøyning
Manglende etterstramming/ etterkontroll bak stuff av forspente bolter	Fare for rask deformasjon (utfall, utrasing o.l.)

4.4. Montering av bolter med polyesterpatron

Polyesterpatroner brukes til forankring av kamstålbolter med diametere fra $\varnothing 16$ mm til $\varnothing 25$ mm. En polyesterpatron består av polyester og herder

(katalysator). Herderen ligger i en egen plaststrømpe i ytterkant av polyesterpatronen. Herdingen settes i gang ved at polyester og herder blandes når bolten roteres gjennom patronen.



Figur 4.10 Montering av bolt med polyesterpatron (endeforankrede bolter)

Tabell 4.4 Forklaring til figur 4.10

1.	Borediameteren tilpasses bolten og polyesterpatronen. Hullet bores 100–150 mm kortere enn bolten og spyles rent med vann. (I svært svake 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 borehullet. (I svakt eller tett oppsprukket berg kan eventuelt flere patroner brukes.) Ved montering skal polyesterpatronen være temperert til ca. 20 °C. For bolting på vinterstid, se punkt C (4.4.1).
3.	Ved hjelp av en drill roteres og mates bolten gjennom patronen. Rotasjonshastighet 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 $\varnothing 20$ – $\varnothing 25$ mm bolter, og ca. 7–10 sekunder for $\varnothing 16$ mm bolter.
4.	Drillen må ikke reverseres av bolten før polyestern er herdet, ev. må bolten låses med et renskespett, en rørtang eller tilsvarende.
5.	Bolten forsynes med underlagsplate, halvkule og mutter og forspennes, f.eks. med en muttertrekker. Ved temperatur $\geq + 5$ °C kan bolten forspennes til 50 kN etter 5 minutter. For tidlig forspenning kan ødelegge forankringen.

4.4.1. Kvalitet på polyesterforankring

Polyesterforankring av bolter gir god holdbarhet ved riktig utførelse. Noen punkter som krever oppmerksomhet er:

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

A. Forankringslengde

Polyesterpatroner leveres som regel i standardlengder som gir en forankringslengde og -kapasitet som er tilstrekkelig for at brudd i boltestålet oppstår

før forankringen ryker. Dette gjelder i harde bergarter som granitt eller tilsvarende, der nødvendig forankringslengde er ca. 300 mm for $\varnothing 20$ mm bolter og ca. 500 mm for $\varnothing 25$ mm. I svakere bergarter som kalkstein og fyllitt, eller i tett oppsprukket berg, kan det være behov for å øke forankringslengden ved for eksempel å bruke to patroner.

Er det tvil om forankringslengden er tilstrekkelig, bør forankringen kontrolleres ved strekkforsøk. Teoretisk forankringslengde ved anbefalte dimensjoner for borehull, polyesterpatron og bolt er gitt i tabell 4.3.

Tabell 4.5 Anbefalte bolte-, patron- og borehulldiameter ved polyesterforankring

Bolt	Polyesterpatron	Borehulldiameter	Forankringslengde*
$\varnothing 12$ mm	$\varnothing 14$ X 100 mm	$\varnothing 16$ mm	175 mm
$\varnothing 16$ mm	$\varnothing 19$ X 150 mm	$\varnothing 21$ – $\varnothing 23$ mm	237 mm
$\varnothing 20$ mm	$\varnothing 23$ X 400 mm	$\varnothing 25$ – $\varnothing 29$ mm	480 mm
$\varnothing 20$ mm	$\varnothing 28$ X 372 mm	$\varnothing 29$ – $\varnothing 32$ mm	440 mm
$\varnothing 20$ mm (med blandefjær e.l.)	$\varnothing 38$ X 443 mm $\varnothing 38$ X 570 mm	$\varnothing 43$ – $\varnothing 45$ mm $\varnothing 43$ – $\varnothing 50$ mm	384 mm 385 mm
$\varnothing 25$ mm	$\varnothing 28$ X 372 mm	$\varnothing 32$ – $\varnothing 34$ mm	540 mm

* Teoretisk forankringslengde basert på største borehulldiameter.

B. Borehulldiameter

Borehulldiameteren tilpasses bolt- og patrondimensjonene for å oppnå en optimal blanding av polyester.

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. Herdetiden kan variere med polyestertypen og angis av leverandøren.

Temperaturen på boltene påvirker også herdetiden. Bolter bør lagres slik at de holder en temperatur på over + 5 °C. Dersom boltene lagres under 0 °C, bør de tempereres før installasjon.

Ved temperaturforhold $\geq + 5$ °C kan bolter forankret med polyesterpatroner forspennes til 50 kN etter 5 minutter. Forspenning før tilstrekkelig herding kan ødelegge forankringen.

D. Lagring av polyesterpatroner

Polyesterpatroner har begrenset lagringstid. Holdbarhet for polyesterpatroner er ca. 9-12 måneder ved lagring i 0-20 °C. Siste bruksmåned skal være på stemplet kartongen som polyesterpatronene leveres i. Ved lagring i høyere temperaturer (ca. 30 °C) reduseres levetiden betraktelig. Det advares mot lagring i stålcontainer som blir stående ute i sola, hvor temperaturen raskt kan komme opp i 40-50 °C. Herder kan ødelegges ved høye temperaturer.

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

4.4.2. 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 kan føre til redusert forankringskapasitet /11/, /12/, /15/. I tabell 4.4 er de vanligste feilkildene listet opp.

Den vanligste og alvorligste feilkilden er at det bores for lange boltehull. Se figur 4.4. I tillegg til å ha rutiner ved boring, bør hulldybden kontrolleres med bolten eller en ladekjepp. Ved for kort forank-

ringslengde må eventuelt boltehullet fylles med polyesterpatroner til tilstrekkelig forankringslengde. Er det tvil om forankringskapasiteten bør bolten prøvetrekkes.

Det er viktig å være oppmerksom på at flisete hull eller stålfiberarmert sprøytebetong kan rive opp polyesterpatronen før den når bunnen av hullet. For å unngå dette kan borehullet spyles spesielt godt og/eller det kan brukes polyesterpatroner med ekstra beskyttelse (plastgitter). Utstikkende stålfiber må bøyes inn/fjernes.

Tabell 4.6 Feilkilder ved forankring med polyester

Feilkilder	Resultat
For langt borehull	Redusert forankringslengde
For mye rotasjon	Nedfall, separasjon, oppriving. Skjelldannelse i polyesterten etter at den har begynt å stivne
For lite rotasjon	Ufullstendig blanding (svak eller ingen herding)
Bolt presses gjennom polyesterpatron før rotasjon	Ufullstendig blanding (svak eller ingen herding)
Kald polyesterpatron	Herdingen forlenges og en tidlig forspenning kan redusere forankringsstyrken
Feillagring av polyesterpatron	Ødelagt herder i patron
Stor borehulldiameter i forhold til bolt/patron	Ufullstendig blanding, redusert forankringslengde
Manglende etterstramming/ etterkontroll bak stuff av forspente bolter	For stor deformasjon (utfall, utrasing o.l.)
Stålfiberarmert sprøytebetong	Rifter i polyesterpatron
Feil montasjeretning på polyesterpatron med opphengsfjær	Ufullstendig blanding og for tidlig punktering av polyesterpatronen

4.5. Bruk av mørtel til innstøpning av bolter

Det er forholdsvis vanlig å bruke sementmørtel ved innstøpning av bolter. Det er viktig å være klar over at denne typen mørtel skal blandes, behandles og brukes på en bestemt måte for å ivareta egenskapene på best mulig måte. Vi viser til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 14 «Spennarmeringsarbeider» (spesielt til kapitlene 10, 14 og 15)/30/ for detaljert informasjon om hvordan dette skal gjøres. Under har vi kort beskrevet noen tips.

Ved gysing av bolter er det viktig at gysemassen er blandet riktig, og at det blir full oppfylling av hull og bolt (v/kombinasjonsbolt). Mørtelen skal tyte frem og bolten skal merkes som gyst.

I ettertid kan det være vanskelig, ofte umulig, å kontrollere om bolten overhodet er gyst (uansett om den er merket eller ikke). Bolten kan se gyst ut, men det sier lite om gysekvaliteten innover langs bolten. Dersom mangelfull gysing likevel skulle avdekkes er det ikke praktisk mulig å utbedre avviket uten å sette ny bolt.



Figur 4.11 Riktig blandet gysemasse i blandekar til gysepumpe, foto Terje Kirkeby



Figur 4.12 Full oppfylling av hull og kombinasjonsbolt, foto Terje Kirkeby

Ved gysing av kamstålbolter skal borehullet fylles fra bunnen av med slange, og med nok mørtel til at den tyter ut av hullet når bolten presses inn.



Figur 4.13 Bolt i skjæring før plate er strammet til, dette skjer etter at mørtelen er herdet, foto Terje Kirkeby

4.5.1. Feilkilder ved innstøpning av bolter

Ved innstøpning av bolter med sementbasert mørtel er en feil at det brukes for tynn mørtel (se tabell 4.5). Med for lite vann er ikke mørtelen pumpbar, og

slangen kan gå tett. Ved å skylle slangen med vann før gysingen starter er sjansen mindre for at slangen går tett.

Tabell 4.7 Feilkilder ved innstøpning av bolter

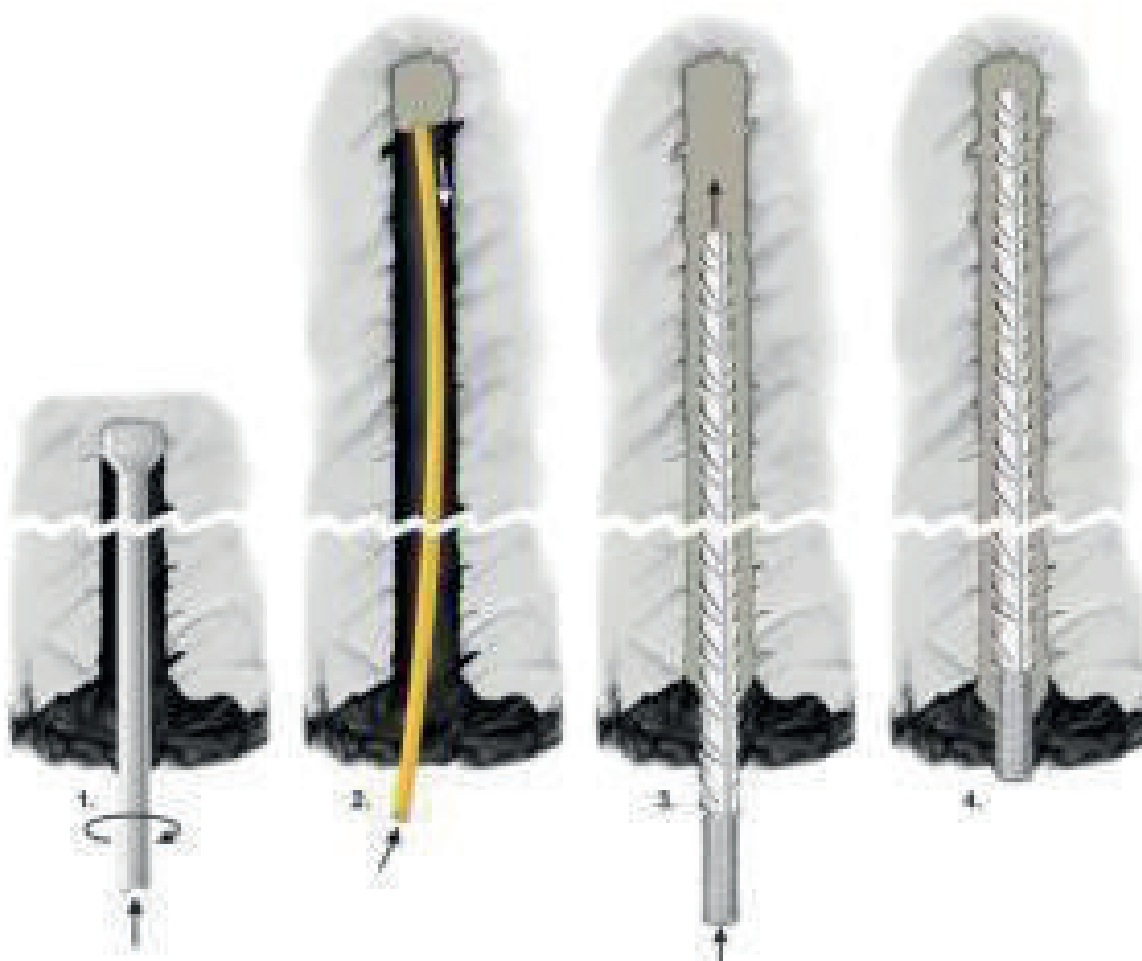
Feilkilder	Resultat
For tynn mørtel (for mye vann i mørtelen)	Mørtelen renner ut og gir redusert forankring
Slangen føres ikke inn til bunnen av borehullet	Manglende forankring innerst i borehullet
Slangen trekkes raskt ut	Manglende oppfylling
Dårlig sentrering	Manglende korrosjonsvern
For lang lagringstid av mørtel i blandekar	Boltemørtel ekspanderer ikke
Vannførende boltehull	Vann i borehullet ødelegger for gysing av kombinasjonsbolter og vanlige kamstålbolter. Selv drypp lager vannkanaler langs bolten og kan være nok til at massen renner ut igjen før den rekker å herde. Om det ikke drypper/renner fra seg innen rimelig tid skal det monteres spesialbolt med pakker (bruksanvisningen må følges nøye). Det er viktig å ikke injisere/gyse disse boltene sammen med de vanlige kombinasjonsboltene i nærheten, men vente til neste gyserunde (dvs. bare gyse kombinasjonsboltene). I motsatt fall risikerer en å presse vannet og problemet over til tørre hull.

4.6. Innstøpning av bolter

Innstøpte bolter kan deles inn i to grupper: fullt innstøpte, ikke-forspente bolter og kombinasjonsbolter (se figurene 4.11-4.15).

Det brukes ekspanderende boltemørtler til innstøpning av bolter. For varmforsinkede bolter brukes mørtel som ikke gir reaksjon mellom mørtel og sink. Mørtelens

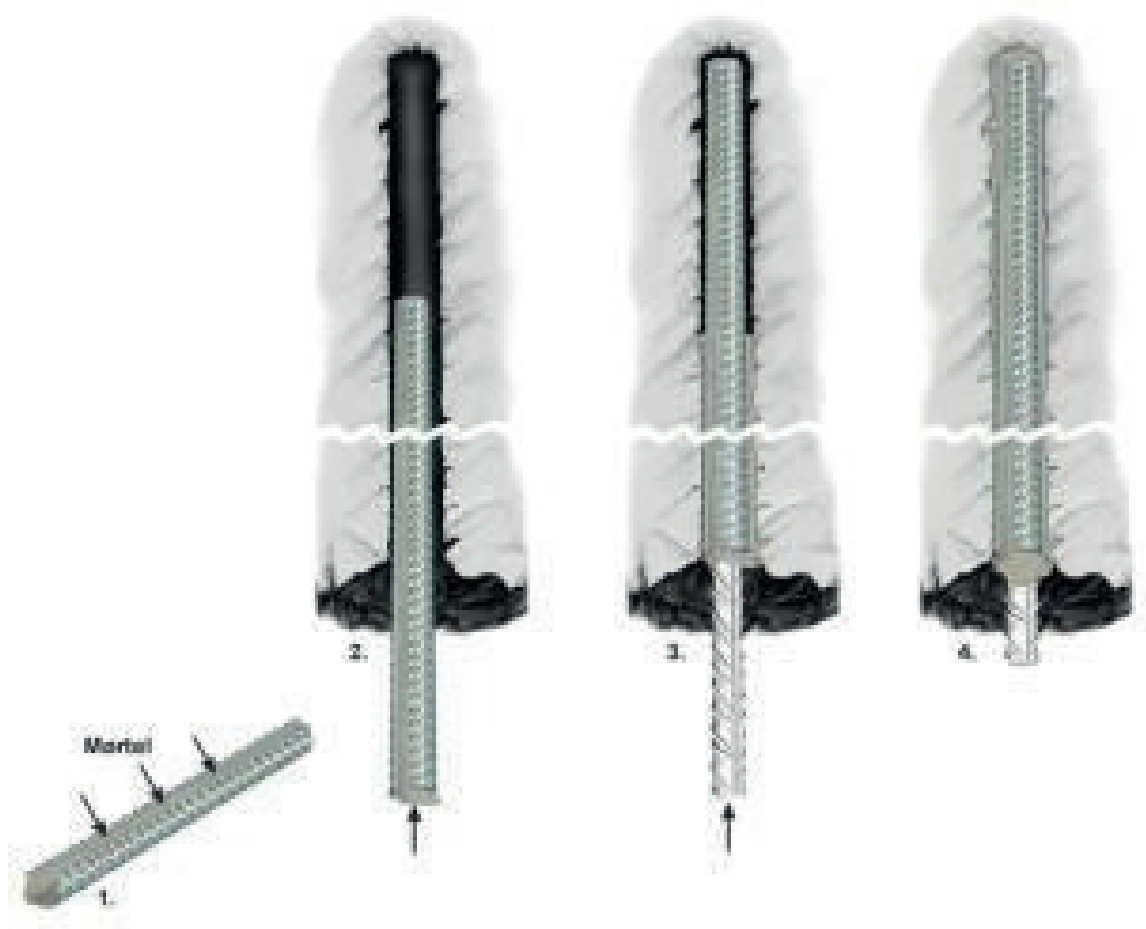
konsistens er avgjørende for resultatet og det er viktig å tilpasse vannmengden i forhold til bruksområdet. Gysing av bolt i vannførende hull kan gi dårlig resultat, og skal unngås der det er mulig. Mulige tiltak er å bore nytt eller avlastende hull eller bruke bolt med mulighet for injisering.



Figur 4.11 Montering av fullt innstøpt kamstålbolt. For sentrering anbefales sentreringsfjær eventuelt sentreringsklips.

Tabell 4.8 Forklaring til figur 4.11

1.	Borehullet bores minst like langt som bolten. Diameteren på borehullet bør være minst 10 mm større enn boltediameteren.
2.	Mørtelslangen føres helt inn i bunnen av borehullet. Slangen trekkes/presses langsomt ut etter hvert som mørtelen fyller opp borehullet.
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 mutteren strammes inntil etter at mørtelen har herdet.



Figur 4.12 Montering av perfobolt

Tabell 4.9 Forklaring til figur 4.12

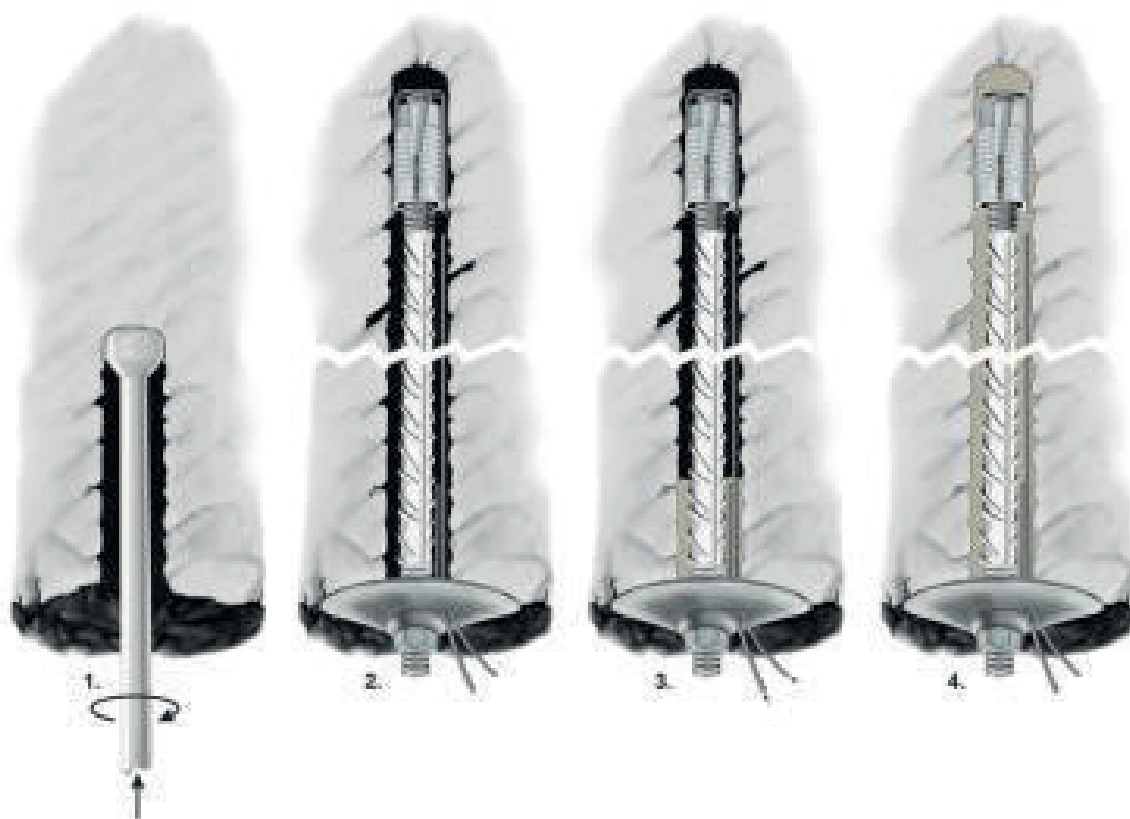
1.	Perfometoden er basert på at et perforert rør fylles med mørtel.
2.	Det perforerte røret skyves inn til det når enden av borehullet.
3.	Kamstålbolten presses eller slås inn gjennom mørtelen.
4.	Mørtelen presses ut mot hullveggen ved innføring av bolten og gir full innstøpning.



Figur 4.13 Montering av rørbolt

Tabell 4.10 Forklaring til figur 4.13

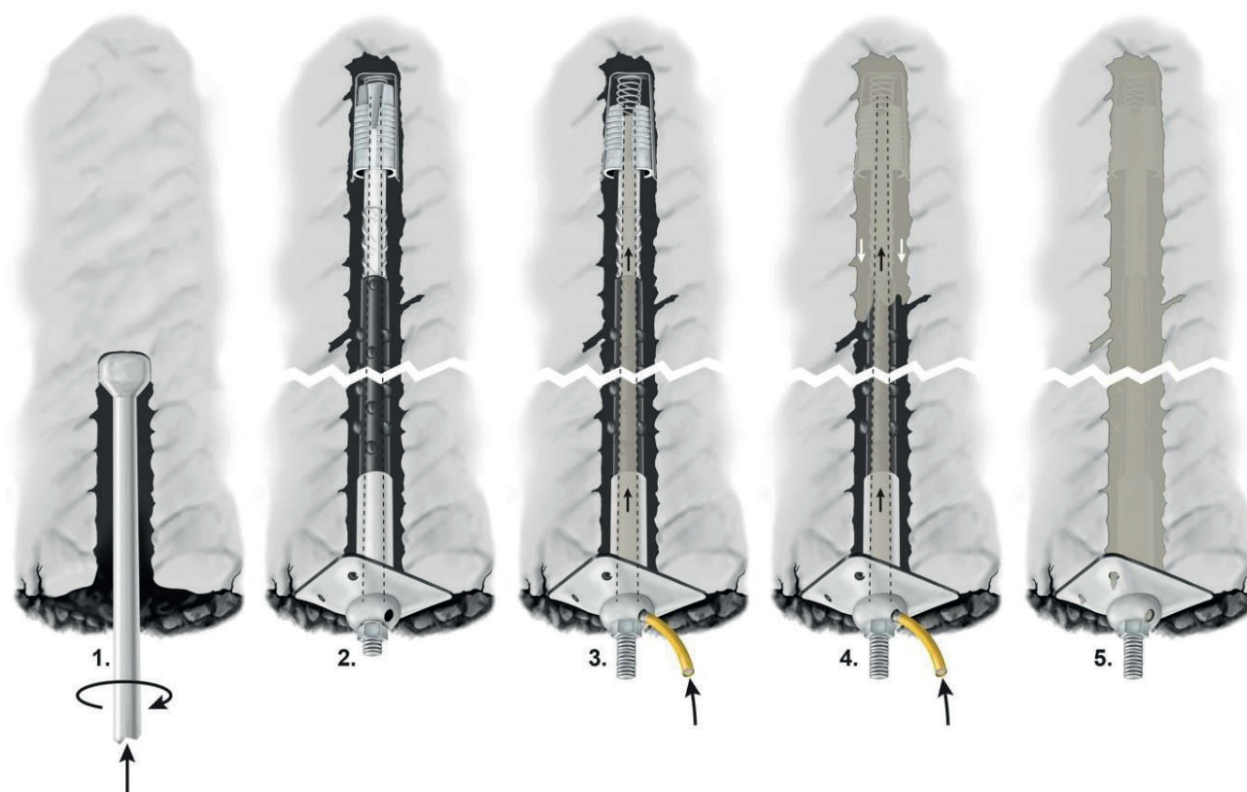
1.	Hullet bores minst like langt som bolten.
2.	Rørbolten monteres i første omgang med ekspansjonshylse og bolten forspennes. Rørbolten fungerer som en endeforankret bolt til den ettergyses.
3.	Ved gysing kobles en mørtelslange på bolteenden, og mørtelen pumpes inn i røret og fyller opp borehullet fra bunnen og utover.
4.	Konsistensen på mørtelen må være så tykk at den fyller borehullet fra bunnen og utover. Er mørtelen for tynn renner den ut fra innsiden av røret etter at påfyllingsslangen fjernes. I tillegg kan mørtel falle ned på platen og fylle borehullet nedenfra og oppover og det dannes en luftlomme i toppen.
5.	Fullt innstøpt rørbolt.



Figur 4.14 Montering av endeforankret og ettergyst bolt

Tabell 4.11 Forklaring til figur 4.14

1.	Hullet bores minst like langt som bolten ved forankring med ekspansjonshylse og 100-150 mm kortere enn bolten ved polyesterforankring
2.	Bolten 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). Bolten fungerer som en endeforankret bolt til den ettergyses.
3.	Mørtelen pumpes gjennom injeksjonsslengen og fyller borehullet fra underlagsplaten og innover. Luften evakueres gjennom utluftingsrøret som er montert i hele boltens lengde.
4.	Endeforankret og ettergyst bolt.



Figur 4.15 Montering av kombinasjonsbolt

Tabell 4.12 Forklaring til figur 4.15

1.	Hullet bores minst like langt som bolten.
2.	Kombinasjonsboltene monteres i første omgang med ekspansjonshylse og forspennes til ca. 200 - 400 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 borehullet fra bunnen og utover til den kommer ut rundt skiven. Vent litt med å ta ut gysemunnstykket til trykket reduseres for å unngå sprut. Konsistensen på mørtelen skal være som en tynn grøt eller tykk suppe, v/c-tall 0,40 - 0,45.
4.	Fullt innstøpt kombinasjonsbolt

4.7. Forspenning av bolter

Vanligvis varierer forspenningen fra 200 – 400 Nm. For det meste brukes muttertrekkere til forspenning.

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

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

Forspenningen tar 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 før innstøping. Fullt innstøpte bolter forspennes ikke.

Ved bruk av muttertrekker vil forspenningen alltid variere, fordi friksjonen varierer i gjengene på boltene og mellom mutter og halvkule.

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.

4.8. Vann i boltehull

Det bør brukes egnede bolter for boltehull med vann. Vann i boltehull gir problemer med gysing og levetid for bolt. Vann er en av flere faktorer som kan bidra til et korrosivt miljø. Bolting i boltehull med rennende vann er problematisk og bør unngås.

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.

5. Dimensjonering

I dette kapitlet omtales ulike dimensjoneringsregler. Dimensjoneringsreglene kan være et hjelpemiddel til å bestemme antall bolter, boltelengder og bolte-retningen. Det er viktig å huske på at det er bergforholdene og spenningstilstanden på stedet som vil være dimensjoneringsgrunnlaget. Kapitlet omtaler også dimensjonering ved bruk av passive og aktive stag.

Beregninger for dimensjonering av bergsikring gjøres ved hjelp av grensetilstandsmetoden. I henhold til NS-EN 1997 Eurokode 7 /16/, skal det brukes partialfaktorer ved dimensjonering av bergsikring.

I kapittel 5.2.1 er det satt opp ligninger som gjør bruk av både partialfaktor og sikkerhetsfaktor, som ble brukt før Eurokode 7 ble innført.

5.1. Dimensjonering av sikring

Sikring under driving vurderes normalt av arbeidslaget, ofte i samarbeid med kontrollingeniører/ingeniørgeologer fra den stedlige byggeledelse. Vurderingene innebærer valg av sikringsmidler og -mengder. I praksis vil dimensjonering av bolting i forbindelse med arbeidssikring også innebære plassering av boltene. Dimensjonering av permanent sikring skal 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 blant annet til å vurdere stabilitet. I praksis dimensjoneres boltingen i stor grad ut fra empiriske systemer.

Dimensjoneringen baseres ofte på tommelfingerregler og statiske betraktninger (likevektsbetraktninger).

Q-metoden er en empirisk modell for bergmasseklassifisering. Metoden kan brukes til veiledende dimensjonering av sikring, og er beskrevet i håndbok fra NGI «Bruk av Q-systemet» /4/. For andre bergmasseklassifiseringssystemer og empiriske dimensjoneringsregler henvises det til litteraturen /2/, /17/, /18/.

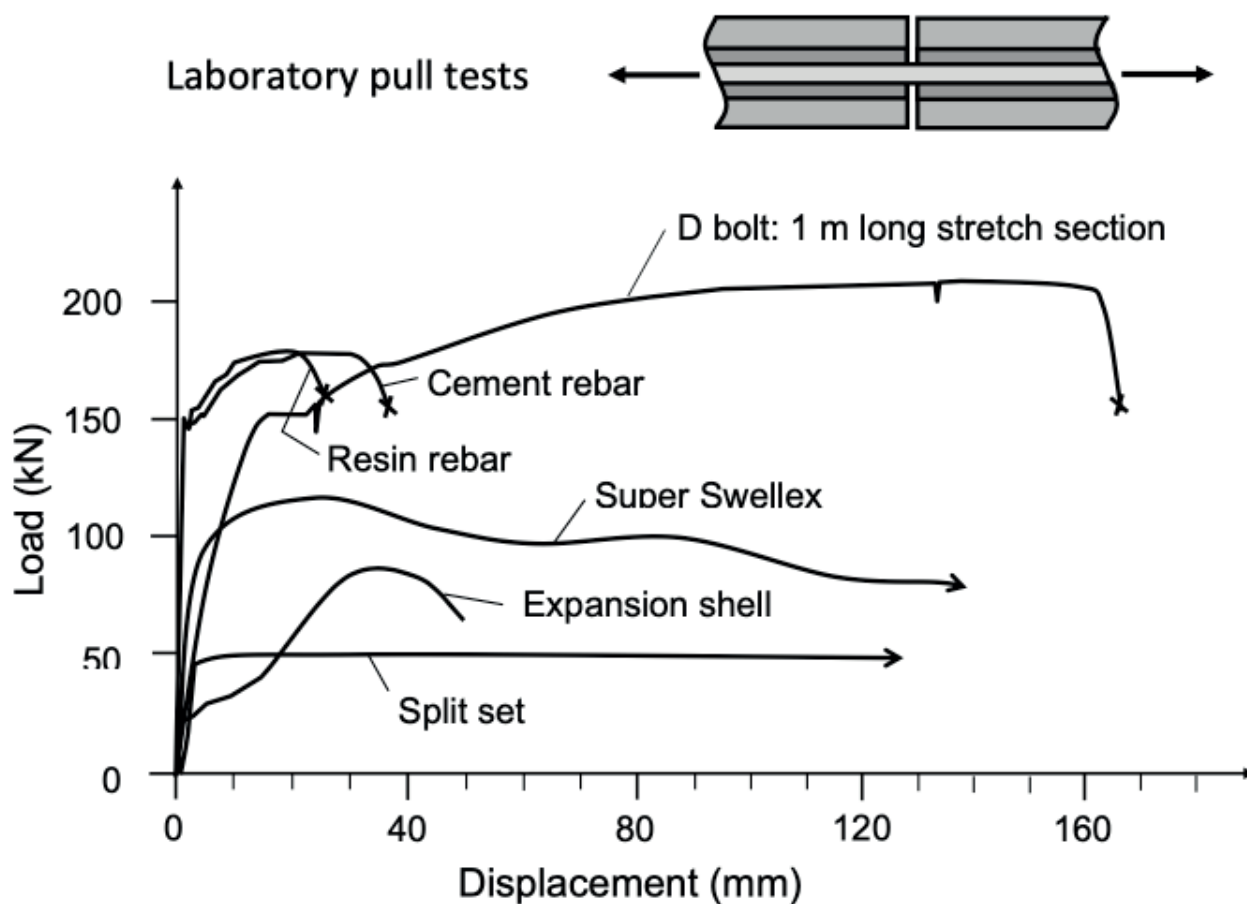
Numeriske modeller brukes stort sett for å beregne totalstabilitet i høye bergskråninger og store bergrom, og blir ikke beskrevet nærmere her.

Samvirke mellom berg og bergforsterkning kan teoretisk beskrives med responskurver for berget og bergforsterkningen. Bergets responskurve er en idealisert last-/deformasjonskurve, og viser hvilket

trykk en bergforsterkning må gi mot bergoverflaten for å oppnå likevekt og stoppe videre deformasjon. Disse betraktningene vil særlig være knyttet til komplisert strukturelt, spenningspåkjent berg /2/. Det finnes dataprogram som simulerer deformasjonene på stoff før og etter installasjon av bolter og andre sikringsmidler.

Som regel er det bergmassen selv som er det viktigste bærende element. For norske forhold er store deformasjoner særlig knyttet til bergtrykksproblemer (sprakeberg, bergslag) og svakhetssoner med innhold av svelleleire.

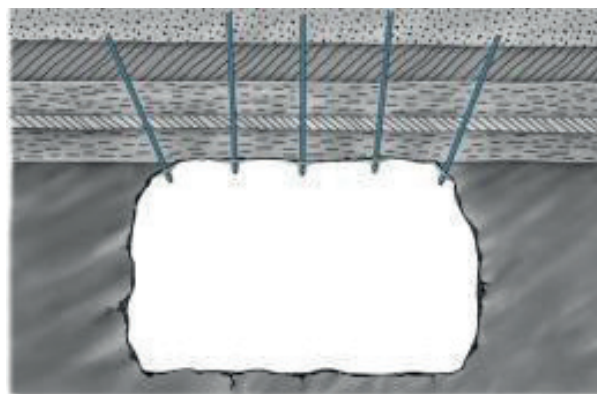
I et trekkforsøk med to adskilte sementblokker der bergbolten utsettes for strekk har det vært mulig å se på totaldeformasjonen i selve bergbolten og forankringen /19/. Utstyret kan også brukes til å kartlegge skjærdeformasjonen for endeforankrede og fullt innstøpte bolter (se figur 5.1).



Figur 5.1 Last-/deformasjonskurver for ulike bergbolter under trekkforsøk i blokker med en sprekk vinkelrett på boltene /19/.

Boreavvik kan medføre at bolten blir liggende an mot hullveggen på den ene siden slik at gysemassen ikke dekker boltestålet. Dette svekker boltens innfesting samt korrosjonssikring.

I bergarter med horisontalt 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 5.2. Ved bolting i horisontalt lagdelt berg 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, se /20/.



Figur 5.2 Bolting i horisontalt lagdelt berg

5.2. Spredt bolting

5.2.1. Antall bolter

Dimensjonering av en avgrenset blokk kan gjøres ved å anslå blokkens tyngde og legge boltens bæreevne til grunn for å bestemme antall bolter som må til for å holde blokka på plass. Eurokode 7 /16/ er gjeldende standard for dimensjonering av bolter, (1). Tradisjonelt er det brukt sikkerhetsfaktor, (2).

Eurokode 7 /16/ er gjeldende standard for dimensjonering av bolter:

$$(1) \quad n \cdot M_d \geq F_d$$

der

n = antall bolter

M_d = dimensjonerende styrke for bolten

F_d = dimensjonerende last

Dimensjonerende styrke på bolten (M_d) er karakteristisk styrke for bolten (M_k) dividert med en materialfaktor (γ_m).

$$M_d = \frac{M_k}{\gamma_m}$$

Dimensjonerende last er karakteristisk last (F_k) multiplisert med en partialfaktor for last (γ_f).

$$F_d = F_k \cdot \gamma_f$$

Tradisjonel metode for dimensjonering av bolter

$$(2) \quad n = \frac{GF}{B}$$

der

n = antall bolter

G = tyngde av løs eller antatt ustabil blokk eller blokksamling

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

B = boltens bæreevne (f. eks. boltens flytelast ved strekk)

Det er vanlig å se bort fra friksjon langs sprekker ved dimensjonering av sikring av enkeltblokker under jord. Tilstedeværende friksjon vil gi en ekstra sikkerhet i beregningen. Ved å påvise at dimensjonerende styrke på boltene er større eller lik dimensjonerende last kan partialfaktor brukes på følgende måte:

Eksempel partialfaktor:

En granittblokk på ca. 8 m^3 skal sikres med ende-forankrede bolter i vederlaget på en tunnel. Boltens tverrsnittsareal i gjengepartiet (svakeste del av bolten) er 245 mm^2 og stålet i bolten har en flytegrense på 500 MPa ($0,5 \text{ kN/mm}^2$). Materialfaktor for stål (γ_m) er 1,25. Partialfaktor for last (γ_f), det vil si usikkerheten for størrelsen på blokken og romvekten på berget er 1,5. Granitt har en romvekt på 27 kN/m^3 .

Dimensjonerende last,

$$F_d = 8 \text{ m}^3 \cdot 27 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,5 = 324 \text{ kN}$$

Dimensjonerende styrke av bolten,

$$M_d = 245 \text{ mm}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/mm}^2 / 1,25 = 98 \text{ kN}$$

$$\text{Antall bolt, } n \geq 324 \text{ kN} / 98 \text{ kN} \geq 3,31$$

Dette medfører bruk av minimum 4 bolter for å sikre den antatt ustabile blokka (illustrert i figur 5.3).

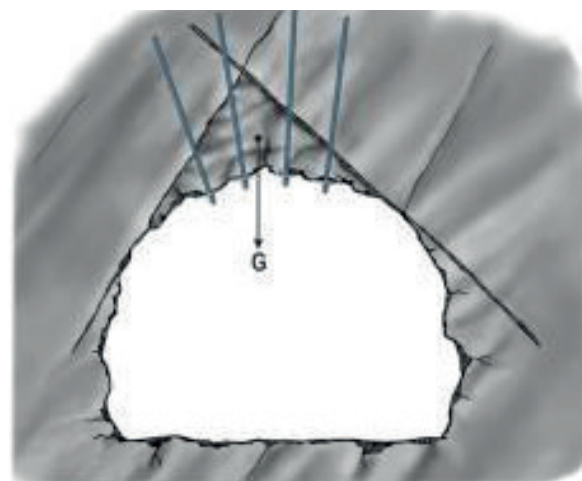
Eksempel sikkerhetsfaktor:

Den samme beregningen kan gjøres ved bruk av sikkerhetsfaktor. Med en sikkerhetsfaktor på 2 er beregningen følgende:

Antall bolt

$$n = (8 \text{ m}^3 \cdot 27 \text{ kN/m}^3 \cdot 2) / (245 \text{ mm}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/mm}^2) = 3,53$$

Resultatet blir det samme ved beregning med sikkerhetsfaktor som med partialfaktorer; 4 bolter.



Figur 5.3 Bolting av enkeltblokk

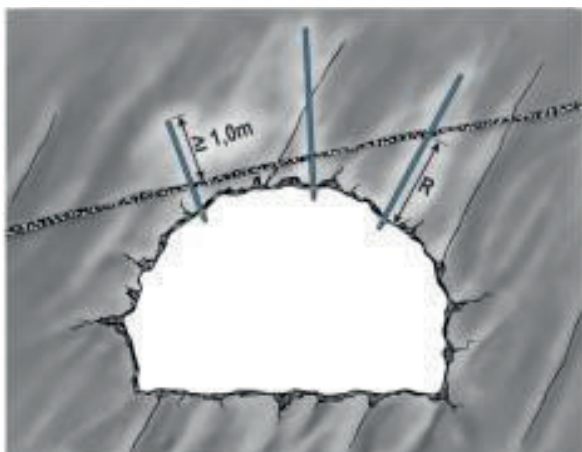
5.2.2. Boltelengde

Boltelengden (L) velges slik at bolten er forankret minst 1 meter inn i fast eller stabilt berg, se figur 5.4. Det er viktig å ta hensyn til usikkerheten på retning av avløsende sprekkeplan ved bestemmelse av boltelengden. Ved injeksjon må boltelengder tilpasses injeksjonsskjermen for å forhindre punktering.

$$(3) \quad L \geq R + 1,0 \text{ m}$$

hvor L = Boltelengde

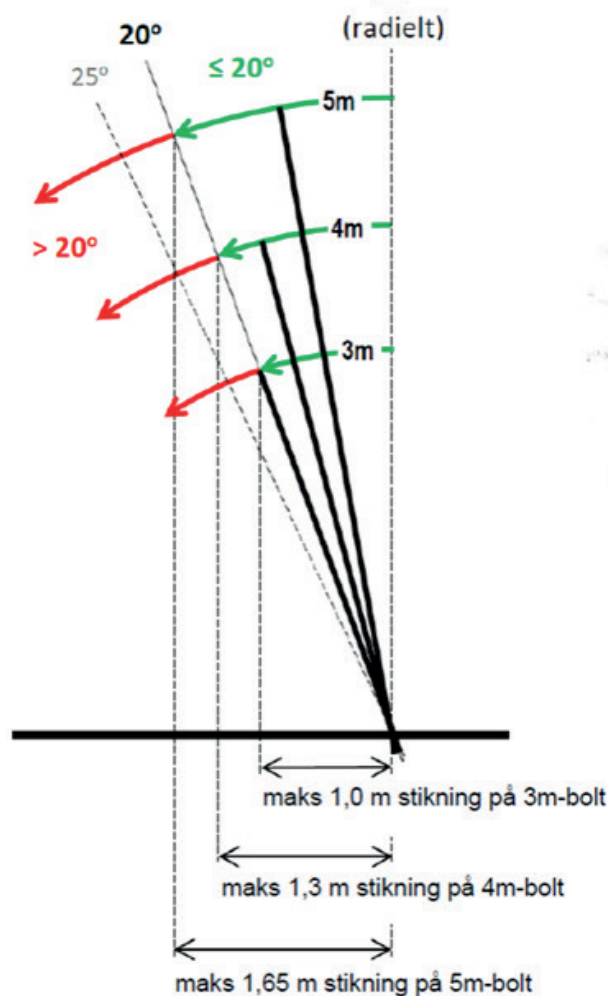
R = Boltelengde i ustabil del av blokka



Figur 5.4 Boltelengder av avgrensede løse blokker

5.2.3. Bolteretning

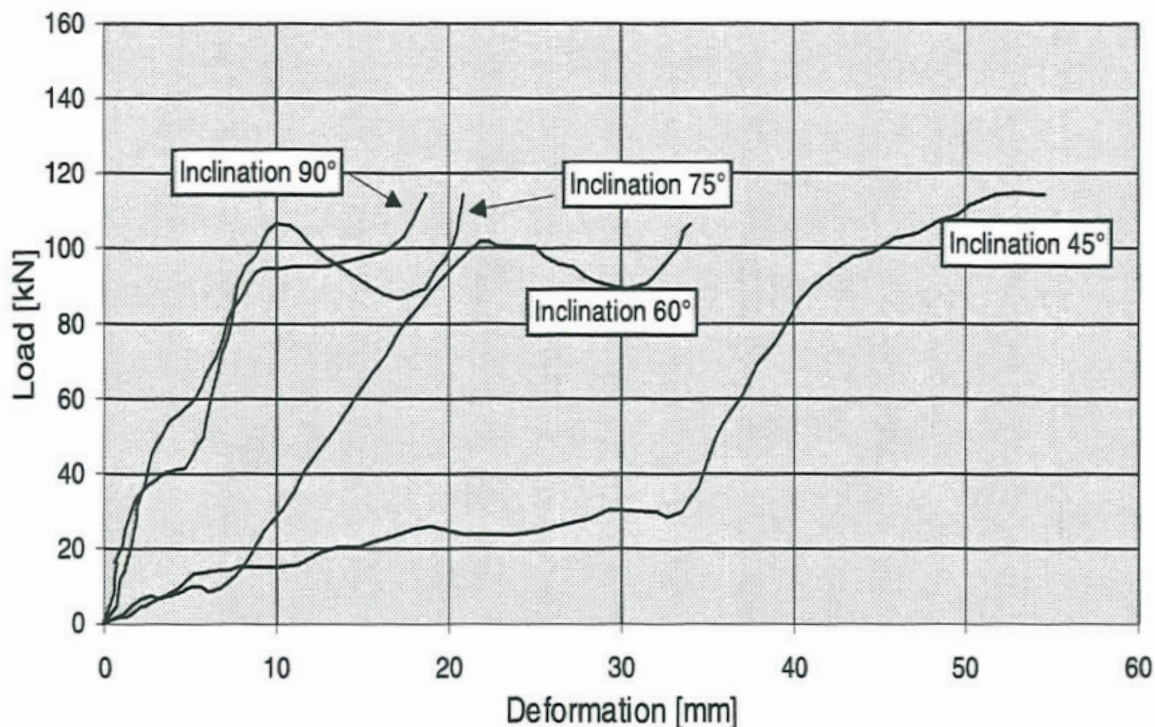
Bolten bør settes inn slik at dens strekk-kapasitet utnyttes i størst mulig grad. Endeforankrede bolter med polyester bør settes inn mest mulig vinkelrett på bergflaten for at samvirke mellom bolteplate og forankring skal bli best mulig. Halvkula vil ikke kunne ta opp et vinkelavvik på over 20° . Det vil si at minste vinkel mellom bergoverflate og boltens retning kan være ca. 70° , se figur 5.5. Figur 5.6 viser at deformasjonene for samme belastning på bolten lett kan fordobles når vinkelen økes til $60^\circ/10/$. Sikringsmessig er dette ugunstig. Problemet unngås ved en fullt innstøpt kamstålbolt fordi den har forankring langs hele boltens lengde.



Figur 5.5.

Boltens stikningsgrad er avhengig av lengden på bolten, det er viktig å holde seg til under 20° ved stikning

(Terje Kirkeby, Statens vegvesen).



Figur 5.6 Last-/deformasjonskurve for endeforankret bolt med kuppelformede sfæriske plater med ulik vinkel mellom plate og boltehull /10/.

5.3. Systematisk bolting

5.3.1. Systematisk, ikke-forspent bolting

Ved frisprenget av et bergrom med tilnærmet sirkulær heng antas det under gitte forutsetninger at et parabolisk formet selvberende hvelv dannes, der det oppsprukne berget primært er utsatt for trykkspenninger. En antatt ustabil bergmasse under trykksone kan stabiliseres med fullt innstøpte, ikke-forspente bolter som rekker minst 1 meter innenfor den nedre grensen for trykksone, se figur 5.7.

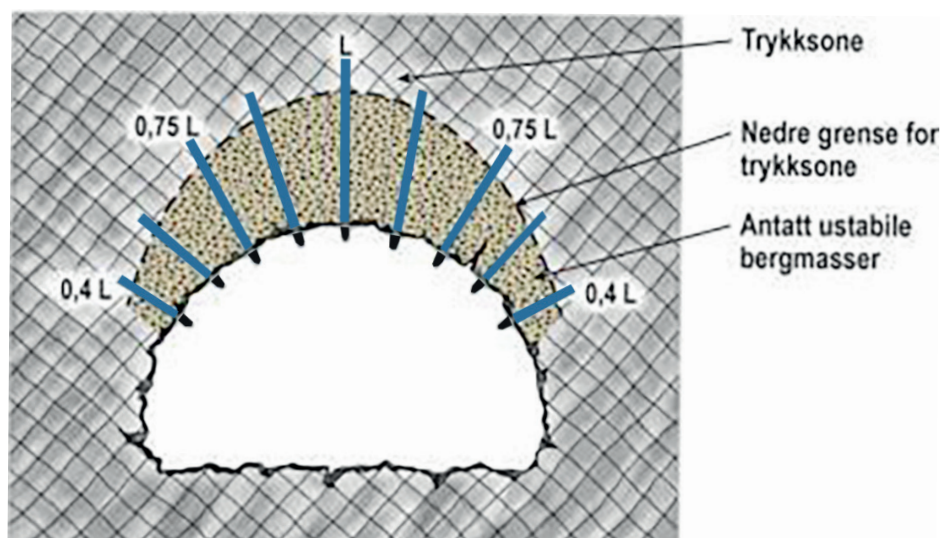
5.3.2. Boltelengder ved systematisk, ikke-forspent bolting

Veiledende boltelengder (L) kan bestemmes ut fra tunnelbredden (D) med følgende ligning (etter /1/).

$$(4) \quad L = 1,40 + 0,184D$$

Boltelengdene kan reduseres ut mot vederlagene, se figur 5.6. Av praktiske grunner er dette bare aktuelt ved relativt store bredder, for eksempel over 10 meter.

Ligning (4) er veiledende og generell. Ved bestemmelse av boltelengder må også de stedlige bergforholdene vurderes.



Figur 5.7 Avtagende boltelengder ut mot vederlagene

5.3.3. Bolteavstand ved systematisk, ikke-forspent bolting

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

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

Avhengig av oppsprekningen kan det også velges ulik avstand mellom bolteraster og bolter i hver rast. Boltemønstre vurderes ut fra bergforhold og baseres i stor grad på erfaringer. Bolteavstanden og eventuell bruk av andre sikringsmidler i tillegg til bolter varierer med bergforhold og sikringsnivå for berganlegget.

5.3.4. Systematisk, forspent bolting

Forspente bolter kan brukes til å danne en kompresjonsbue i berget, se figur 5.8. 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 /1/, /2/).

$L / a \approx 2$	hvor:
$a \leq 3e$	L = Boltelengde
$T \approx 0,5 - 0,8K$	a = Bolteavstand
	e = Midlere sprekkeavstand
	T = Forspenningskraft
	K = Boltens bruddkapasitet

Boltenes mulighet til å påvirke spenningsbildet i berget i vesentlig grad, er ofte meget begrenset. Dannelse av en kompresjonsbue vil være begrenset til skifrig/lagdelt berg og avspennt berg med liten innspenning /2/.

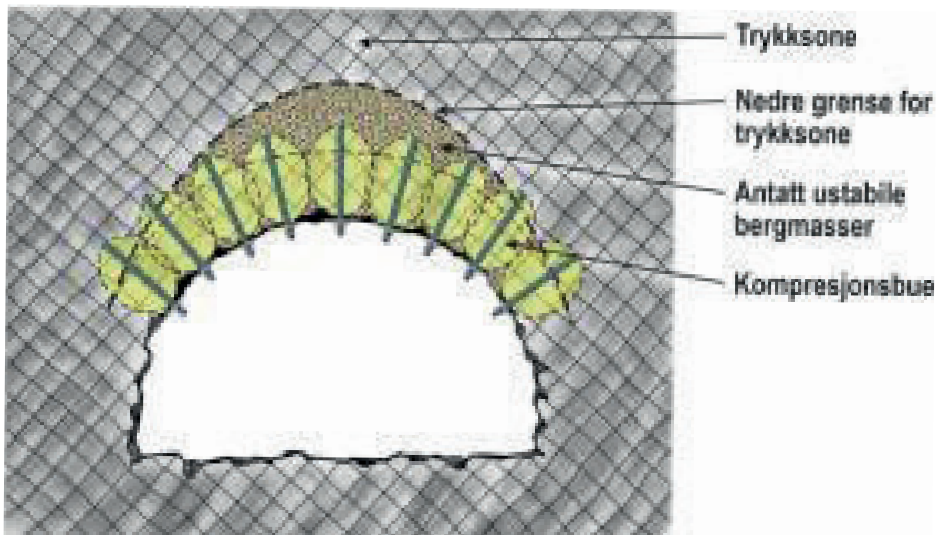
For å danne en kompresjonsbue bør boltene være like lange. Veiledende boltelengder (L) kan bestemmes ut fra tunnelbredden (D) med følgende ligninger (etter /1/, /2/):

$$(4) \quad L = 1,4 + 0,184D$$

$$(5) \quad L = 1,6\sqrt{1,0 + 0,012D^2}$$

Ligning (4) og (5) er veiledende og generelle, og de gir ulike boltelengder. Ligning (5) gir kortere boltelengder enn (4) og bør derfor bare unntaksvis brukes. Ligningene angir variasjonsområdet for boltelengder som bør brukes for å danne en kompresjonsbue. Boltelengder vurderes også ut fra de stedlige bergforholdene.

Endeforankrede bolter kan gi dårlig forankring i tett oppsprukket berg.



Figur 5.8 Dannelse av kompresjonsbue ved bruk av forspente bolter

5.4. Bolting i bergvegger og -skjæringer

Det er i prinsippet ingen stor forskjell på dimensjonering av bolter i tunnel og i bergvegger og -skjæringer. I høye vegger eller bergskjæringer og bergskråninger har imidlertid sprekkenes friksjon (skjærfasthet) ofte stor betydning, og sikringsomfanget kan bli svært omfattende 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.

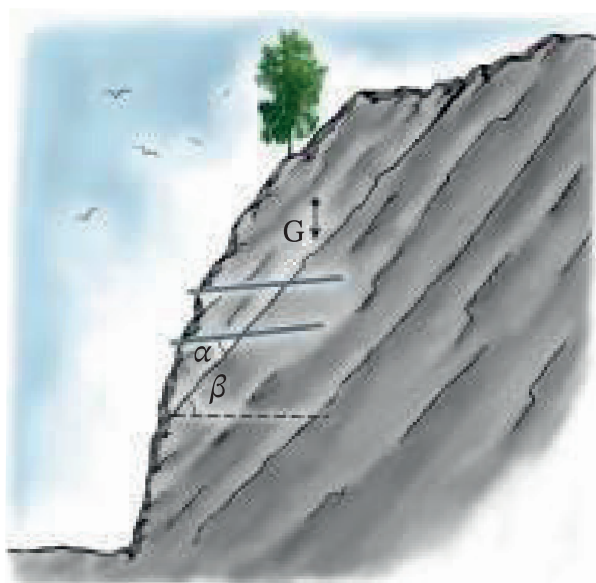
Sikring av vegger og bergskjæringer med bolter innebærer ofte å låse skjærbevegelser langs sprekkeplan ved å sikre antatt ustabil blokk til innenforliggende stabilt berg.

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 (6), se figur 5.9.

(6)

$$n = \frac{G(F \cdot \sin \beta - \cos \beta \cdot \tan \varphi) + U \cdot \tan \varphi - cA}{B(\sin \alpha \cdot \tan \varphi + F \cdot \cos \alpha)}$$

hvor: 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 5.9 Sikring av antatt ustabil blokk i bergskjæring

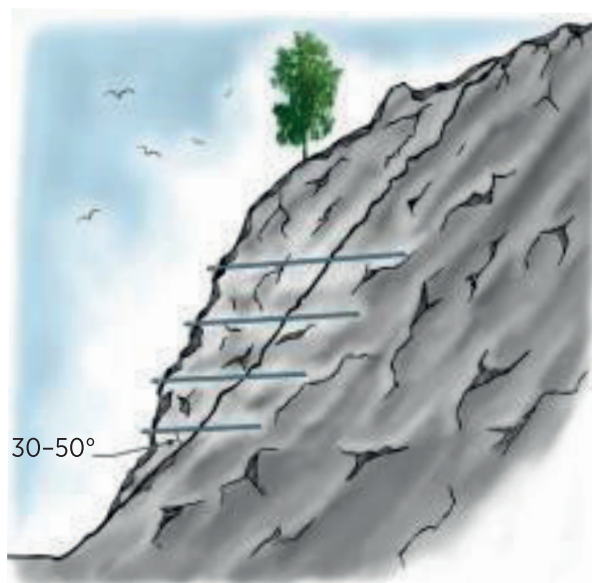
I forbindelse med større sikringsarbeider og bruk av stag, kan forspenningen i stagene utnyttes til å gi økt friksjon på sprekkeplanen. Ut fra friksjonsteori og empiriske undersøkelser er det utviklet formler (se for eksempel /22/, /23/).

5.4.1. Bolteretning ved bolting i bergvegger og -skjæringer

Bolter bør settes inn slik at strekk-kapasiteten utnyttes. Anbefalt vinkel mellom bolt og potensielt utglidningsplan er 30–50° (se figur 5.10) etter /24/, /25/. En kamstålbolts dimensjonerende styrke (fullt innstøpt) kan da antas å være utnyttet i størst mulig grad, ved belastning både på strekk og skjær.

Det er knyttet en del usikkerhet til boltens dimensjonerende styrke når den plasseres på rent skjær i berget (90° mellom bolt og potensielt utglidningsplan) /24/, /25/, /26/. Dette er blant annet avhengig av sprekkeflatens karakter og dermed bruddforløpet, samt boltetype. Kamstålbolts dimensjonerende styrke er tilnærmet halvert dersom den settes på rent skjær.

Dersom det benyttes bolter som endeforankres må det ved valg av bolteinkel tas hensyn til at bolteplaten/bergoverflaten kun kan ha et maks avvik til bolteretningen med 20° fra normalen.



Figur 5.10 Anbefalt vinkel mellom bolt og sprekkeplan

5.4.2 Risikovurdering av skjæringer

Alle bergskjæringer innehar en viss risiko, da man har endret på den opprinnelige stabiliteten i berget. Hver bergskjæring med høyde > 10 m bør følges opp som et særskilt objekt gjennom planleggings-, bygge- og driftsfasen.

Oppfølgingen bør inneholde:

- en helhetsvurdering inkludert en evaluering av totalstabiliteten (dedikert kartlegging av berget i skjæringen og området rundt, gjerne ved bruk av q-metoden)
- egen risikovurdering inkludert beregninger av mulige blokker som vist i likning (6)
- beskrivne utformings- og sikringstiltak med detaljerte beskrivelser av lengde og retning på bolter og eventuelt andre tiltak som stag eller simpelthen nedskyting av større blokker
- fagkyndig oppfølging og dokumentasjon.

Vi understreker at dokumentasjonen lik den som er beskrevet i kapittel 7 også kan brukes på sikring i dagen.

I risikovurderingen, må man vurdere hvilke funksjonskrav man har til skjæringen. Funksjonskrav for bergskjæringer på høyt trafikkert veg og/eller høyhastighetsveg/-bane bør tilkjennegei meget liten toleranse for svikt/utfall/ras.

6. Kontrollmetoder

6.1. Visuell kontroll under utførelsen

Monteringsprosedyren for den enkelte bolttypen må følges. Se monteringsbeskrivelse i kapittel 3 og kapittel 4 og/eller leverandør-/produktbeskrivelsen.

Kontroll av fullt innstøpte bolter utføres ved å observere at det kommer ut mørtel under plata som en utførelseskontroll i tillegg til dokumentert forbruk og riktig bøltemørtel. Ved frakobling av gyseutstyret skal det ikke renne ut boltemørtel. Hver bolt merkes at den er gyst.

Før oppstart av boltearbeidene bør den utførende entreprenør kontrollere boltemørtelens konsistens ved å installere bolt i et gjennomsiktig plastrør med tilsvarende dimensjon som boltehullet. Dette kan gjøres både med kombinasjonsbolt og med for eksempel mørtelinnstøpt kamstålbolt (bergjetmetoden). Under anleggsperioden bør denne øvelsen gjentas med jevne mellomrom. For tynn mørtel avsløres ved at mørtelen renner ut av plastrøret. Feil utførelse kan vises med manglende oppfylling av plastrøret.

6.2. Visuell kontroll av utført bolting

Utført bolting, det vil si boltetype, antall og plassering, sammenlignes med angitt sikringsklasse.

Det kontrolleres at vinkelen mellom bolt og bergoverflate ikke er mindre enn anbefalt, og at halvkula ligger riktig an mot platen.

Kontroll av forspenning og kalibrering/kontroll av forspenningsutstyr (muttertrekker) kan gjøres ved å plassere en hydraulisk jekk mellom bergoverflaten og endeplaten. For å oppnå mest mulig jevn friksjon i gjengene, bør disse smøres med for eksempel voks.

6.3. Kontroll av forankring ved prøvetrekking

Prøvetrekking med hydraulisk jekk blir brukt som kontroll av endeforankrede bolter. Det er viktig at prøvetrekkingen utføres av kyndig personell.

Vanlig praksis er å trekke boltene til en gitt øvre grense, for eksempel 50–70% av boltens karakteristiske styrke (flytegrense). Trekkingen foregår med en

Figur 6.1 Prøvetrekking med hydraulisk strekkprøvejekk



spesiell hydraulisk jekk (figur 6.1). Erfaring viser at forankring med polyester er tilfredsstillende når bolten kan trekkes til 4-5 tonn uten å sige.

Det skal tilstrebes å trekke bolten i bolteretningen. Om nødvendig skal det bygges opp under sylindere. Hvis mulig og forsvarlig med hensyn til stabilitet, så bør plata fjernes før prøvetrekking for å unngå skader på plata.

Prøvetrekking kan også foretas ved å trekke bolten til brudd. Dette angir nøyaktig forankringens, eventuelt boltens, kapasitet. Metoden er destruktiv, bolten ødelegges og må erstattes.

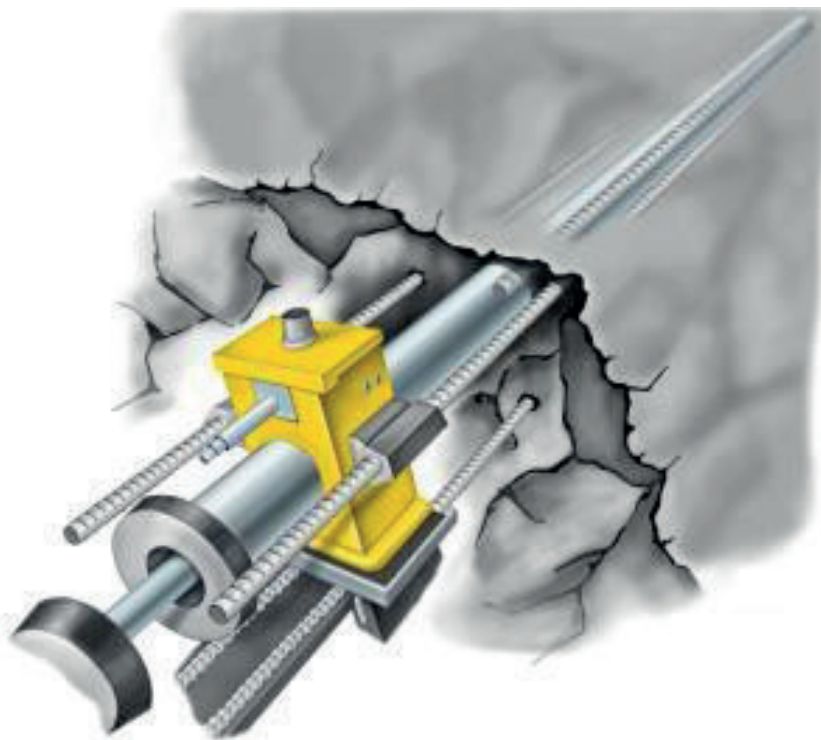
6.4. Kontroll av innstøpning ved utboring

Bolt og omliggende berg bores ut med kjerneborutstyr (figur 6.2). Utboringen er tidkrevende og kostbar. Innstilling foretas med utgangspunkt i utstikkende del av bolten. På grunn av boreavvik og krav til nøyaktighet ved innstilling av utstyr er det vanskelig å få godt resultat på utboringslengder over 2 meter.

Utboring av bolter er en destruktiv metode og bolten må erstattes.

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

Figur 6.2 Utboring av bolt



7. Dokumentasjon

Dette kapittelet er laget som en veiledning, og omtaler de ulike dokumentasjonsverktøyene for bolting. Målet er å få en bevisstgjøring av hva som finnes av verktøy og hjelpemidler, og for å vise muligheten av en full digitalisering av dokumentasjon.

De ulike verktøyene og hjelpemidlene vil bli beskrevet, og det vil bli presentert hvordan det samles inn og hvor disse dataene er nyttige. Dokumentasjon er et kontrollverktøy under og etter driving, og er like viktig i daglig drift som i sluttokumentasjon. Det anbefales at sikringsbolter registreres med antall, type, lengde, posisjon og retning. Hensikten med å dokumentere type (lengde og størrelse) og plassering (koordinat og vinkel) av bolt er for å sikre dokumentasjon hva som er satt hvor, hvilke boltetyper og -lengder som er brukt som sikring.

Målet må være å få samlet alle tunneldata i en modellbasert dokumentasjon, og å bruke dette aktivt i bygge- og driftsfasen. I Norge jobbes det aktivt for å digitalisere sluttokumentasjonen med BIM. Det vil være viktig fremover å få til en måte å registrere bolter fra borelogg og boltelogg sømløst inn i en slik

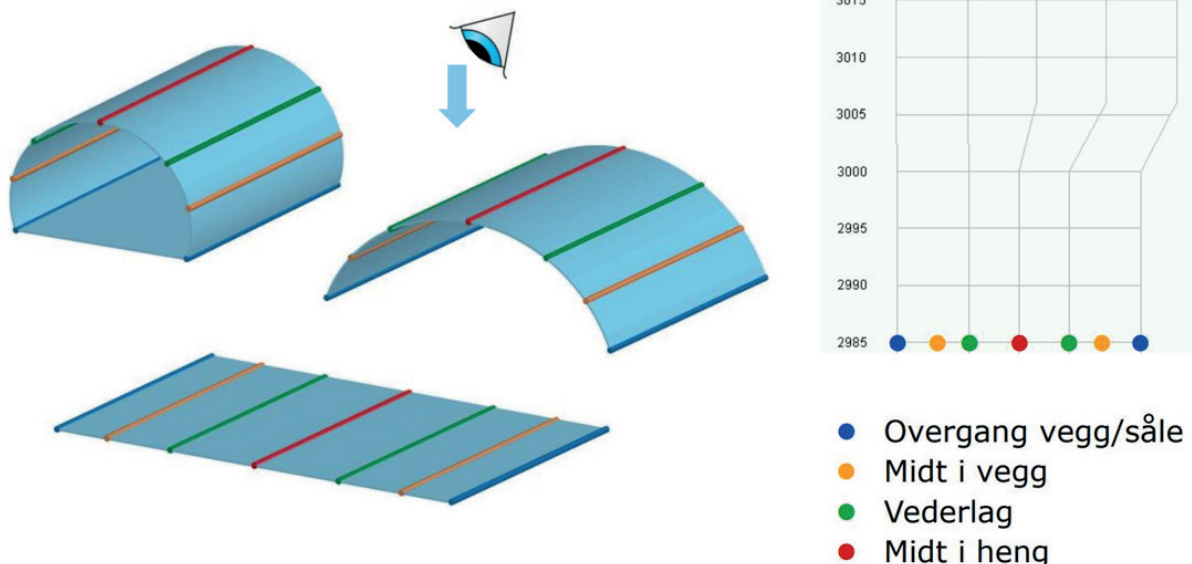
modell. Det er flere prosjekter som er i gang med dette, og det vil bli den nye formen å dokumentere på.

7.1. Definisjoner

Det er noen viktige begreper og definisjoner i tunnelterminologi som bør forklares for å forstå hvilke antakelser man tar når man konverterer et tredimensjonalt objekt og bretter den ut til et todimensjonalt plan

Utbrettsprinsippet

Tunnelprofilen blir brettet ut slik at avstanden langs profilet samsvarer med buelengden i det teoretiske sprengningsprofilet. Synsvinkelen på utbrettet profil er som man hadde sett det utenfra/ovenfra (indikert med øyet i Figur 7.1). For å kunne brette det ut, må man etablere et fast punkt som tunnelen skal ta utgangspunkt i når den blir lagt flat. Det gjøres ved bestemme fire hovedpunkter; overgang vegg/såle, midt i veggen, vederlag og midt i heng. Midt i heng er da senter i tunnelen. (Ref /27/)



Figur 7.1 Utbrettsprinsippet, hvor senterlinje av tunnelen er midt i heng. Til høyre er det utbrettete profilet slik det vises i 2D der fargekodene viser til de tilsvarende linjer /27/.

Kartkoordinater og tunnelkoordinater

Koordinater i en tunnel er fundamentalt for tunnel-driving og bergsikring. Koordinater blir brukt for å bestemme plassering av objekter (bolter og boltehull) til et fast punkt (pelnummer). I tunneler benyttes det to koordinatsystem, et globalt og et lokalt, også kjent som kartkoordinater og tunnelkoordinater.

Figur 7.2. viser tunnelkoordinat, hvor h er angitt som «opp», a er pelnummer og b er avstand fra senterlinje til siden. Et eksempel er at pelnummer (a) = 420, side (b) = - 9.5m og høyde (h) er 10m.

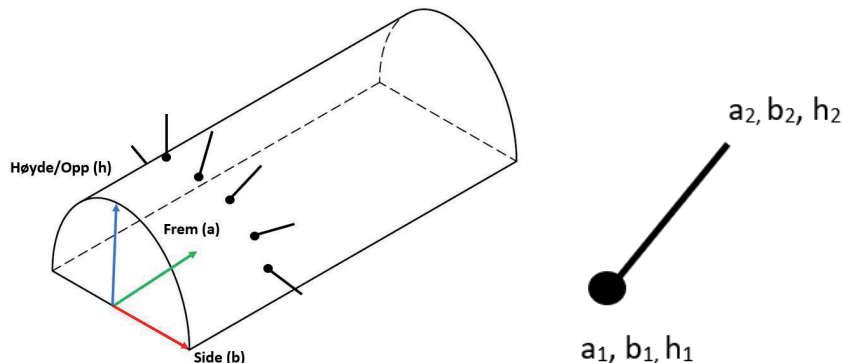
Figur 7.3 viser kartkoordinatsystem, hvor Z er angitt som «opp», X er øst og Y er nord. For å kunne benytte seg av kartkoordinater må man ha et koordinatsystem. I Norge (siden 2009) bruker man EUREF89 UTM (Universal Transversal Mercator). Det er tre offisielle EUREF89-soner i Norge i dag, UTM 32, UTM 33 og UTM 35, UTM-prosjeksjonen har en målestokkfaktor på 0,9996 i sentralmeridianen. Det vil

si at en avstand målt i terrenget, må korrigeres med inntil 400 ppm (parts per million) eller 4cm/100m. «Målefeilen» er avhengig av avstanden fra sentralmeridianen, for å omregnes til en avstand i kartplanet. For de fleste konstruksjoner og veier er EUREF UTM koordinatsystemet godt nok. Utfordringene ligger ved utstikking av byggeprosjekter med strenge toleransekrav som sammenføring av bygningsdeler /28/.

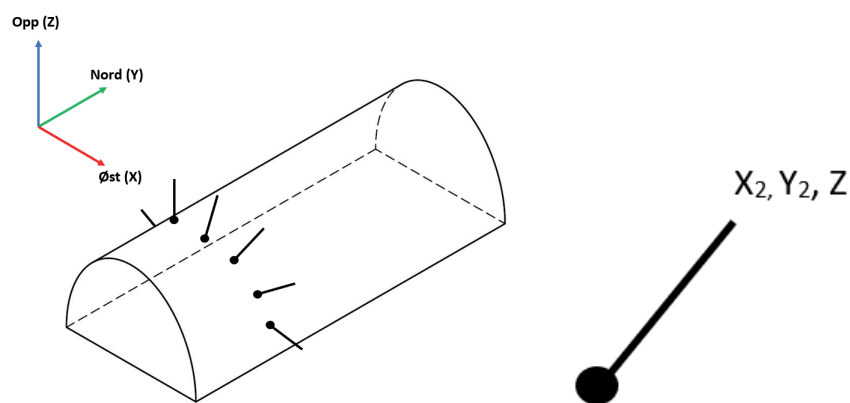
Løsningen på dette problemet var å innføre en ny sekundær offisiell projeksjon, **EUREF89 NTM** (Norsk Transversal Mercator) med sonene 5 - 30. Dette koordinatsystemet vil ha en maksimal målestokk-koreksjon innenfor sonebredden på 11 ppm i Sør-Norge og 5 ppm lengst nord. Dette koordinatsystemet vil da tilfredsstillere alle praktiske formål hvor konvensjonelt måleutstyr benyttes /28/.

I tunnelvirksomheten brukes tunnelkoordinater først og fremst til kontur og linjer, mens nesten alle data som genereres av maskinene under driving bruker et kartkoordinatsystem.

Figur 7.2.
Tunnelkoordinatsystem (t.v)
hvor a er pelnummer, b er avstand fra senterlinje til side og h er høyde og normal på senterlinje. Bolt (t.h) viser tunnelkoordinat med ansett (a_1, b_1, h_1) og bunn (a_2, b_2, h_2).

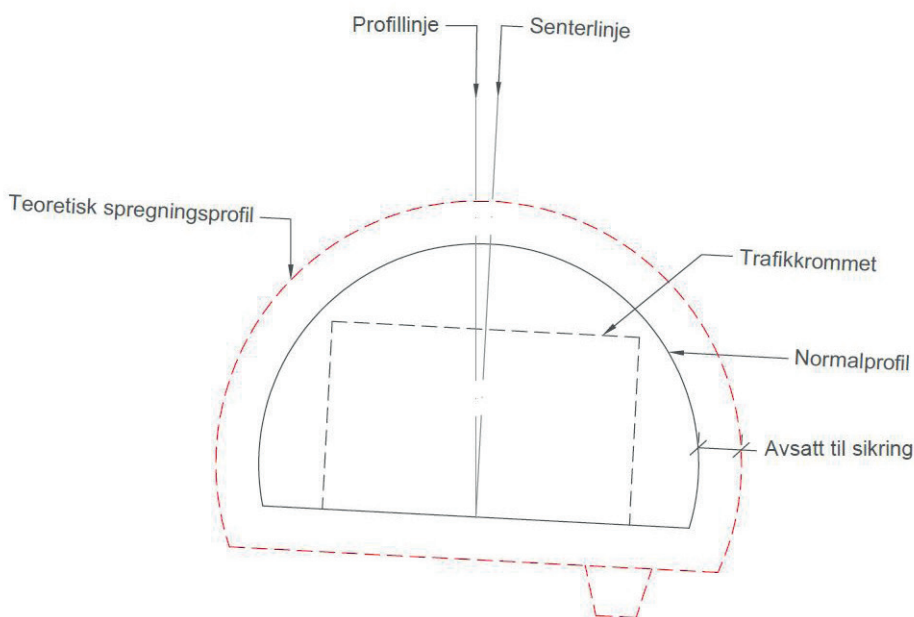


Figur 7.3. Tunnel med kartkoordinatsystem (t.v) øst er X , nord er Y og opp er Z . Bolt (t.h) viser kartkoordinat med ansett (X_1, Y_1, Z_1) og bunn (X_2, Y_2, Z_2).



Tunnelprofil

Figur 7.4. viser todimensjonale tunnelprofiler med vanlig sideveis helning.



Figur 7.4 Sjematisk tunnelprofil, stiplet rød linje er teoretisk sprenningsprofil med sideveis helning.

7.2. Metoder for registrering av bergsikring

Det finnes hovedsakelig fem metoder for å registrere bolter, og det kan være hensiktsmessig å kombinere flere for å få et godt totalbilde.

Manuell dokumentering

Dette er den tradisjonelle metoden å dokumentere bolting på. Boltemønstret, lengde og type er bestemt ut i fra den omliggende bergartens Q-verdi. Selve loggen blir laget av en boltebas som gir den videre til kontrollingeniør som sjekker at det har blitt gjort i henhold til bestilling.

Borelogg fra borerigg

En navigert borelogg kan gi informasjon om boltehullenes posisjon, retning og lengde, med (X, Y, Z)-koordinater for ansett og retning på hullet. Imidlertid kan ikke boreloggen gi informasjon om det faktisk er plassert en bolt i hullet, eller om det er satt en kortere bolt enn lengden på hullet.

Innmåling med totalstasjon

Innmåling med totalstasjon kan gi informasjon om selve boltens ansett med (X, Y, Z)-koordinater, men ikke retning og lengde. Antatt at man ikke måler inn boltehull uten bolt i, vil man vite at det er plassert en bolt i dette hullet.

Registrering med kamera

Bilder gir en visuell oversikt over boltene i et område, men vil normalt ikke kunne brukes til å produsere koordinatlistene. Boltene vises uten definert retning og lengde, men boltenes vinkel mot bolteplaten kan gi en antydning om retningen.

Modellbasert dokumentasjon

Det har med tiden blitt stilt flere krav til slutt-dokumentasjon og nå er det ofte et krav fra de store byggherrene at modellbaserte metoder skal benyttes i planlegging, prosjektering og bygging av prosjekter.

7.2.1. Manuell kartlegging


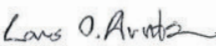
Praksis for kontroll av bolting i dag er stikkprøvebasert, og at kontrollingeniører ikke skal trenge å kontrollere alt når det er godt berg. Ved kritiske soner og dårlig berg, bør alt kontrolleres og ofte blir det bestilt ekstra bolter i ettertid. Når kontrollingeniøren gjør en kontroll, telles antall bolter i tunnelen for

hver salve og sammenliknes med bolterapporter fra entreprenør (se figur 7.5.)

Eventuelt så summeres disse bolterapportene sammen i en mer overordne loggbok (se eksempel i figur 7.6.)

I fagsystemet		Dokumentnr:	KS-TUN-50.3330	Versjonsnr:	2.0 <th>Versjonsdato</th> <td>07.02.2016</td>	Versjonsdato	07.02.2016
På prosjektet		Revidert dato:	01.11.2017	Godkjent av :			
Dato:	27.9	Tunnel :	SCGN	Fra profil	3538	Til profil	3531
				Rapport nr:		089	

Bolt	Merke	Lengde	Ant.
CT bolt	X	2.4	20
CT bolt	Y		
CT bolt	Z		
Endeforankret bolt	Ø		
Fullt innstøpt 20mm	O		
Fullt innstøpt 32mm	K		
Fjellbånd	F		

 Sign. bas
27.09.18  Sign. Byggherre

Andre kommentarer:

Figur 7.5. En tradisjonell bolterapport (med tillatelse fra Veidekke).

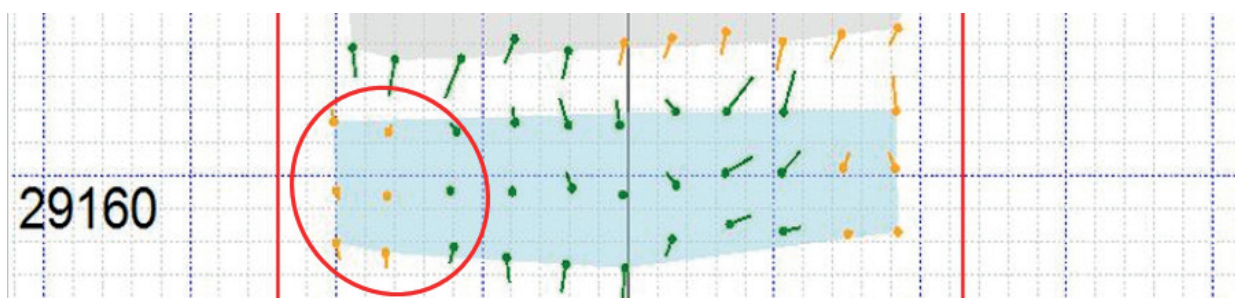
Utført sikring (utført når, pel fra-til, m3 og antall/lengder bolt, gysing):			
Rigg	Pel fra	Pel til	Hva?
	11584,5	11590	16m3 E1000
	11584,5	11590	20x4m

Figur 7.6. Eksempel på loggbokføring (med tillatelse fra Statens vegvesen).

7.2.2. Borelogg fra borerigg og innmåling med totalstasjon

Borelogg og innmålte bolter vil kunne gi kart- og tunnelkoordinater. Figur 7.7. er basert på borelogg, og viser et utbrettet todimensjonalt kart av boltehull hvor lengde er beskrevet av fargekoder vist i tabell 7.2., og strekene utfra prikken er boltehullenes orientering. Tabell 7.1. viser et utdrag av en koordinatliste, lista inneholder både tunnelkoordinater og kartkoordinater for boltene i den røde sirkelen i Figur 7.7. Pelnummer og konturlengde er brukt for å plassere

boltehullet i det utbrettede boltehullkartet. Konturlengden blir bestemt ut fra hvor boltehullet ligger i forhold til senterlinje (svart), til venstre blir verdiene neagtive og til høyre poistive. De røde linjene på hver side av bolteloggen representerer overgangen fra vegg til såle. Kartkoordinatene er bestemt ut fra parameterne Nord, Øst og Opp. Ansett vil si hvor boltehullet starter og bunn vil være der boltehullet ender.



Figur 7.7. Et eksempel på todimensjonalt boltekart /29/

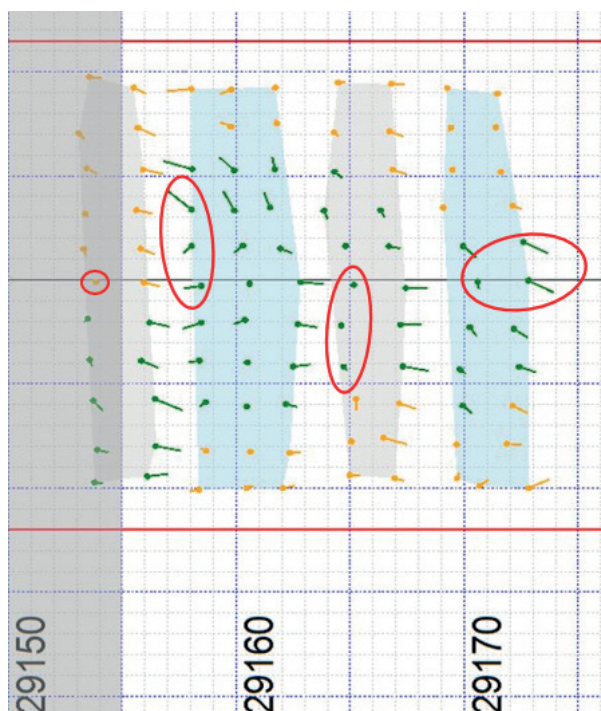
Koordinater								
Pel	Lengde (m)	Ansett - Nord	Ansett - Øst	Ansett - Opp	Bunn - Nord	Bunn - Øst	Bunn - Opp	Konturlengde
29162.045	3.201	1552533.8	84744.319	-218.587	1552533.1	84747.437	-218.592	-9.996
29160.466	3.19	1552532.5	84743.366	-218.626	1552531.5	84746.406	-218.637	-9.997
29158.364	3.205	1552530.4	84742.89	-218.573	1552528.8	84745.67	-218.418	-10.078
29158.678	3.193	1552530.7	84743.022	-220.595	1552529.3	84745.82	-221.222	-8.203
29160.618	3.2	1552532.8	84743.165	-220.401	1552531.7	84746.115	-220.997	-8.253
29162.354	3.192	1552534.2	84744.166	-220.36	1552533.5	84747.245	-220.777	-8.302
29162.176	4.203	1552534.6	84743.022	-222.618	1552533.7	84746.448	-224.899	-5.966
29160.458	4.192	1552532.9	84742.461	-222.562	1552531.6	84745.807	-224.743	-6.088
29158.659	4.203	1552531.3	84741.585	-222.729	1552529.8	84744.772	-224.967	-5.872

Tabell 7.1. Kart- og tunnelkoordinater for det todimensjonale boltekartet vist i figur 7.7.

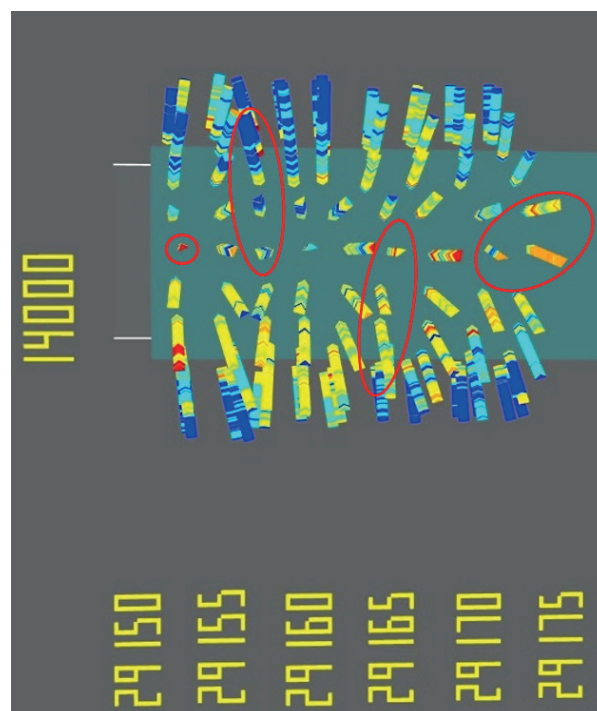
10	Antall bolter		
11	Lengde (m)	Antall	Farge
12	2.5 - 3.5	42	Orange
13	3.5 - 4.5	46	Grønn

Tabell 7.2. Lengden til de forskjellige boltene med fargekode /29/

Det å kunne se på bolteloggen i 3D, for eksempel i en 3D-pdf, kan være svært nyttig for å kunne orientere seg i henhold til hvordan bolthullene er boret i tunnelen. Figur 7.8. viser boltekart i 2D, der tre røde ringer som markerer de samme boltehullene vist i 3D i Figur 7.9. i samme område av samme tunnel. Bolthullene i seg selv er farget ut fra MWD-tolkning.



Figur 7.8. 2D-boltekart, her er det markert med røde ringer rundt bolter som er vist i figur 7.9. i 3D. /29/.

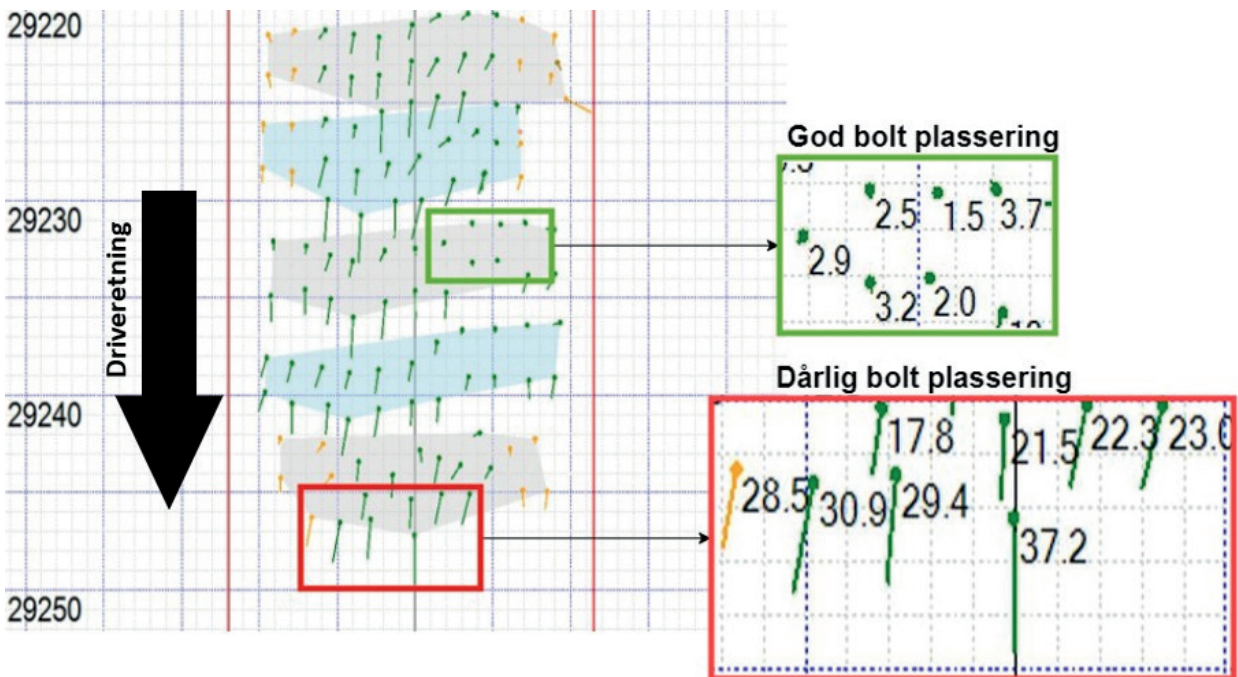


Figur 7.9. 3D-visualisering av borelogg. Røde ringer markerer samme bolter som i figur 7.8. /29/

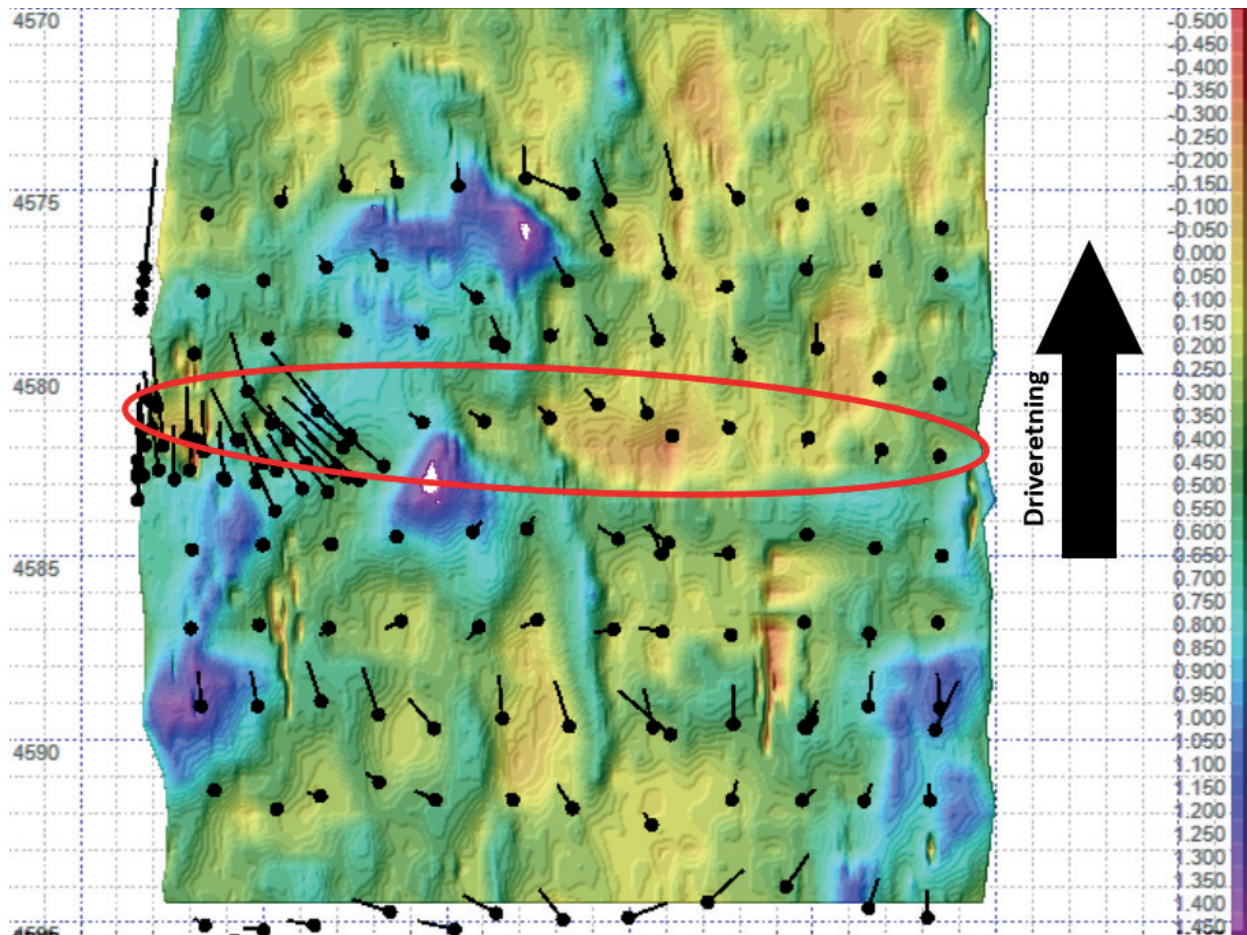
Boltehullkart kan også vise retning på boltehullet og kan avsløre eventuelle avvik fra kravene om at en bolt overstiger 20° avvik fra normalt på teoretisk kontur (se figur 5.5). Figur 7.10. viser et område hvor boltehullene er boret dårlig i forhold til 20° avvikskrav, men har et område hvor de er nærmest radielt på teoretisk kontur.

Det kan være flere årsaker som kan forklare at et boltehull viser at det overstiger 20° normalt på teoretisk sprengningsprofil. Hovedårsaken er hvordan det faktiske sprengte profilet ser ut, og det er da viktig å finne ut om man har knøler og overfjell i

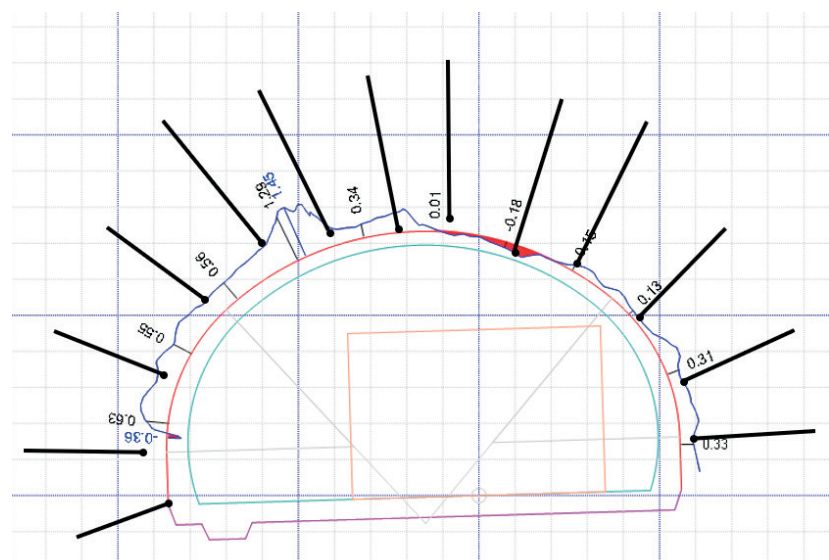
profilet. I norske tunneler prøver man å ligge på gjennomsnittlig 0,35 m overfjell. Hvis man da borer et boltehull for å sette en bolt i et område med knøl eller overfjell, så havner ikke ansett og bunn radielt på teoretisk sprengningsprofil, selv om det kan være radielt på det faktiske sprengningsprofilet. Det finnes flere måter å kontrollere og visualisere det på. Figur 7.11. viser et flatkart fra profiler og Figur 7.12. viser et tverrprofil, slik at man tydelig kan se boltehullenes avvik fra teoretisk kontur. Her får man fort oversikt over hvordan hengen og vegger ser ut, det er mulig å legge til boltehull slik at det blir tydelig hvor boltene er satt.



Figur 7.10. Boltekart med grader avvik fra radielt satt bolt, sammenlignet med teoretisk kontur /29/



Figur 7.11. Flatkartet viser avvik fra teoretisk sprengningsprofil. Rød farge vil være teoretisk sprengningskontur, blå-fiolett farge vil være fjell over teoretisk sprengningsprofil (spire), mens hull i tunnel vil være innenfor teoretisk sprengningskontur (knøl). Rød sirkel indikerer tverrprofilet vist i figur 7.12. /29/



Figur 7.12.
Teoretisk sprengningskontur (grønn)
mot faktisk sprengningskontur (rød).
Knølen er vist som rødt område /29/.

7.2.3. Registrering med kamera

Fotografering kan gjøres med vanlig håndholdt kamera, eller med et spesiallaget kamera som er laget for å tåle fastmontering på bore- og sprøterigg, se figur

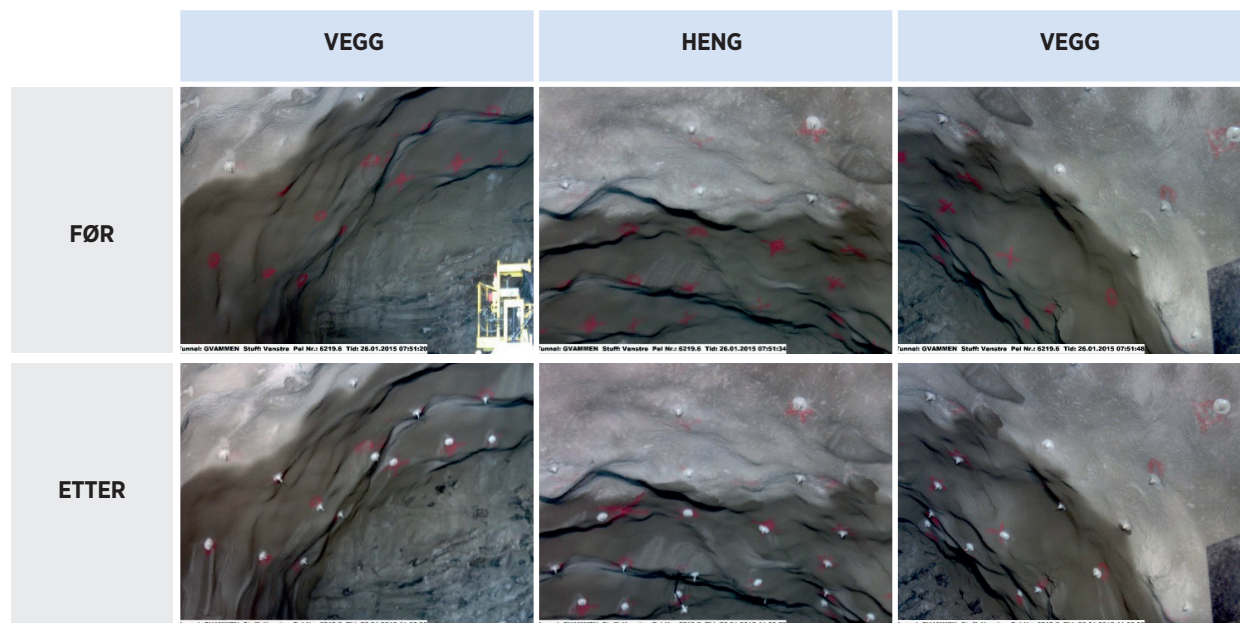
7.13. Fordelen med å benytte fastmontert kamera er at man kan stille inn fast vinkel på bildene slik at de blir like hver gang, og tunnelutstyr har arbeidslys som gir gode lysforhold for fotografering.



Figur 7.13. Det kan dokumenteres enten med et håndholdt kamera, her et nettbrett (t.v) eller med et fastmontert kamera på en bore- eller sprøyterigg (t.h).

Figur 7.14. er en bildeserie som viser en heng før og etter bolteplassering. Bildeserien som er i før-raden viser med rød spraymaling hvor boltene skal settes. Etter-raden viser satte bolter på rød spraymaling. Med slik fotografering får man fort oversikt over

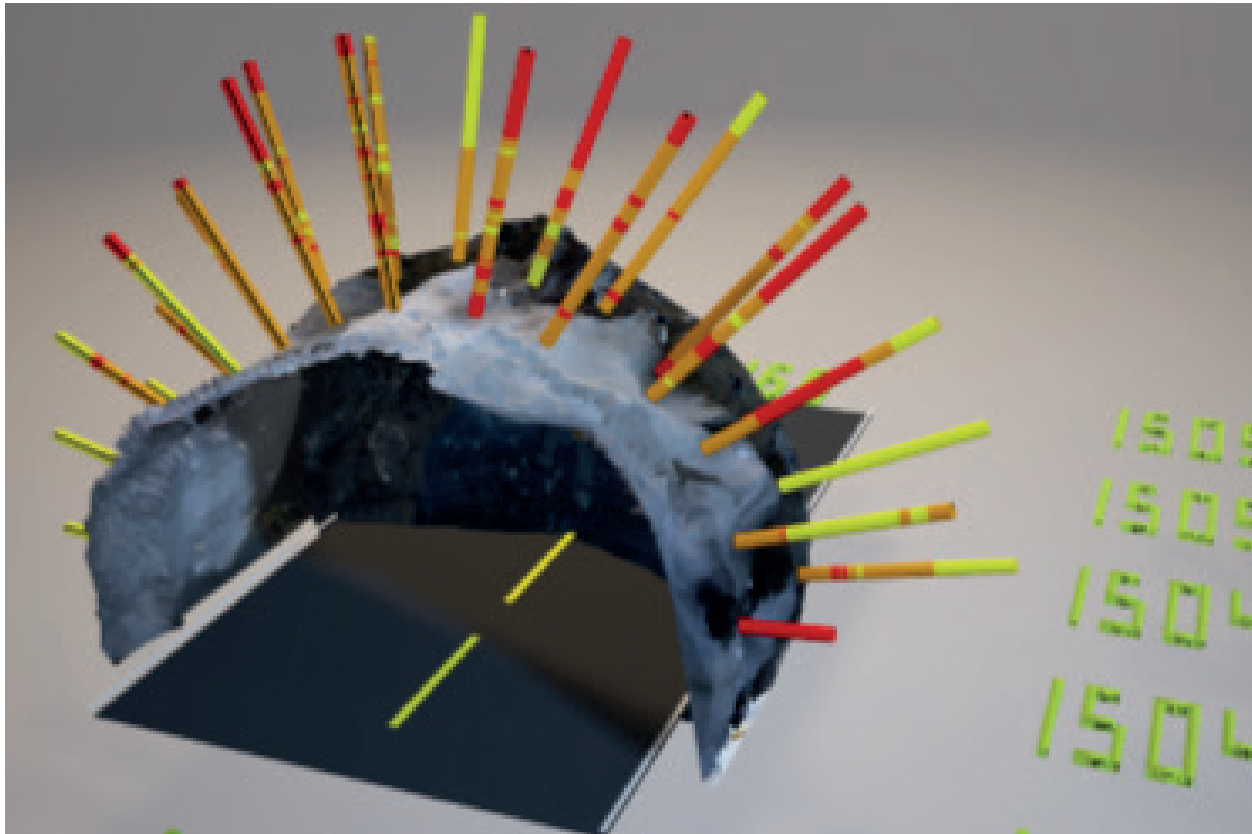
hva som skal bli satt og om alle boltene er satt. Her kan man også kontrollere knøl og overfjell og om hvordan boltene er plassert i det faktiske sprengte tunnelprofilen.



Figur 7.14. Øverste rad viser oppmerking av bolter i rødt på fersk sprøytebetong. Nederste rad viser samme område, med plasserte bolter. Her er det sprøytet for hver salve, nærmest i bilde er forrige salve mens de nysatte boltene er fra siste salve. Bildet er tatt fra pelnummer: 6219.6, Gvammen – Århus, 2015.

Figur 7.15. viser hvordan man kan kombinere et fastmontert kamera som gir høyoppløselige bilder med skann fra profiler som gir boltene koordinater

og boltedata fra MWD. Bildet viser virkelig kontur og boltehullene.

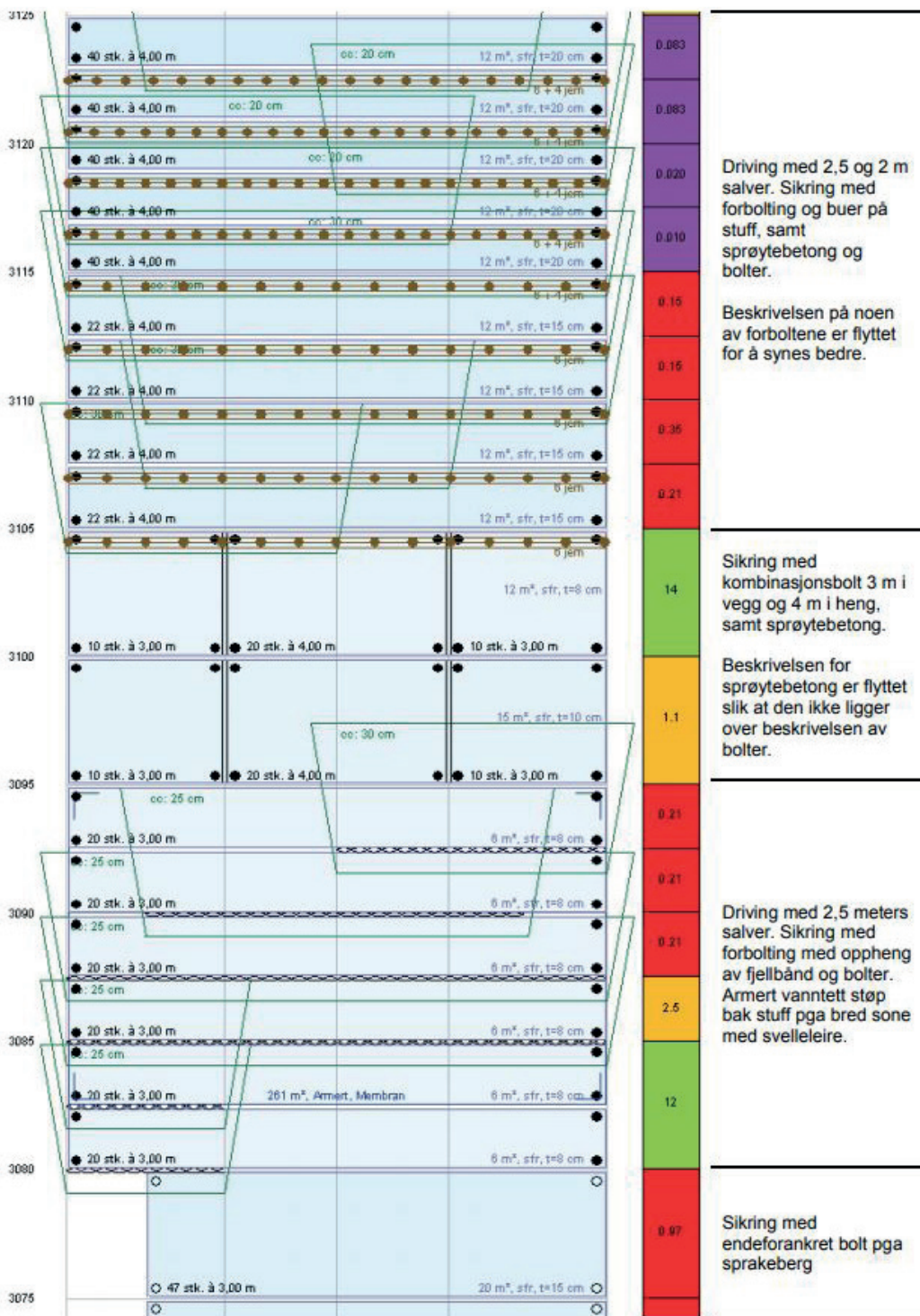


Figur 7.15 Høyoppløselige bilder som samles inn av et fastmontert kamera på borerigg. Bildene av tunnelen er lageet basert på et profilsann, deretter er boltehull fra MWD lagt på.

7.3. Sluttdokumentasjon

Det anbefales at sikringsbolter registreres med type, lengde, posisjon og retning. Der hvor arbeids-sikringen inngår i permanentisikring, skal alle bolter dokumenteres. Det er anbefalt å levere sluttdokumen-

tasjon med sammenstilling av data fra hele prosjektet. Det finnes flere måter å hente inn data til dokumen-tasjon for bergsikring, og det som er mest brukte programvarer og selskaper i Norge er NovaPoint Tunnel, Rockma, Bever Control AS og Gemini.



Figur 7.16. Et eksempel på hvordan en fullstendig dokumentasjon av bolter kan se ut /27/.

NovaPoint Tunnel

NovaPoint Tunnel er en programvare som er laget for detaljert tunnelmodellering og brukes til å registrere og rapportere geologi og bergsikring. Figur 7.16. viser hvordan boltene er presentert i NovaPoint Tunnel. Figur 7.16. viser dokumentert bergsikring i rapport. Bolter ved stoff er vist som svarte rammer og med en sirkel i hvert hjørne, hvis sirkelen er åpen er de endeforankret, fylt er innstøpt/kombinasjonsbolt og kors er andre typer. Har man forboltet blir dette vist som grønne trapeser. Høyden/lengden på trapeset er den samme som boltelengden som legges inn. Sprøytebetong er presentert som blå rammer som er farget med lyseblått fyll. Fyllfargen bestemmes av tykkelsen med 8 cm som lysest og 40 cm som mørkest. Sikringsbuer er de brune strekene som er i forbindelse på hver side, de brune sirkelene er antall bolter. Fjellbånd vises som en lenke i svart, den legges inn ved et start- og slutt punkt. NovaPoint presenterer boltene med antall og ikke nøyaktig posisjon.

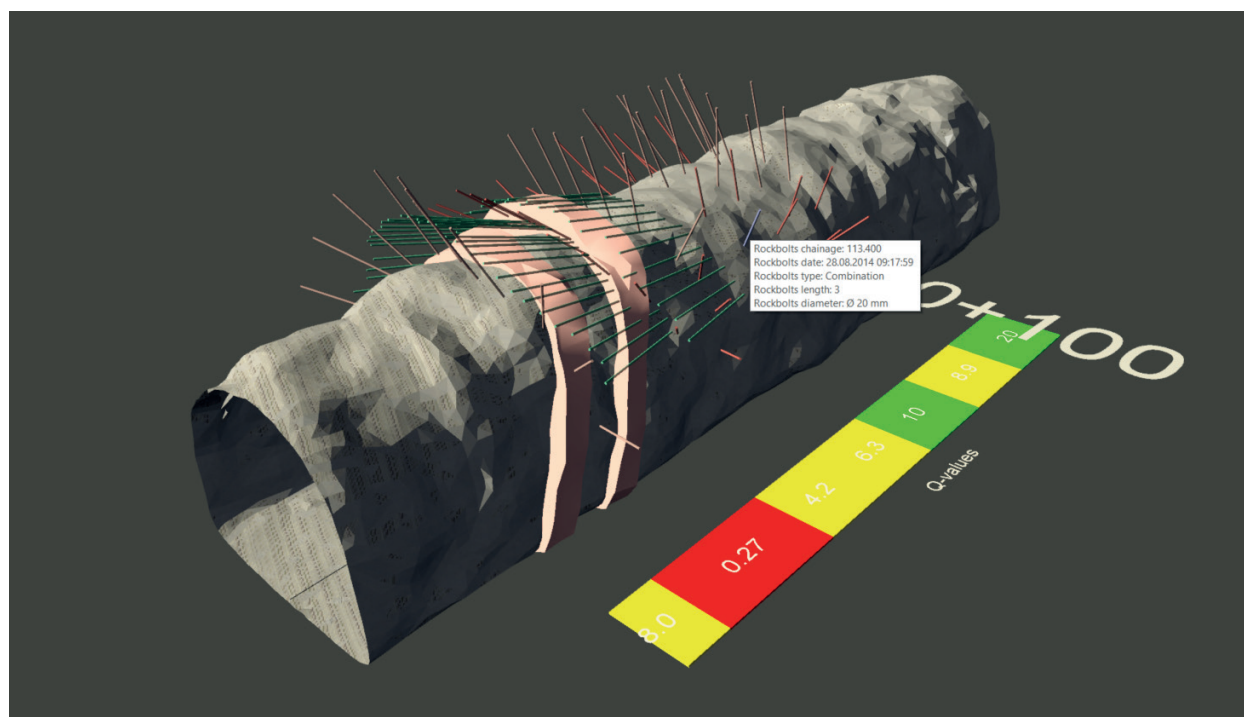
Modellbasert dokumentasjon:

I dag stiller alle de store byggherrene krav til at modellbaserte metoder skal benyttes til planlegging, prosjektering og bygging av kommende prosjekter. Stadig oftere stilles det og krav til at «som bygget»-dokumentasjon skal være modellbasert. Dette markerer en overgang fra tegningsbaserte leveranser til

tegningsløse modellbaserte prosjekt, der samordningsmodellen står sentralt. Dette skaper nye muligheter i forhold til både planlegging, utførelse og dokumentasjon av bolting. Fordeler ved modellbasert boltedokumentasjon kan være:

- Beregning av boltemengder kan gjøres direkte fra modell, og revideres etter aktuelle forhold
- Faktisk plassering av boltene kan enkelt visualiseres og en kan gjøre vurderinger på utførelse og kvaliteten av bolting.
- Bolting kan sees i sammenheng med annen sikring, tunnelgeometri eller geologiske forhold
- Det gir en forholdsvis nøyaktig sluttdokumentasjon, som kan være nyttig ved rehabilitering eller planlegging av nye anlegg i nærheten.

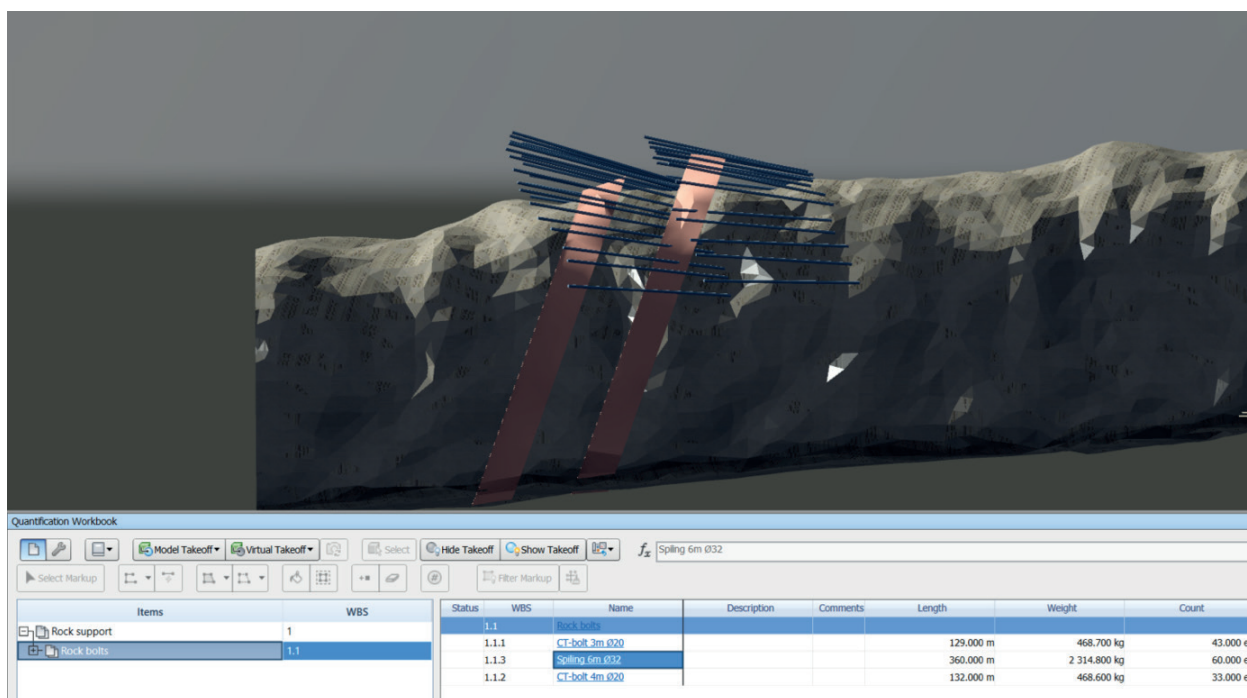
Det samles i dag inn store mengder data fra anlegg rundt om i Norge. Mye av dataene gir et godt grunnlag for automatisk opprettelse av boltemodell. Eksempelet nedenfor viser en boltemodell, der boltegeometrien er automatisk generert basert på MWD-data, og sammenstilt med profilskanning og Q-kartlegging i en sammenstillingsmodell (se Figur 7.17.). Det er mulig å se hvordan data kan kobles til boltegeometrien. I tillegg til å gjøre hver enkelt bolt søkbar, åpner dette muligheter for mengdeberegninger, id-tagging og på sikt kan bolters egenskaper inkluderes for bruk i drift og forvaltning. Modellen nedenfor er generert i Autocad Civil 3D.



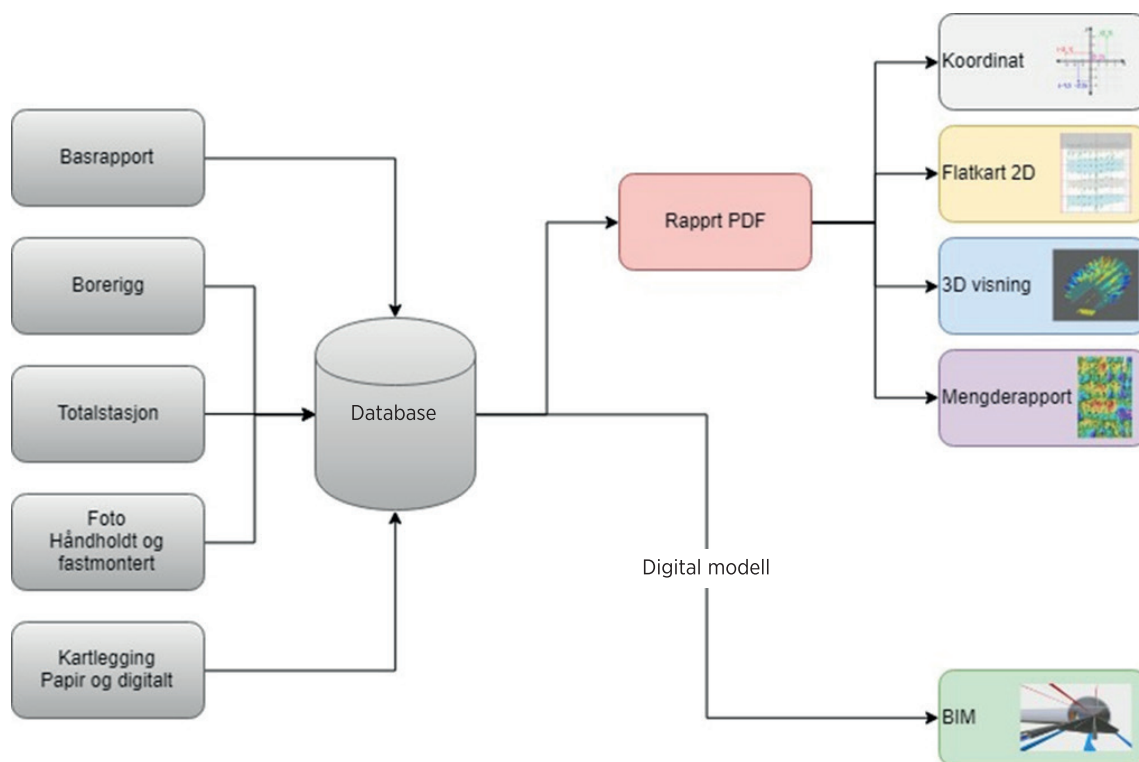
Figur 7.17. Modellering av bolter basert på MWD-data. Modellen er georeferert og kan enkelt sammenstilles med andre data (Hentet fra Bane NOR, 2018).

Figur 7.18. viser hvordan en modell kan brukes til mengdeberegninger. Man får raskt en oversikt over hva som er satt inn av bolter. Ved å ha en felles modell på anlegget kan en alltid ha oversikt over hva som er status på ethvert tidspunkt. Erfaringer fra Follobanen viser at ved å sette opp gode oppdateringsrutiner tidlig, vil det meste av

datagrunnlaget allerede være der, så å holde en modell oppdatert gir ingen større utfordringer enn dagens mye brukte Navapoint-løsning. Det vil også være gunstig å inkludere MWD-modellen slik at den lastes inn i samme modell og kan bidra til å gi et mer komplett bilde.



Figur 7.18. Eksempel på mengdeberegning i modell. Figuren viser antall forbolter satt ved passering av en svakhets- sone. Dette kan igjen kobles opp mot f.eks. prosesskoden for videre bruk ved sluttoppgjør (Hentet fra Bane NOR, 2018).

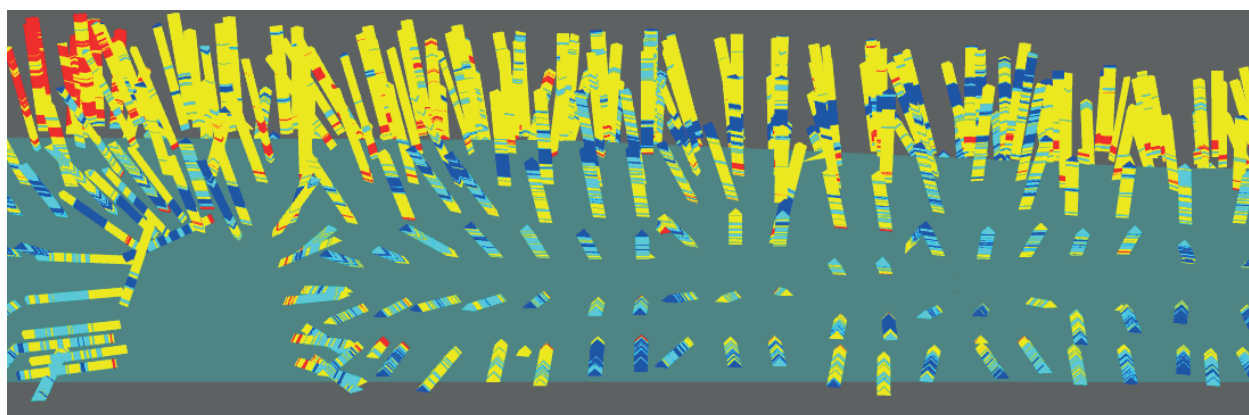


Figur 7.19. Et flytdiagram som viser kilder som går inn i en database og kan da bli rapport i PDF-format med forskjellige visningsformater og/eller gå inn i en digital modell.

7.4. MWD-data som biprodukt ved bolteboring

De fleste tunnelboreriger som benyttes i samferdselsprosjekter i dag, skal ha utstyr for MWD-logging. Dette fører til at man også kan få informasjon om bergkvalitet via boltehull, og kan benytte disse til å avgjøre hvorvidt innsatte bolter er lange nok til å gå gjennom registrerte svakhetssoner. Man vil også kunne vurdere om bolten har godt berg til feste

for endeforankring, og kunne benytte denne informasjonen til å vurdere om sikringstiltakene som er utført er tilstrekkelige. Eksempel på MWD-tolkning i boltehull vises i Figur 7.20., og man ser en tydelig blå gang som krysser langs tunnelen. Dette kan skape vanskelige endeforankringsforhold, og er noe man bør ta hensyn til.



Figur 7.20. Den røde fargen i MWD-tolkningen er svakt berg (dårlig) og blå farge er hardt berg, den gule er normalverdien (vertsbergarten). Man kan se at det er en variasjon i forankringen av boltene. Soknedalstunnelen/Trøndelag 2018 /29/.

8. Referanser

- /1/ Kontor for Fjellsprengningsteknikk, KFF (1973): Praktisk håndbok i Fjellbolting. Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Forskningsråd, NTNf, Oslo, 84 sider.
- /2/ Stillborg, B. (1986): Professional Users Handbook for Rock Bolting. Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 15, Trans Tech Publications, 145 sider.
- /3/ Choquet, P. (1987): Rock Bolting Practical Guide. Canada Centre for Mineral and Energy Technology, CANMET, SP88-15E, Québec, 160 sider + vedlegg.
- /4/ Norges Geotekniske Institutt (2015): Håndbok Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning.
- /5/ Bruland, A. & Thidemann, A. (1991): Sikring av vanntunneler. SINTEF-rapport nr. STF36 A91056, utført for Vassdragsregulantenenes Forening, 88 sider + bilag.
- /6/ Håndbok N500 Vegtunneler. Statens vegvesen Vegdirektoratet 2016.
- /7/ Heltzen, A.M. (1992): Forsiktig sprengning av tunnel- og bergromskontur. Intern rapport nr. 1522, Veglaboratoriet, Statens vegvesen. 28 sider + bilag.
- /8/ Kirkeby, T (2011): Kontursprengningsforsøk med ulike bore-/ladeplaner, rv 70 Eikremtunnelen, Stor- Krifast. VD rapport nr. 13. Statens vegvesen.
- /9/ NS-EN 10088: 2014 Rustfrie stål. Del 1: Liste over rustfrie stålsorter.
- /10/ Stjern, G. (1993): Boltetyper-virkemåter og utførelse. NIF-kurs nr. 34410 Bolting og forankring i berg, 15-17 mars 1993, 13 sider.
- /11/ Grimstad, E. & Pedersen, K.B. (1986): Langtidsvirkning på polyesterforankrede og mørtelinnstøpte fjellbolter. Foreløpige erfaringer. Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1986 (35: s.1-16).
- /12/ Hafsaas, G., Birkeland, O.K. & Unneland, T.G. (1992): Kvalitet av sikringsarbeider-Presentasjon av resultater fra to diplomoppgaver utført høsten 1991. Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1992 (13: s.1-15).
- /13/ Andrade, C. & Alonso, C. (2004): Electrochemical aspects of galvanized reinforcement corrosion, ch.5. In: Galvanized steel reinforcement in concrete. Elsevier, 2004.
- /14/ Kayali, O. (2004): Bond of steel in concrete and the effect of galvanizing, ch.8. In: Galvanized steel reinforcement in concrete. Elsevier, 2004.
- /15/ Pedersen, K.B. & Hafsaas, G. (1991): Utboring og kvalitetskontroll av bergbolter. Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1991 (17: s.1-11).
- /16/ NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 (Eurokode 7) Geoteknisk prosjektering - Del 1: Allmenne regler.
- /17/ Bieniawski, Z.T. (1979): The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proceedings 4th International Congress of Rock Mechanics, ISRM, Montreux, 1979, Vol. 2, side 41-48.
- /18/ Stjern, G. (1995) Practical performance of rock bolts. Doctoral Thesis 1995:52, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU), Norge.
- /19/ Cement rebar, Resin rebar, Expansion shell: Stillborg B. 1994. Professional user's handbook for rock bolting, 2nd ed. Trans Tech Pub.
D-bolt: Li, C.C. 2010. A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 47(3): 396-404.
Super Swellex: Dahle H, Larsen T. 2006. Full-scale pull and shear tests of 5 types of rock bolts. Technical report, SINTEF, Trondheim, 27p.
Split set: Stjern, G. 1995. Practical performance of rock bolts. PhD thesis, Universitetet i Trondheim, Norway.
- /20/ Panek, L.A. (1964): Design for bolting stratified roof. Transactions of the Society of Mining Engineers, Vol. 229, side 113-119.
- /21/ Jorstad, T. (1967): Rock bolting. Upublisert avhandling utført ved Colorado School of Mines til graden Master of Science in Mining Engineering, 168 sider.
- /22/ Hoek, E & Bray, J.W. (1981): Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 sider.
- /23/ Barton, N. & Choubey, V.D. (1977): The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics 10, side 1-54.
- /24/ Bergman, S.G.A. & Bjurström, S. (1983): Swedish experience of rock bolting. A keynote lecture. Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting, Abisko, Sverige, side 243-255.
- /25/ Bjurström, S. (1974): 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.
- /26/ Nilsen, B. & Hagen, R. (1990): Stabilitetsproblemer og forslag til ukonvensjonell sikring ved Tellnes dagbrudd. Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1990 (23: s.1-20).
- /27/ Statens vegvesen. Rapport nr 193: Kartlegging under driving med Novapoint Tunnel, Vegdirektoratet 2013
- /28/ EUREF89 NTM (Norsk Transversal Mercator) sone 5 – 30, Kartverket 2009.
- /29/ Bever Control AS, BeverTeamOnline, 2018.
- /30/ Norsk betongforening, Publikasjon nr 14 – Spennarmeringsarbeider, Januar 2016



**NORWEGIAN
TUNNELLING SOCIETY**

Postboks 2752 – Solli, 0204 Oslo

nff@nff.no | www.nff.no | www.tunnel.no