

Bergskjæringer

VEILEDNING

Håndbok V225



Håndbøker i Statens vegvesen

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

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

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

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

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

Bergskjæringer

V225 i Statens vegvesens håndbokserie

Forsidefoto: T. Kirkeby

ISBN: 978-82-7207-762-3

Forord

Veiledning V225 Bergskjæringer er et hjelpemiddel for planlegging, prosjektering og etablering av skjæringer i berg langs veg. Veiledningen er rettet mot geologer og ingeniørgeologer som arbeider med bergskjæringer.

Veiledning V225 behandler krav til bergskjæringer, og kravene er gitt i vegnormal N200 Vegbygging. Ved revisjon av N200 (2018) ble veiledning til kravene tatt ut av vegnormalen, og dette er nå innarbeidet i denne veiledningen.

Veiledning V225 Bergskjæringer omtaler skjæringer uavhengig av skjæringshøyde, men oppmerksomheten rettes mot middels høye til høye bergskjæringer og kompliserte prosjekter.

Veiledning V225 omhandler ikke naturlige bergskråninger samt stabilitetsvurderinger og sikring av skråninger over veg. Dette temaet behandles i VD rapport nr. 32 *Sikring av veger mot steinskred* (2011). Jf. også tidligere håndbok 274/V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger. Gjeldende utgave av V221 omhandler kun geoteknisk prosjektering (løsmasser).

Dette er den første utgivelsen av veiledning V225. Ansvarlig enhet er seksjon konstruksjonsteknikk på avdeling konstruksjoner (Myndighet og regelverk i Vegdirektoratet). Det kan forekomme uklarheter og trykkfeil, og derfor oppfordres det til at eventuelle kommentarer til teksten og innholdet meldes til seksjon konstruksjonsteknikk.

Oslo, desember 2020

Innhold

Forord

1. Innledning.....	7
2. Omfang og kontroll etter Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering	8
2.1 Geoteknisk kategori og kontrollnivå.....	8
2.2 Utvidet kontroll av geologiske rapporter etter Eurokode 7.....	9
3. Planlegging og prosjektering av bergskjæringer	11
3.1 Generelt om plassering av bergskjæring i veglinja	11
3.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging.....	11
3.3 Geologiske undersøkelser.....	11
3.3.1 Generelt	11
3.3.2 Geologisk kartlegging og rapportering	12
3.4 Utforming og stabilitet.....	12
3.4.1 Helningsvinkel.....	12
3.4.2 Skjæringshøyder.....	13
3.4.3 Jevnhet og grøftebredde	14
3.5 Vann og is	14
3.6 Utvidelse av eksisterende bergskjæringer	17
4. Uttak av berg	18
4.1 Regelverk for bergsprengning.....	18
4.2 Innledende arbeider.....	18
4.2.1 Planlegging av uttak	18
4.2.2 Forbolter	19
4.2.3 Injeksjon	20
4.2.4 Pallsprengning	20
4.3 Skånsomme sprengningsmetoder for jevn flate (kontur)	21
4.3.1 Generelt	21
4.3.2 Presplitt.....	23

4.3.3	Slettsprengning	24
4.3.4	Sømboring.....	24
4.3.5	Andre metoder for uttak av bergskjæringer	25
4.4	Noen spesielle situasjoner ved etablering av bergskjæringer.....	28
4.4.1	Skjæringsvegg slakere enn 10:1	28
4.4.2	Markert overflateoppsprekking	28
4.5	Vibrasjoner	28
5	Stabilitetssikring av bergskjæringer.....	30
5.1	Generelt om stabilitet av bergskjæringer.....	30
5.2	Stabilitetsvurdering av bergskjæringer	30
5.2.1	Generelt	30
5.2.2	Regelverket	31
5.2.3	Vurdering av stabiliteten	31
5.2.4	Prosjektering ved beregning	32
5.3	Sikringspraksis	38
5.4	Sikringsmetoder	38
5.4.1	Rensk	38
5.4.2	Bolter	38
5.4.3	Stag.....	39
5.4.4	Nett.....	39
5.4.5	Bergbånd.....	42
5.4.6	Sprøytebetong.....	43
6	Kontroll i byggefasen	46
6.1	Før igangsetting	46
6.2	Boring.....	46
6.2.1	Generelt	46
6.2.2	Boravvik	46
6.3	Lading og sprengning	50

6.4	Før og etter lasting	50
7	Sluttrapportering.....	52
7.1	Innhold i geologisk sluttrapport.....	52
7.2	Ingeniørgeologisk sluttrapport i geoteknisk kategori 3	53
	Referanser	56

1. Innledning

En bergskjæring er et resultat av direkte fysiske inngrep i fast berggrunn for fremføring av veg. Med høye bergskjæringer menes skjæringer som er høyere enn 10 meter. Høyden måles fra ferdig veg til skjæringstopp.

Bergskråninger er dannet ut fra naturlige geologiske prosesser og er ikke tema i denne veiledningen.

Krav til bergskjæringer er gitt i vegnormal N200 Vegbygging [1].

Vegnormal N200: Bergskjæringer skal etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg. Bergskjæringer bør etableres slik at man unngår rensk og annen sikring de første 20 årene.

God kvalitet i utførelsen av bergskjæringer er jevne flater som gir bedre stabilitet, lite overmasser, reduserte sikringskostnader, mindre vedlikehold og lengre levetid. Som regel etableres bergskjæringer med boring og sprengning, men de kan også sages eller meisles ut med pigghammer. For sprengning/masseuttak, se håndbok R761 Prosesskode 1 [2]. Se også rapporter: Sikring av vegar mot isras [3], VD rapport nr. 32 Sikring av veger mot steinskred [4], Statens vegvesens rapport nr. 681 Drenering og håndtering av overvann [5], håndbok V137 Veger og drivsnø [6], samt håndbok V520 Tunnelveiledning [7] om geologiske forundersøkellesmetoder, forskjæringer og tunnelpåhugg.

For å oppnå god kvalitet er det viktig at ingeniørgeologisk kompetanse er med i hele prosessen fra planlegging og kartlegging i felt, gjennom driveperioden med sprengning og bergsikring, og ut i driftsfasen i forbindelse med nødvendig vedlikehold.

2. Omfang og kontroll etter Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering

2.1 Geoteknisk kategori og kontrollnivå

Geoteknisk kategori og tilhørende kontroll av prosjektering og utførelse er gitt i vegnormal N200 Vegbygging [1], som bygger på Eurokode: NS-EN 1997 Geoteknisk prosjektering [8] og NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [9].

Eurokode 7 sier lite direkte om anlegg i berg – inkludert bergskjæringer. Norsk Bergmekanikkgruppe (NBG) har gitt ut en veiledning for bergarbeider [10].

Prosjekter klassifiseres i geotekniske kategorier 1, 2 og 3 avhengig av kompleksitet og risiko. Ulike deler av et prosjekt kan ha ulik geoteknisk kategori.

En eventuell nedklassifisering av deler av prosjektet fra geoteknisk kategori 3 til 2 dokumenteres skriftlig med bakgrunn i dokumentert godt og forutsigbart berg og vurdering av annen kompleksitet og risiko. Nedklassifiseringen kontrolleres i utvidet kontroll.

For bergskjæringer er sammenhengen mellom geoteknisk kategori, konsekvensklasse, pålitelighetsklasse, prosjekteringskontrollklasse (PKK) og utførelseskontrollklasse (UKK3) gitt i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Sammenheng mellom geoteknisk kategori og kontrollklasse [1]

Geoteknisk kategori	Konsekvensklasse (CC)	Pålitelighetsklasse (RC)	Prosjekteringskontrollklasse (PKK)	Utførelseskontrollklasse (UKK)
3	CC3	RC3 (RC4)	PKK3	UKK3
2	CC2	RC2	PKK2	UKK2
1	CC1	RC1	PKK1	UKK1

Områder/objekter i geoteknisk kategori 3 skal gjennom en faglig utvidet kontroll i planfase (PKK3) og i byggefase (UKK3). Den utvidede kontrollen avhenger av hvem som har prosjektert (PKK3) og hvem som er utførende (UKK3). Den som er delaktig i utførelsen, for eksempel ved anvisning av permanent sikring, er ikke uavhengig og kan dermed ikke selv utføre kontroll. Dersom noe omprosjekteres i byggefasen, gjennomføres ny utvidet kontroll før bygging.

Nedenfor er det listet opp noen stikkord som gjelder for bergskjæringer i ulike geotekniske kategorier:

Geoteknisk kategori 3:

Vegnormal N200:

- bergskjæringer høyere enn 10 m (målt fra ferdig veg)
- bergskjæringer der svakhetssoner/slepper vil kunne føre til større utglidninger
- bergskjæringer i foten av høye skråninger/fjellsider der inngrep vil kunne føre til stabilitetsproblemer
- bergskjæringer med skrånende terreng over skjæring, hvor skredfare og stabilitet må håndteres
- bergskjæringer der hensynet til bygninger, konstruksjoner, infrastruktur o.l. i umiddelbar nærhet må ivaretas
- bergskjæringer i bergarter som vil kunne gi forurensende avrenning

Nærmere beskrivelse for bergskjæringer i geoteknisk kategori 3:

- Krevende bergskjæringer som uansett høyde faller utenfor kategori 1 og 2. Eksempler er skjæringer som påvirkes av betydelige svakhetssoner, ugunstig oppsprekking/forvitring, nærliggende bygninger, konstruksjoner, veger og bergrom.

- Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold som bare delvis kan kartlegges. Behov for flere undersøkelser under bygging.
- Bergskjæringer som uansett skjæringshøyde får konsekvenser for terrenget over. Et eksempel er inngrep i foten av berg- og løsmasseskråninger/ur, som kan destabilisere masser også utenfor selve skjæringen. Behov for stabilitetsberegninger, rensk og skredsikring, egne drive- og sikringsplaner, begrensninger av salvestørrelsen m.m.
- Strekninger med innslag av forurensende bergmasser.
- Ved sammenhengende bergskjæringer med vekslende høyde over og under 10 meter foretas en samlet vurdering. Det foretas en samlet vurdering der viktige strukturer endrer retning i forhold til linjen.

Geoteknisk kategori 2:

Vegnormal N200: – middels høye (inntil 10 m) bergskjæringer uten spesiell risiko eller vanskelige/uvanlige grunnforhold mht. sprengning og stabilitet

Nærmere beskrivelse av bergskjæringer i geoteknisk kategori 2:

- Bergskjæringer fra 4–5 til 10 meter uten spesiell risiko eller vanskelige/uvanlige grunnforhold med tanke på sprengning og stabilitet, og ingen skredfare i overliggende skråning/terreng.
- Noe mer uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold som likevel kan fastlegges med rimelig grad av nøyaktighet (tilgjengelighet, løsmasser, etc.).
- Rutinemessige prosedyrer, dvs. vanlige metoder for felt- og laboratoriearbeid (som for eksempel geologisk kartlegging, bergarts- og leireprøver, vurdering av skredfare). Stabilitetsberegninger kan være nødvendig.

Geoteknisk kategori 1:

Vegnormal N200: – lave skjæringer < 5m

Nærmere beskrivelse av bergskjæringer i geoteknisk kategori 1:

- Oversiktlige, enkle grunnforhold og lave bergskjæringer med små eller ingen konsekvenser for omgivelsene (terreng, bygninger, konstruksjoner) – verken over eller ved sidene av prosjektet.
- Kun enkle geologiske observasjoner/undersøkelser er nødvendig for å kartlegge grunnforhold og ivareta grunnleggende sikkerhetskrav iht. N200 [1].
- Rikelig med erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og prosjekter (kjente problemstillinger og arbeidsprosedyrer) som kan dokumenteres.

2.2 Utvidet kontroll av geologiske rapporter etter Eurokode 7

Vegnormal N200 [1] gir krav til utvidet kontroll i PKK3 (tabell 2.1) – altså når kontrollen utføres, og hva kontrollen inneholder.

Som regel foretas faglig utvidet kontroll av geologisk rapport for bergskjæringer i geoteknisk kategori 3 i reguleringsplanfasen. Det foretas også faglig utvidet kontroll av rapport vedlagt konkurransegrunnlag for entreprisarbeid. Utvidet kontroll baseres på geologisk rapport inkludert kart og profiler og evt. 3D-modell. Det er vanligvis ikke nødvendig med egne befaringer i felt.

Noen sjekkpunkter:

- Rapport nr., versjon nr.
- Planfase (innhold og omfang i rapporter sjekkes mot krav i N200 [1]).

- Generell tekst med kommentarer, utført geologisk rapport/ kapitler/ kart/ tema. Eventuelle mangler presenteres med henvisning til kap.nr./ sidetall/ tegningsnummer i tekst i kontrollnotat og/eller i tabellform (se eksempel i tabell 2.2).
- Er nødvendig grunnlagsmateriale med eller ikke (f.eks. resultater fra tidligere rapporter).
- Er dokumentasjon for eventuell foreslått nedklassifisering til geoteknisk kategori 2 tilstrekkelig eller ikke.
- Vedlegg og tegninger.

I kontrollnotatet angis presise punkter, som anbefales sjekket ut eller endret. Dette presenteres fortrinnsvis i tabellform, se eksempel i tabell 2.2. Utdypende kommentarer kan gis i generell tekst. Forslag til saksgang er vist i tabell 2.3.

Tabell 2.2 Forslag til tabell for presentasjon av kontrollpunkter ved utvidet kontroll

kap.nr./ kart sidetall	Kort henvisning til tekst/innhold i geologisk rapport	Mangler/ kommentarer	Utsjekk fra prosjektleder
	Tema, kart og profiler	Iht. vegnormal N200	Tilbake for oppretting?
			Tatt til følge eller ikke

Tabell 2.3 Saksgang for utvidet kontroll av geologiske rapporter etter N200 [1] og Eurokode 7 [8]

Saksgang	Merknader
Utvidet kontroll: En konsulent gjennomgår rapport som er utarbeidet i Statens vegvesen – og omvendt. Evt. benyttes det et annet konsulentfirma.	Bestilling gjøres i byggherrens regi.
Kontrollen skal sikre at kravene i N200, mht. geologiske undersøkelser og rapporter er fulgt.	Egne befaringer utføres ikke (hvis ikke dette er bestilt spesielt).
Utført kontroll dokumenteres i et notat til prosjektleder. Ved mangler i geologisk rapport sendes denne tilbake til utførende geolog for retting/omarbeiding. Rapportene merkes med versjonsnr.	I bestilling av kontrollen spesifiseres det om et utkast til rapport skal gjennomgås og kommenteres og rapporten deretter fullføres, før kontroll av endelig rapport gjennomføres.
Utvidet kontroll leveres i form av et notat (f.eks. inkludert en sjekkliste med punkter).	Prosjektleder (i samråd med egne geologer/bergkyndige) sjekker ut punktene (ok / ikke tatt til følge).
Notatet fra kontrollen vedlegges geologisk rapport i den videre saksgangen og er en del av sluttdokumentasjonen.	

3. Planlegging og prosjektering av bergskjæringer

3.1 Generelt om plassering av bergskjæring i veglinja

Geologi, utforming og stabilitet ses i sammenheng ved planlegging av bergskjæringer langs veg. På et tidlig planstadium er det som regel en rekke traséalternativer. Landskapsmessig er det viktig at veglinja er godt tilpasset terrenget slik at store og høye skjæringer unngås eller reduseres til et minimum. Veglinja plasseres hensiktsmessig for å unngå eller minimere innslaget av bergarter og jord som gir forurensende avrenning og som kan kreve særskilt deponering, eller for å minimere inngripen i områder med georessurser.

Plassering av veglinja for å oppnå lavest mulig skjæringshøyder veies mot krav til kurvatur, bebyggelse, tilstøtende veger, massebalanse, m.v. Ved å heve veglinja i terrenget kan omfanget av høye bergskjæringer reduseres. Alternativt kan det etableres bergtunnel. Anbefalt maksimumshøyde for bergskjæringer er 20–30 meter blant annet på grunn av sikkerhet ved bygging og sprengning og tilgjengelighet ved drift og vedlikehold.

Innenfor reguleringsplanen settes det av en vegkorridor, som også inkluderer utslagene fra fyllinger og skjæringer. For høye bergskjæringer anbefales det en bred vegkorridor, som tar hensyn til at uventede geologiske forhold kan påtreffes helt inn i byggefase. Et eksempel er uoppdagete eller undervurderte bruddplan. For å unngå ras eller høye sikringskostnader, er det anbefalt tiltak å avdekke til topp bergskjæring. Etablering av sikringshyller og avsatter eller slakere skjæring kan være nødvendig, og dette krever mer areal.

3.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging

Kart i riktig målestokk har betydning for kvaliteten på utførelse og rapportering av geologiske feltundersøkelser. For å få med svakhetssoner, som kan påvirke prosjektet; influensområder for nedbør og avrenning; og gi rom for eventuell justering av traseen, er det viktig at kartet dekker alle alternative traséforslag også ut i sideområdet.

Krav til målestokk for kart til geologiske rapporter i ulike planfaser er gitt i vegnormal N200 [1]. For krav og beskrivelser til kartgrunnlag, se vegnormal N500 Vegtunneler [11]; håndbok V520 Tunnelveiledning [7]; og håndbok V770 Modellgrunnlag [12]. V520 [7] gir også en oversikt over geologiske oversiktskart, øvrige kart- og bildeprodukter, samt databaser for berg og grunnvann.

3.3 Geologiske undersøkelser

3.3.1 Generelt

Krav til grunnundersøkelser og geologiske rapporter som er tilpasset prosjektets planfase, omfang og kompleksitet, er gitt i N200 [1].

Håndbok R211 Feltundersøkelser [13] gir metodebeskrivelser for geologiske undersøkelser. Håndbok V520 [7] viser forundersøkellesmetoder og presentasjon av geologiske data på kart og i rapporter. Dette er også relevant for bergskjæringer. Publikasjon nr. 101 *Riktig omfang av grunnundersøkelser for berganlegg* [14] kan være relevant for veganlegg med høye og/eller kompliserte bergskjæringer selv om publikasjonen opprinnelig er ment for tunneler og bergrom. Se også NFF no. 2 Engineering geology [15].

3.3.2 Geologisk kartlegging og rapportering

Krav til innhold i geologiske rapporter er gitt i N200 [1]. Rapporter i reguleringsplanfasen og for konkurransegrunnlag deles inn i en faktadel og en tolkningsdel.

Omfanget av bergskjæringer synliggjøres på kart og profil med omtrentlig areal, total lengde og høyde. Der høydene varierer beskrives utforming og sikring for hver strekning med skjæringer høyere enn 10 meter, og det samme gjøres der viktige strukturer endrer retning i forhold til linjen.

For høye skjæringer bør det vurderes om det er behov for krav til maksimal salvestørrelse (fm^3) og største tillatte pallhøyde (meter). Pallhøyder over 10 meter er ugunstig (se kapittel 4).

Antatt behov for drenering, avskjæringsgrøfter og nedføringsrenner omhandles i kapittel 3.5 og [5].

Ytre miljø og forurensende masser

En vurdering av om innlekkasje i bergskjæringer kan føre til senket grunnvannstand med påfølgende påvirkning av omgivelsene gjøres og tiltak beskrives.

Det gjøres en vurdering av effekter på ytre miljø. Dette inkluderer mulighet for forekomst av sur eller giftig avrenning fra bergarter og jord som er definert som forurensset grunn iht. forurensningsloven, og eventuelt behov for særskilt deponering. Det gjøres undersøkelser av syredannende bergarter, for eksempel svartskifer (inkl. alunskifer) og svovelførende gneiser. I prosjekter der det er påvist forurensset grunn, er det krav om undersøkelser og tiltak iht. forurensningsforskriften før igangsetting av anleggsarbeid. Ved fare for radioaktiv forurensning kontaktes Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA).

For mer detaljert beskrivelse, se V520 [7] om prøvetaking og laboratorieanalyser. Det vises også til håndbok R211 [13]; håndbok R210 Laboratorieanalyser [16]; og Miljødirektoratets faktaark M-1243 [17].

Skredfare

Vegnormal N200: Fare for skred fra naturlig sideterreng skal vurderes av skredfaglig rådgiver, og sikkerhetstiltak skal planlegges ut ifra valgt sikkerhetsnivå.

Vurdering av skredfare og planlegging av tiltak gjelder også skredfare som følge av inngrepet, for eksempel rensk og sikring i høyden, skredgjerder og voller, grenseverdi for vibrasjoner, helningsvinkel, begrensnig på salvestørrelse og pallhøyde, forbolting, etc. Skredfaglige vurderinger er ikke del av denne veiledningen. Der det er behov for omfattende tiltak, utarbeides det egne skredfaglige rapporter.

3.4 Utforming og stabilitet

3.4.1 Helningsvinkel

Vegnormal N200: Bergskjæringer bør utformes som nær vertikale skjæringer (10:1 eller brattere). Helning og utforming skal tilpasses forhold som geologi, grunnvann og landskap.

Berggrunnen i Norge består overveiende av harde, lite forvitrete bergarter, men den er gjennomslutt av ulike typer sprekker som kan forårsake stabilitetsproblemer. For stabilitetssikring av bergskjæringer, inklusive stabilitetsberegninger, se kapittel 5.

Det er naturlig at en bergskjæring påvirkes av dagbergsonen – de øverste få meter av bergmassen som kan være noe mer oppsprukket og forvitret enn dypere ned. Dagbergsonens dybde kan variere fra knapt synlig til flere meter.

Skjæringsveggen (relativt til helning 10:1) tilpasses de dominerende sprekkene der det er gunstig for å ivareta stabilitet og bergsikringskostnader. Dette ses i forhold til høyde på skjæringen og eventuelt overliggende terreng. Helningsvinkelen reduseres i noen tilfeller på grunn av svake bergarter. Dette er også tilfellet der oppsprekkingsgrad og sprekeorientering i forhold til veglinja gjør en mindre helningsvinkel mer fordelaktig enn en steil skjæring (figur 3.1). Det er viktig å vurdere forvitring av hele bergmassen mot forvitring på kritiske plan. Dette vurderes i hvert enkelt tilfelle. Det er viktig å unngå gjennom boring og bakkbryting av bruddplan som velges som skjæringsvegg. Se også kapittel 4.



Figur 3.1 E18 ved Lillesand. Skjæringsvegg langs geologiske strukturer og bruddplan gir bedre stabilitet. Bergskjæringen er her permanent stabilisert ved å legge skjæringsvinkelen etter de dominerende sprekkene. Eventuell bergsikring blir minimal. Foto: T. Kirkeby.

Det er fordelaktig å anlegge lave bergskjæringer – spesielt de med dårlig bergkvalitet, som vil medføre omfattende sikring – med mindre helning eller skråningsvinkel enn 10:1. Ofte velges skråningsvinkel lik omliggende løsmasseskråning.

3.4.2 Skjæringshøyder

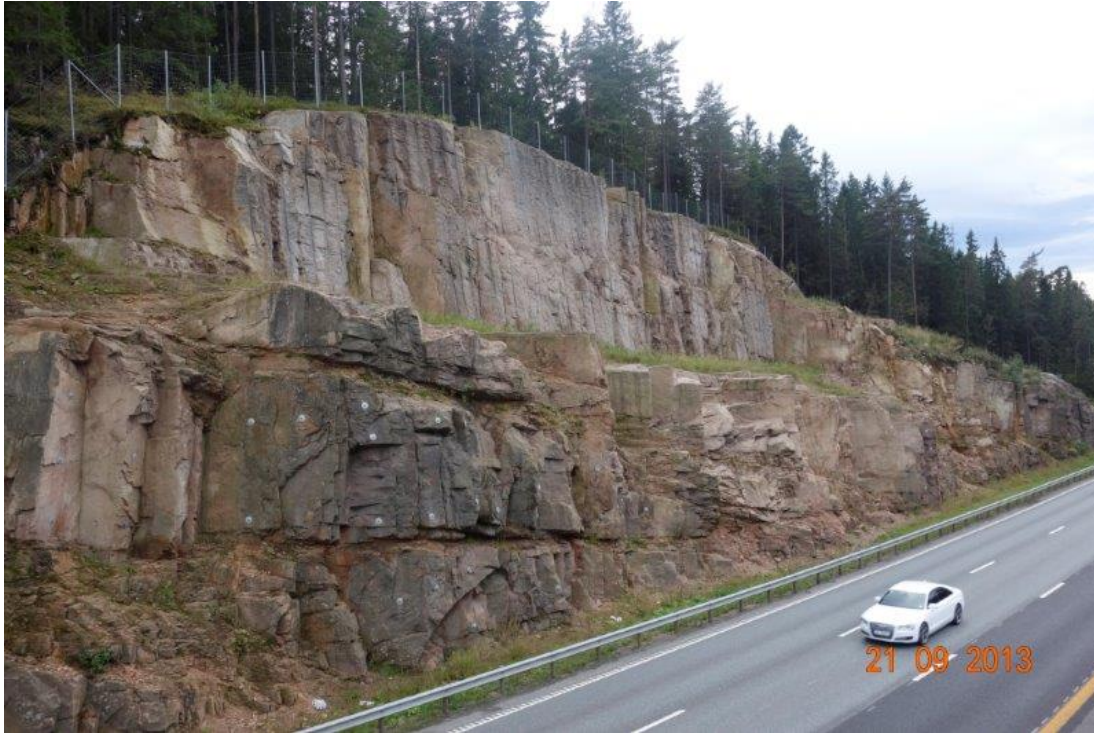
Tidlig i planprosessen legges veglinja slik at skjæringshøydene blir lavest mulig (se kap. 3.1), og dette vil alltid veies mot andre hensyn, som krav til kurvatur, bebyggelse, tilstøtende veger, massebalanse, etc.

Metoder for å redusere skjæringshøyde er:

- Fjerne øvre deler av isolerte bergrygger og knauser der dette er mulig.
- Etablere permanent hylle (avtrapping/sikringshyller) forutsatt at terrenget og plassen tillater det. Se eksempel i figur 3.2.

Disse metodene kan også benyttes senere i prosjektet – til og med i byggeperioden.

Uttak av berget med flere pallhøyder betyr gjerne boring i bunnen av tidligere salve, og dette kan derfor utgjøre en risiko med gjenstående sprengstoff. Dette poengteres i geologisk rapport til konkurransegrunnlaget samtidig som det minnes om eksplosivforskriftens krav til at bergoverflaten, det vil si stuff, pall m.v., renskes forsvarlig, sikres og kontrolleres mot gjenstående ladninger og deler av ladninger fra tidligere arbeid, før boring starter.



Figur 3.2 E18 Liertoppen. Moderat oppsprukken drammensgranitt med grusige, flattliggende soner. Vegghøydene er redusert ved hjelp av permanent hylle. Foto: T. Kirkeby.

3.4.3 Jevnhet og grøftebredde

Vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområder [18] gir krav som gjelder sikkerhetssonen. Krav til endelig bergoverflate (kontur) er gitt i håndbok R761 [2].

I de tilfeller bergskjæringen etableres innenfor sikkerhetssonen iht. N101 [18] og det ikke monteres rekkverk, er største tillatte utspring maksimalt 0,3 meter for de nederste 4 meter av synlig bergskjæring.

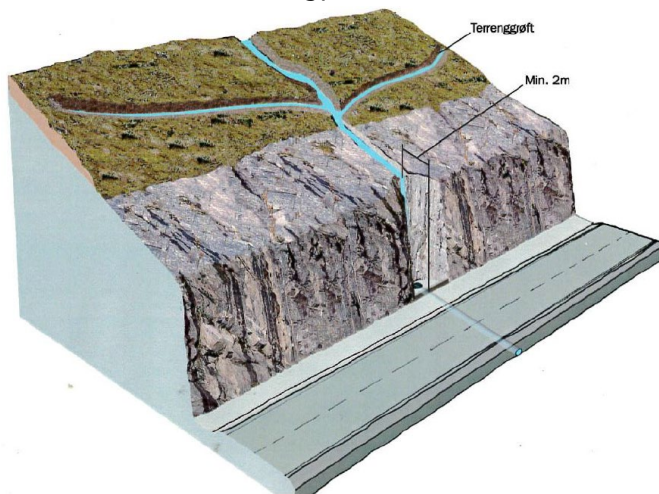
For å sikre stabilitet og en jevnest mulig flate, utføres sprengningsarbeidet slik at gjenstående skjæringsvegg blir minst mulig skadet. Skjæringen kan sprenges med glatt kontur, sømbores eller vaiersages. Innenfor sikkerhetssonen kan berget alternativt avrettes med sprøytebetong. Se kapittel 5.

Bergskjæringer utformes med fanggrøft med bredde i henhold til krav i N200 [1]. Som hovedregel anbefales det at grøftebredden langs bergskjæringer er større enn sikkerhetssonen.

3.5 Vann og is

Ved vann i terreng og løsmasser over planlagte bergskjæringer vises det til Statens vegvesens rapport nr. 681 *Drenering og håndtering av overvann* [5].

Overflatevann som ikke fanges opp (se eksempel i figur 3.3) og i stedet renner ned skjæringsveggen sammen med evt. grunnvann fra sprekker i bergskjæringen, vil naturlig nok fryse i vinterhalvåret og føre til rasfare når isen begynner å smelte.

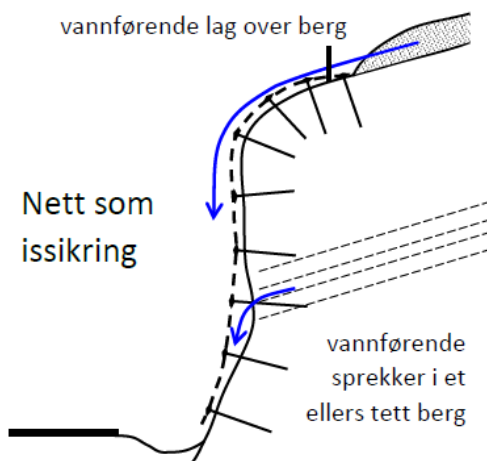


Figur 3.3 Vann på oversiden av skjæringen kan ledes bort i terrenggrøfter og ned på siden av skjæringen, eller som vist her – kontrollert ned til kum/drenering via en utsprengt nedføringsrenne/-nisje [5].



Figur 3.4 Nedføringsrenne til kum. Foto: T. Kirkeby

Iskjøving oppstår når overflatevann eller grunnvann fra bergsprekker og løsmasser renner ut på kalde flater og fryser (se figur 3.5 og 3.6). Det blir stor iskjøving ved jevnt tilsig av vann, og selv relativt liten vannføring kan skape store ismasser.



Figur 3.5 Skisse med eksempel på hvordan iskjøving kan forkomme i bergskjæring, vist med steinsprangnett.

Overflatevann kan ofte håndteres i tidlig fase, mens grunnvann i berg (sprekkevann) og tilhørende isdannelser vanligvis ikke kan kartlegges i detalj før bergskjæringen er tatt ut.

Dersom vannet ikke kan fanges opp og ivaretas før det når bergskjæringen, er det stort sett to løsninger for å hindre isras ned på veg:

- Tilstrekkelig bred grøft/sideareal.
- Bruk av steinsprangnett (se kapittel 5).

Se for øvrig Statens vegvesen rapport *Sikring av vegar mot isras* [3], som både forklarer fenomenet iskjøving og beskriver tiltak og dimensjonering.



Figur 3.6 Langs gamle Fv 87 ved Kongsberg. Iskjøving grunnet vann både fra overliggende terreng og fra bergsprekker. Foto: T. Kirkeby.

3.6 Utvidelse av eksisterende bergskjæringer

Vegnormal N200: Utvidelser av eksisterende bergskjæringer bør prosjekteres som ny skjæring.

Noen tilleggspunkter:

- Eksisterende skjæring gir som regel nyttig og lett tilgjengelig informasjon om bergart, forvitring og oppsprekkingsmønster.
- Hogst og opprydding kan utføres der vegetasjon begrenser informasjonen. Berget kan også være skjult av sikringskonstruksjoner, for eksempel sprøytebetong.
- Plass- og trafikkforhold kan komplisere undersøkelsene.
- I kapittel 4 beskrives flere metoder som kan være egnet ved utvidelse av bergskjæring, avhengig av bergartstype, plassbehov, m.m.

4 Uttak av berg

Dette kapitlet omtaler i hovedsak uttak i form av sprengning av bergskjæringer. De vanligste metodene ved sprengning omtales, og det går ikke i detaljer på utførelse. Kapittel 4.3.5 gir en kortfattet oppsummering av andre metoder for uttak av bergskjæringer. Se også kapittel 6 om kontroll i byggefasen (for eksempel boring, boreavvik).

Se også håndbok V520 Tunnelveiledning [7] om etablering av forskjæring og påhugg for tunnel.

4.1 Regelverk for bergsprengning

Krav som gjelder bergsprengning generelt og sprengning av bergskjæringer spesielt, er gitt i eksplosivforskriften (forskrift om sivil håndtering av eksplosjonsfarlige stoffer); i håndbok 763 inkl. NS 8407 og NS 8406 [19]; vegnormal N200 [1]; håndbok R761 [2]; og i NA-rundskrivet *Tiltak for å unngå sprengningsulykker* [20].

Det vises også til veiledninger fra DSB til eksplosivforskriftens kap. 7 og 10 www.dsb.no samt til publikasjoner fra Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (NFF) www.nff.no; håndbok for utfører av bergsprengningsarbeid [21]; håndbok for bestiller av bergsprengningsarbeid [22]; og rapporten *Sikker sprengning i dagen* [23]. Maler til hjelp for bergsprengningsentreprenørens utarbeidelse av sprengningsplan, salveplan og salverapport er også utarbeidet av NFF, og de blir benyttet av Bransjeråd for Fjellsprengning (BFF) i utdanningen av bergsprengningspersonell.

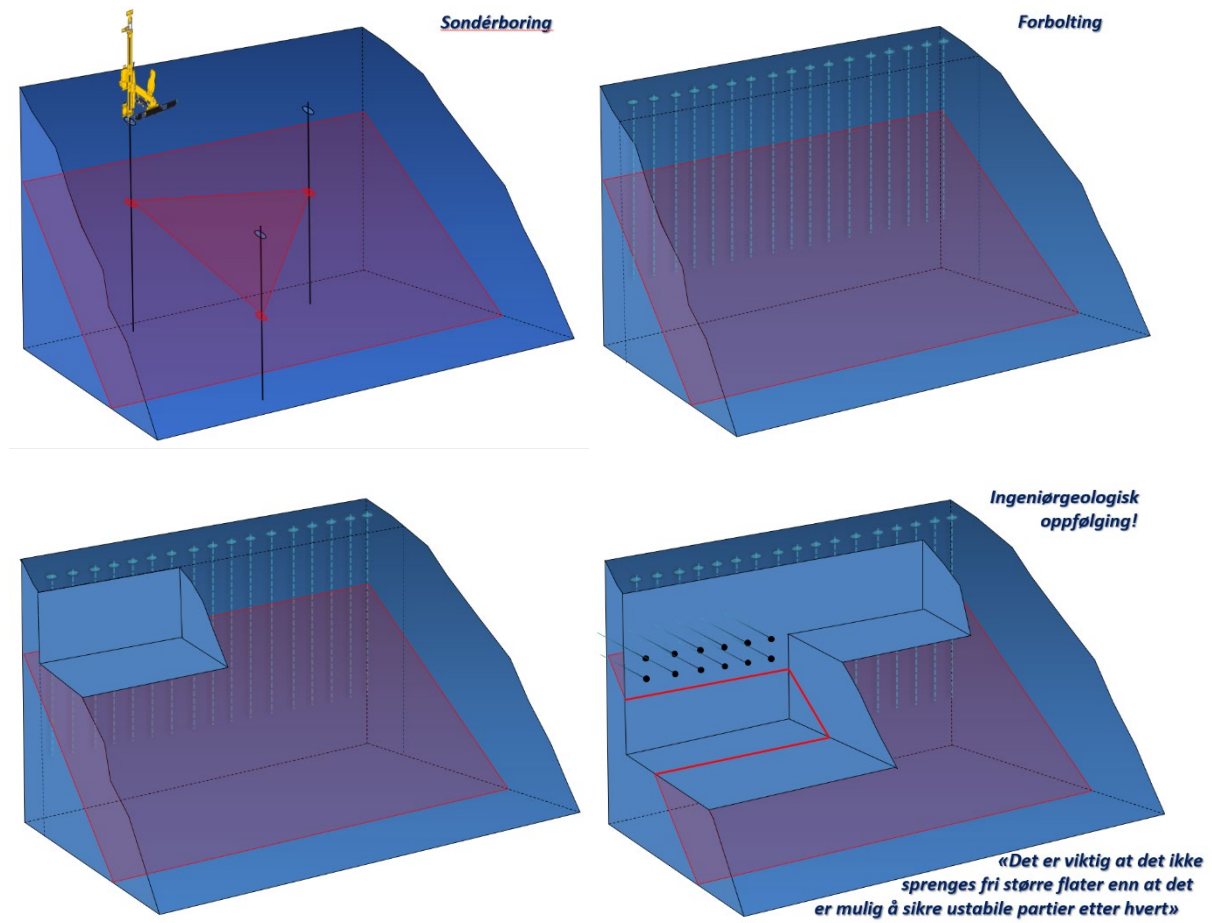
For vibrasjoner m.v. vises det til N200 [1]. Se kapittel 4.5.

4.2 Innledende arbeider

4.2.1 Planlegging av uttak

Det er flere måter å planlegge berguttaket på, de geologiske forutsetningene kan variere mye. Kritiske slepper, sprekkeplan eller andre svakheter i bergmassen, som kan skape ustabile partier ved etablering av ny skjæringsvegg, kan avdekkes i tide og stabilitetssikres underveis fra gunstig arbeidshøyde hvis det planlegges med lave pallhøyder (få meter) og små salver (få hundre fm³). Se figur 4.1.

Hovedmasseuttaket for bergskjæringer vil som regel gjøres med tradisjonell pallsprengning med vertikal/subvertikal stenderboring (dvs. berget brytes i horisontale avsatser, eller benker/paller), uavhengig av valgt metode for etablering av endelig bergoverflate. For høye skjæringer over 10 meter, vurderes alltid en oppdeling i flere pallhøyder. Konturhull kan ved gunstige forhold bores til full dybde før sprengning i flere paller hvis hullavvik kan minimeres.



Figur 4.1 Trinnvis nedsprengning av bergskjæring, vist med svakhetsplan (i rødt).

4.2.2 Forbolter

Riktig monterte og gyste forbolter i bergskjæring vil hindre utfall av blokker fra skjæringstopp etter sprengning/saging. På bakgrunn av bergart, sprekkeorientering, blokkstørrelse, skjæringshøyde og omgivelser, vurderes forboltene dimensjoner (tykkelse/lengde), vinkling og avstand mellom boltene og fra kontur.

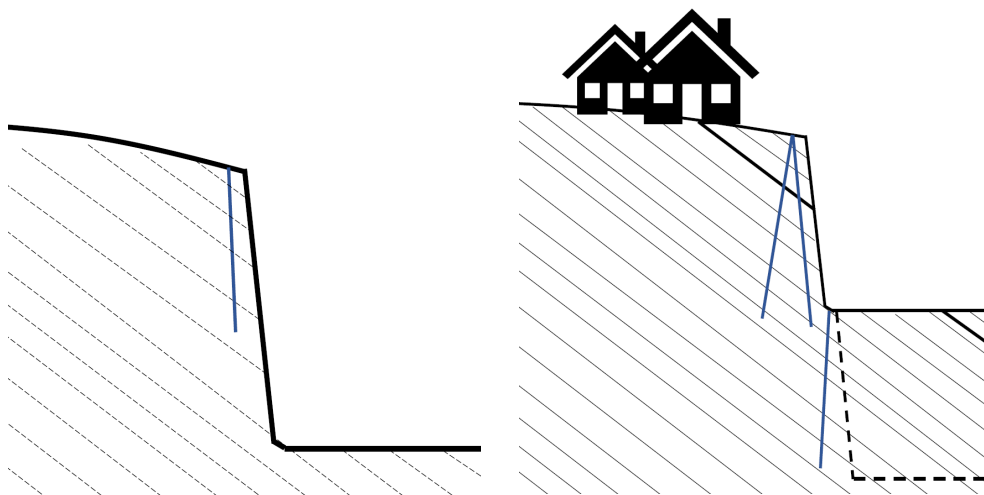
Som regel brukes armeringsstål Ø32 mm, eventuelt 25 mm, satt ned like utenfor kontur. Svartstål kan benyttes dersom skjæringen ettersikres med permanente midler. Med korrosjonsbeskyttelse kan forboltene inngå i den permanente sikringen. I bergskjæringer med mye dagberg og høy grad av oppsprekking kan injisering av boltene, i stedet for gysing, gi en mer stabil endelig bergoverflate og mindre opprevet kontur. Injeksjon utføres gjennom pakkere påmontert forboltene i toppen av hullene, slik at ikke bare boltene sikres full innstøping, men også at berget langs endelig kontur er injisert før berguttak.

Selv om sannsynligheten for utfall vurderes som liten, kan konsekvensene (og dermed risikoen) være betydelig. Ved sprengning eller saging av skjæringer nær spuntfot, brukar, bygninger, etc. vurderes derfor alltid forbolter. Ubeskyttet armeringsstål (svartstål) fullt innstøpt i hull boret med samme rigg som konturhullene er en enkel og effektiv forhåndssikring.

Ved flere pallhøyder settes eventuelle forbolter på skrå ned langsetter foten av siste skjæringsvegg eller parallelt ny skjæringsvegg hvis nedpallingen er planlagt tatt ut med permanente hyller for hver pall. Se skisser i figur 4.2.

Forbolting kan også benyttes for å ivareta skjæringens totalstabilitet der f.eks. skråslepper vil kunne føre til store utglidninger. På eksemplet gitt i figur 4.1 kan f.eks. gyste stenger av Ø32 mm kamstål ikke bare hindre utfall av blokker i front, men boret dypt nok kan de også stoppe glidning langs den markerte sleppa i bunnen, forutsatt tilpasset salvestørrelse/pallhøyde og tilstrekkelig bolting inn i skjæringsflaten underveis.

I noen tilfeller, som tett inntil husvegger og spuntfot, kan en betongdrager med armeringen bundet til forboltene være en god løsning.



Figur 4.2 Til venstre et tenkt eksempel på enkel forbolting med én rekke av armeringsstål (f.eks. 4-8 meter lange Ø32 mm). Til høyre er det vist en mer komplisert situasjon med flere pallhøyder, markerte slepper og større konsekvenser enn bare enkelte blokkutfall. Stabilitetssikring etter berguttak er ikke vist.

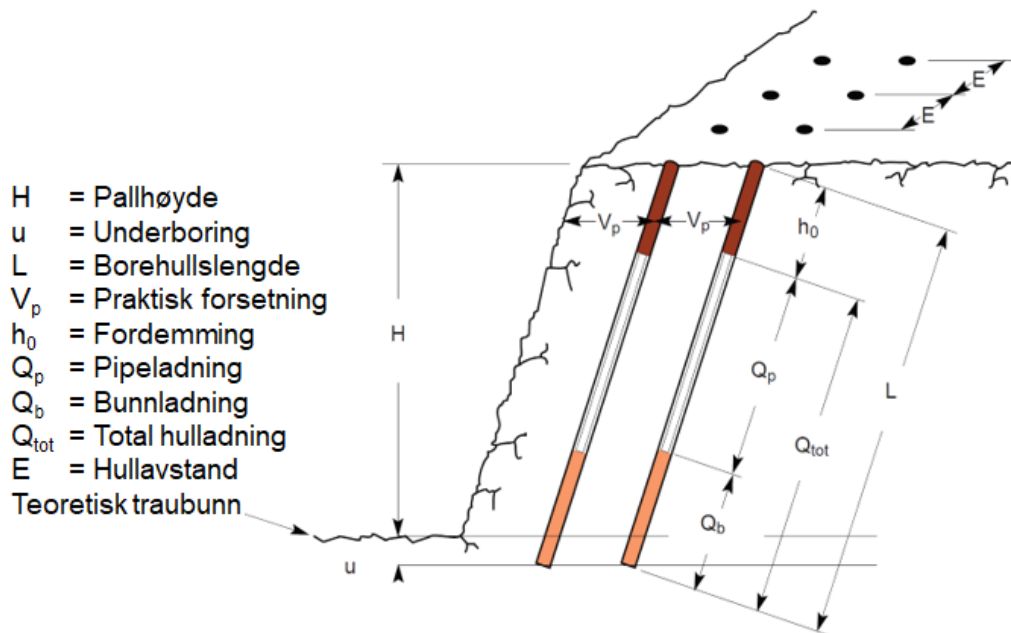
4.2.3 Injeksjon

Vanlig injeksjon utover forboltinjeksjon på rene bergskjæringsprosjekter er uvanlig, men det kan være nødvendig der innlekkasje i bergskjæringer kan føre til senket grunnvannstand med påfølgende påvirkning av omgivelsene.

Der en tunnel munner ut i en byggegrop, kan injeksjon være aktuelt. Ved at sementen fyller åpne sprekker og holder berggrunnen sammen, tetter den byggegropa og bidrar til redusert innlekkasje av grunnvann, samtidig som også bevegelser og utglidninger kan reduseres hvis skjæringens kontur sprenges ut. For mer om forinjeksjon, se håndbok V520 [7].

4.2.4 Pallsprengning

Forklaring av begreper ved pallsprengning er vist i figur 4.3.



Figur 4.3 Forklaring av begreper ved pallsprengning

Steinsprut

Steinsprut er kort nevnt her siden tiltak for å hindre steinsprut også øker mulighetene for å få den ønskete skjæringsveggen.

Steinsprut kan skyldes:

- Manglende dekking eller mangler ved dekningsmidler.
- Manglende spesifikke tiltak der det ikke dekkes.
- Løs stein som blir liggende oppå dekningsmatter.
- For grovt sprengningsopplegg (for stor borkrone og for få hull).
- Unøyaktig boring (feil ved ansett).
- Boravvik, særlig i fronten (hull drar seg mot stuff og reduserer forsetning og innspenning).
- Kombinasjon av unøyaktig boring og boreavvik (sammenboring av to hull gir dobbel ladning).
- Ukritisk bruk av bulksprengstoff, spesielt i fronten.
- For stor lokal overlading i deler av salva, spesielt i fronten (bulk i åpne slepper i bergmassen).
- Feil tidsforsinkelse (for stort eller lite intervall mellom rastene).
- Feil fordemming (for liten gir toppsprut, for stor gir grove blokker i røysa).

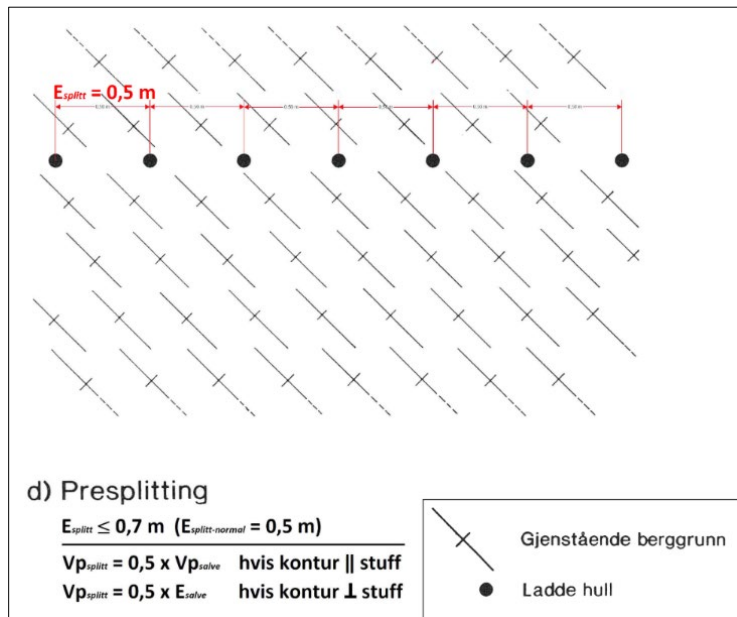
Tiltak, for å hindre skadelig steinsprut utenfor planlagt område, kan være krav til dekking; økt fordemming; maksimal diameter borkrone ved bruk av bulksprengstoff; patronert sprengstoff med liten diameter; tennsystemer; definisjon av tilstrekkelig stort farlig område; tilstrekkelig posting-varslingsperring; salvestørrelse; avviksmålinger av hull og full kontroll med lading (mengde/høyde).

4.3 Skånsomme sprengningsmetoder for jevn flate (kontur)

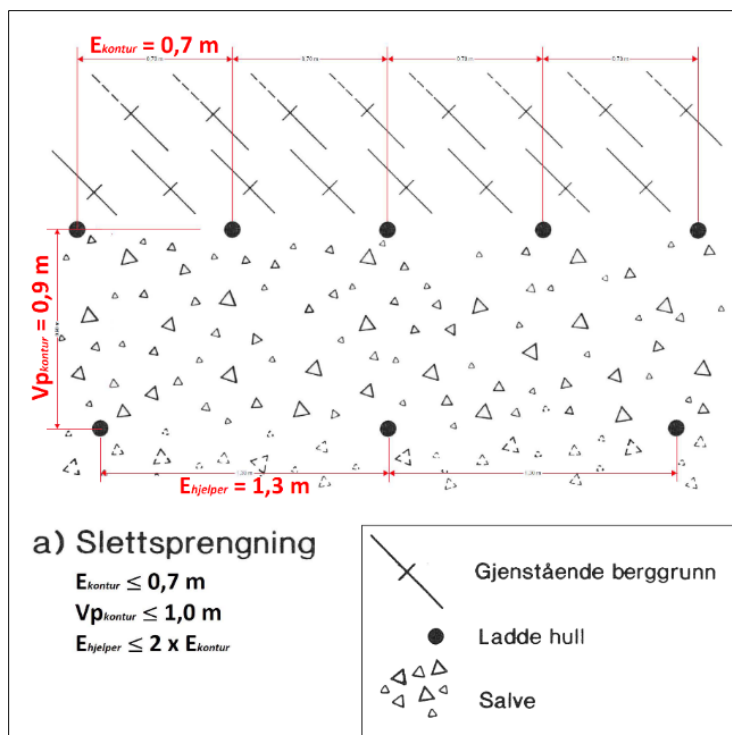
4.3.1 Generelt

I høye bergskjæringer er kontursprengning avgjørende for en jevn skjæring. Se håndbok R761 [2]. Fordelene med godt planlagt og utført kontursprengning er lite overmasser, bedre stabilitet, redusert sikring og mindre fremtidig vedlikehold. Figur 4.4 til 4.7 viser skisser med eksempler på borhullsmønster for ulike sprengningsmetoder iht. [2].

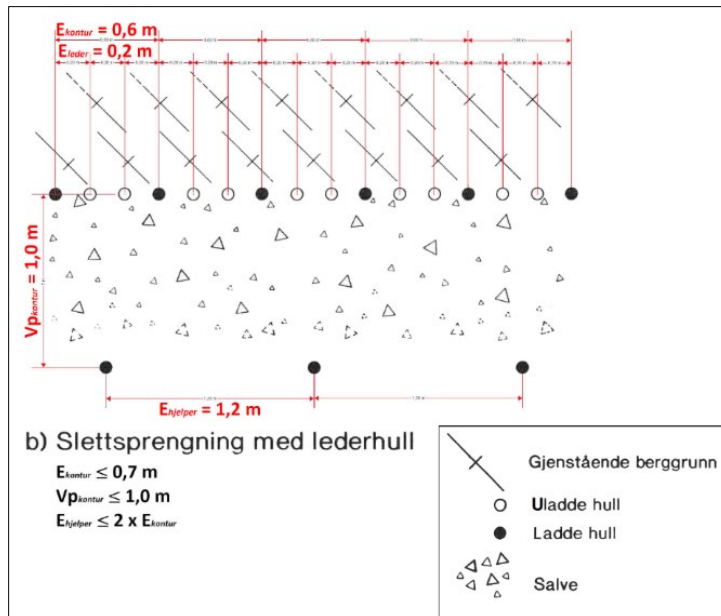
Presplitt og slettsprengning er de vanligste sprengningsmetodene. Krav til metodene er gitt i håndbok R761 [2]. Der det stilles særlige krav, som for eksempel etablering av bergskjæring helt inntil hus, spuntvegger eller andre konstruksjoner, kan bruk av andre metoder være aktuelt.



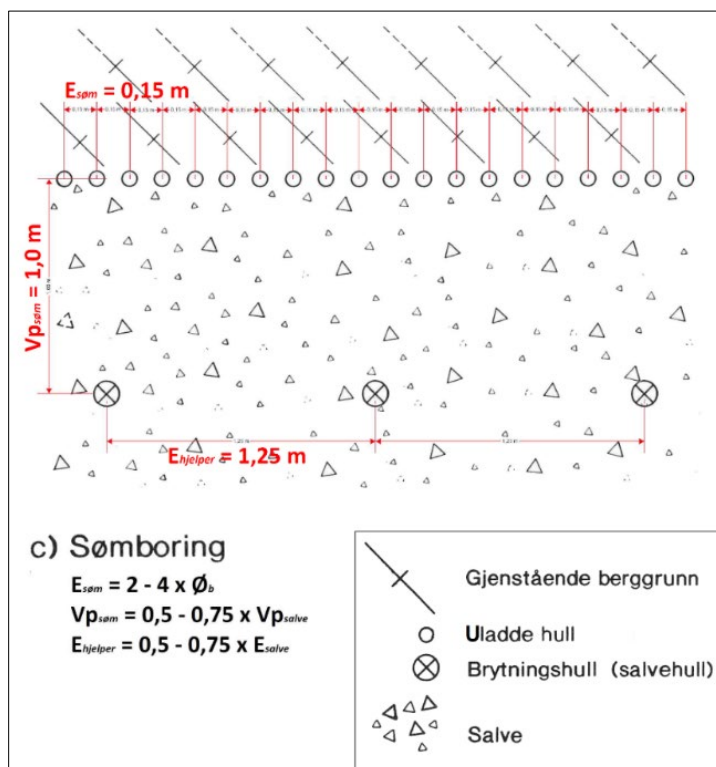
Figur 4.4 Skisse med eksempel på borhullsmønster og lading ved presplitt etter R761 [2].



Figur 4.5 Skisse med eksempel på borhullsmønster og lading ved slettsprengning etter R761 [2].



Figur 4.6 Skisse med eksempel på borhullsmønster og lading, slettsprengning med uladde hull etter R761 [2].



Figur 4.7 Skisse med eksempel på borhullsmønster og lading ved sømboring etter R761 [2].

4.3.2 Presplitt

I presplitt sprenges konturhullene først og det dannes dermed helst en åpen luftfylt sliss eller oppsprekking i konturplanet som hindrer propagerende sprekker fra hovedsalva å trenge videre inn i skjæringsveggen. I oppsprukket eller lagdelt berg kan presplitten lett knuse og/eller bla opp langs lag og sprekkeflater.



Figur 4.8 Eksempel på presplitt i godt berg. Foto: K. B. Pedersen.

For større, plane veggflater i godt berg er presplitt kanskje den beste metoden (se figur 4.8) forutsatt at potensielt høye vibrasjoner kan godtas.

Det er viktig at forsetningen er stor nok til at berget foran splittrekken ikke forflytter seg eller sprekker for mye opp. Ladningen i foranliggende brytningshull kan ødelegges, eller det kan bli vanskelig å bore/lade i ettertid. Konturhull fordømmes ikke for å unngå bakbrytning.

4.3.3 Slettsprengning

Ved slettsprengning blir de konturskapende hullene (ytterste og nest ytterste rast) boret tettere og ladet svakere. De sprenges sammen med salven, men med intervallforsinking i forhold til resten av hullene. Slik blir det liten forsetning ytterst mot konturen, slik at denne skades minst mulig.

Slettsprengning fungerer bedre i oppsprukket, løs og dårligere bergmasse. Metoden har også gitt gode resultater i dagberg med mye horisontal oppsprekking. Slettsprengning gir lavere vibrasjoner enn ved presplitting.

En variant av slettsprengning kalles slettsprengning med lederhull (figur 4.6). Her settes uladete hull (lederhull) mellom ladete konturhull. Disse fungerer som sprekkeanvisere og gir bidrag til en jevn, uskadet vegg. Slike lederhull kan benyttes der det stilles større krav til kontur uten egentlig å endre den valgte bor-/ladeplanen, enten lokalt som for eksempel i påhuggsflaten for en tunnel, eller over lengre strekninger i en bergskjæring.

4.3.4 Sømboring

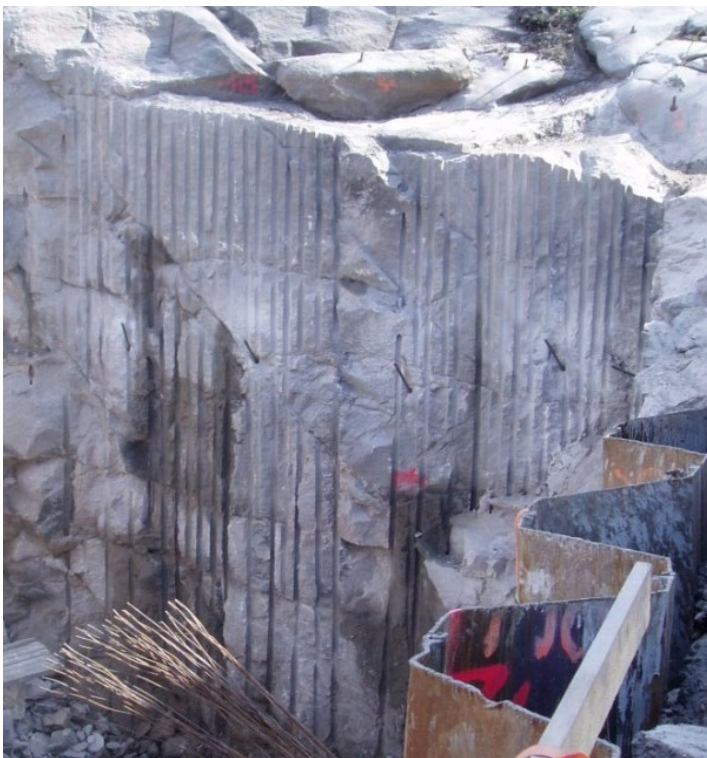
Ved sømboring bores konturen meget tett og hullene lades normalt ikke (figur 4.7). Sømmen fungerer som en bruddanviser når salvehullene innenfor konturen sprenges. Den gir samtidig sprenggassene en mulighet til å evakuere uten å gå inn på slepper i bakkant og gi «løft» og deformasjoner utenfor ønsket konturvegg.

Sømboring brukes gjerne inn mot bygninger og andre konstruksjoner. Metoden kan benyttes nærmere enn 4–5 meter fra bygninger, konstruksjoner (brufundamenter, høyspentmaster), spuntvegger og andre objekter, eller om bergmassen er av så dårlig kvalitet at sprengning ikke er formålstjenlig. Andre bruksområder er påhuggsflater for tunnel, eller på steder det ikke er ønskelig med overmasser f. eks. om det skal støpes med ensidig forskaling. Se eksempel i figur 4.9.

Bornøyaktigheten ved sømboring er vesentlig. Noen andre viktige punkter:

- Vanligvis kronediameter 64 mm eller mindre.
- Bores med senteravstand lik 2–4 x aktuell borediameter (vanligst er $c/c = 180\text{--}200\text{ mm}$).
- Forsetning til brytningshull varierende, ned mot 200–300 mm.
- Beskyttes under arbeidet (plastkjegler) slik at de ikke fylles opp.
- Nøyaktighet ved ansett, forsiktig boring, gjerne utstyr for å redusere avviket (styrestang), tillatt avvik tilpasses hullavstanden.
- Krav til utførelse/borenøyaktighet øker med pallhøyden, over 8–10 meter er ofte ikke praktisk mulig, men avhenger av geologi og boravvik på stedet.

Etter salven pigges det inn mot sømmen der det står igjen knøler. Blokkutglidninger kan ikke forekomme. Ved mistanke om dette brukes forbolting (se kap. 4.2.2).



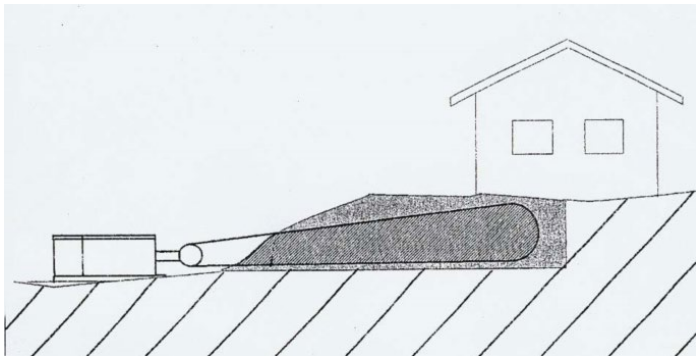
Figur 4.9 Sømboring med godt resultat i granitt ved påhugg Bjølstadtunnelen. Foto: T. Kirkeby.

4.3.5 Andre metoder for uttak av bergskjæringer

Diamantlinesaging – vaiersaging

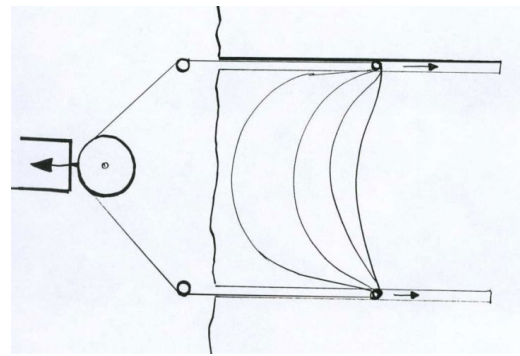
Med utgangspunkt i steinindustrien er vaiersaging (diamantlinesaging) også tatt i bruk på bergskjæringer. Saging foregår ved at en stålvaier påklamret diamantkledde metallhylser trekkes gjennom ett eller flere borehull og drives rundt i en sløyfe som kontinuerlig strammes opp. Det er flere

måter å gjøre dette på, og lokale forhold er bestemmende, jf. skisser i figurene 4.10 a) og b). Typisk produksjon kan være opptil 10–12 m² i timen avhengig av bergartens slitestyrke.



Figur 4.10 a)

Prinsipp for linesaging vha. to borhull og det er den vanligste metoden brukt i vegskjæringer. Illustrasjon: WireSaging AS.



Figur 4.10 b)

Prinsipp for linesaging som «blind cut», og vaieren føres her ned på trinser i litt grovere hull. Illustrasjon: DWTeknikk.

Fordelene er at saging ikke berører gjenstående berg; ikke involverer sprengstoff (evt. kun for spretting av blokk i etterkant); og er støy- og støvfri bortsett fra boring av ledehullene. Ved utvidelse av eksisterende skjæringer kan mesteparten av arbeidet foregå med trafikken gående.

En ulempe med metoden er at sprekkeflater og blokkpartier ikke eksponeres tydelig på saget flate. Det er viktig å kartlegge sprekkemønsteret i forkant av sagingen. Ugunstige sprekkeretninger blir lett oversett, og det kan være vanskelig å vurdere stabiliteten (se figur 4.11). Tiltak er at overflate og sideberg inspiseres for å identifisere potensielle risikopartier som krever sikring. Ved tvilstilfeller kan løsningen være systematisk bolting på hele eller deler av flaten.

Under sagingen kan også blokkpartier løsne og gli ned eller velte ut fra svakhetsplan i berget. Saging og forbolting utføres derfor ofte samtidig. Sagingen er ofte valgt nettopp fordi det er en skånsom metode som bare reduserer – ikke hindrer – utfall fra skjæringer.



Figur 4.11 Vaiersaget bergskjæring. Foto: T. Kirkeby.

Ligger- og vifteboring

For alle bergskjæringer gjelder stenderboring, det vil si kun vertikale til steile hull. Ved vanskelig tilgjengelighet, liten riggplass, eller spesiell geometri, vurderes horisontale hull, eller vifteboring parallelt skjæringsplanet (se figur 4.12).



Figur 4.12 Rv. 7 Ørgenvika. Vifteboring på øverste pall. Foto: T. Kirkeby.

Pigging/meisling

Pigging eller meisling er et alternativ for å unngå sprengstoff forutsatt at bergmassen er egnet (se figur 4.13). Størrelsen på pigghammeren tilpasses berget og oppgaven. Et eksempel er utvidelse av eksisterende skjæring der trafikken kan gå samtidig med arbeidene.



Figur 4.13 Fv. 826 i Nordland. Breddeutvidelse av bergskjæring er utført med hydraulisk hammer. Bergart er marmor. Foto: V. Aronsen.

4.4 Noen spesielle situasjoner ved etablering av bergskjæringer

4.4.1 Skjæringsvegg slakere enn 10:1

Innspenning i borhull blir mindre når vinkelen med loddlinjen øker. Dette medfører at forsetningen kan økes noe i forhold til loddrette hull. Sprengningsskader på bakenforliggende berg minsker og gir bedre framkast av salven.

4.4.2 Markert overflateoppsprekking

I massive gneiser og mange magmatiske bergarter som granitter, syenitter, osv. kan det opptre en markert overflateparallel oppsprekking (se eksempel i figur 4.14). Disse avlastningssprekkene (eller eksfoliasjonssprekkene) skyldes spenningsavlastning ved at de overliggende bergmasser er erodert bort.

Sprengningsteknisk kan sprekkene være en utfordring fordi detonasjonsgassene lett trenger inn på sprekkene og gir løft og deformasjoner langt utenfor kontur (bakbrytning). For øvrig er dette ikke bare et problem øverst i skjæringsveggen. Grove produksjonshull i stor avstand lades ikke helt opp (for å unngå sprut), og resultatet blir stor blokk øverst i salva som siden må pigges eller sprettes. Særlig ille kan dette bli med mye horisontal benkning.



Figur 4.14 Avlastningssprekker, som nær horisontal benkning i syenitt, langs rv. 4 Gjelleråsen i Oslo.
Foto: Google Earth.

4.5 Vibrasjoner

For krav som gjelder vibrasjoner, se N200 [1].

Omliggende bygninger og andre konstruksjoner i dagen, og nærliggende tunneler, bergskjæringer eller bergrom som kan tenkes å bli påvirket av bergsprengning, besiktiges av kvalifisert personell som rapporterer før bergspregningsarbeidet igangsettes.

Omfang av besiktigelse:

- Dersom det på overflaten i dagen er hovedsakelig berg, inkluderes byggverk og konstruksjoner som ligger innenfor minst 50 meter fra sprengningsstedet i besiktigelsen.
- Dersom det i overflaten er hovedsakelig løsmasser, utvides området for besiktigelse til minst 100 meter.
- For eksisterende tunneler og bergrom under overflaten, omfatter besiktigelsen et område som strekker seg minst 50 meter fra sprengningsstedet.

Detaljerte planer for å redusere sprengningsinduserte vibrasjoner innarbeides i sprengningsplanen ved:

- Ustabile jordmasser nær sprengningsstedet.
- Bygninger (inkl. ømfintlig utstyr/innredning), konstruksjoner og bergrom nær sprengningsstedet.

I områder med kvikkleire nær inntil sprengningsområdet utvises spesiell forsiktighet [1].

Vegnorsmal N200: Metoden for å fastsette veiledende grenseverdier og anbefalt omfang av bygningsbesiktigelse er gitt i NS 8141.

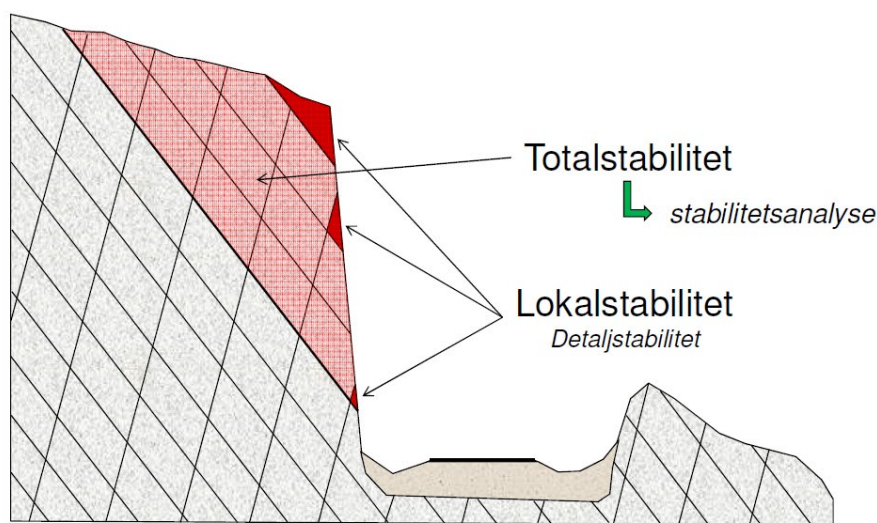
Se for øvrig N200 [1], inkl. NA-rundskriv 2019/03, og håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging [24].

5 Stabilitetssikring av bergskjæringer

5.1 Generelt om stabilitet av bergskjæringer

Ved sikring av bergskjæringer er det vesentlig å skille mellom begrepene lokalstabilitet (eller detaljstabilitet) og totalstabilitet. Manglende totalstabilitet kan føre til at hele eller store deler av bergskjæringen kolliderer, mens sviktende lokalstabilitet gjerne er mindre nedfall av stein og blokk opp til noen få kubikkmeters størrelse. Se skissen i figur 5.1.

Selv om lokalstabiliteten ikke direkte påvirker totalstabiliteten, kan hyppige nedfall av stein og blokk over tid ende i større ras. Dette kapitlet er en gjennomgang av stabilitetsvurderinger av bergskjæringer, og en oversikt over sikringsmetodene beskrevet i håndbok R761 [2].



Figur 5.1 Prinsippskisse. Lokalsstabilitet kan opprettholdes f.eks. ved spredt bolting av enkeltblokker, eller steinsprangnett mot nedfall av stein og mindre blokk. Totalstabiliteten vurderes i en større sammenheng, og den kan kreve mer omfattende tiltak dersom ikke skjæringsprofilen endres, f.eks. betong og stagforankring.

For å ivareta sikkerheten, vurderes stabilitet ved hjelp av forundersøkelser og stabilitetsanalyse. Dette omfatter både sikringsmetoder og tiltak, f.eks. å ta ned mer av skjæringen.

For stabilitetsvurderinger og sikring av skråninger, vises det til VD rapport nr. 32 [4].

5.2 Stabilitetsvurdering av bergskjæringer

5.2.1 Generelt

Som vist ovenfor, vurderes både totalstabiliteten og lokalstabiliteten av en bergskjæring. Ofte ivaretas lokalstabiliteten med punktsikring av blokker med bolter og bergbånd, og da lukkes oppsprukket berg og svakhetssoner inn med nett eller sprøytebetong for å hindre skade fra nedfall. Som regel gjøres dette uten beregninger – kanskje med unntak av å regne vekt på blokker for å være sikker på riktig antall bolter. For totalstabiliteten derimot gjøres som regel beregninger for å være sikker på at skjæringen er stabil. I de fleste tilfeller benyttes analytiske metoder, men ved komplekse eller større arbeider er det også aktuelt å benytte numeriske metoder.

I det følgende gis en innføring i regelverk og prinsipper for beregninger av stabilitet i bergskjæringer, samt en del tips og anbefalinger. Teksten i kapittelet er i det vesentligste basert på Eurokode 7 [8]; NBGs veiledning til Eurokode 7 [10]; diskusjon av stabilitetsanalyser basert på Eurokode 7 (Nilsen 2016) [25]; Rock slope engineering (Wyllie 2017) [26]; samt tidligere utgaver av Statens vegvesens håndbøker.

5.2.2 Regelverket

Ved stabilitetsberegninger av bergskjæringer benyttes Eurokode 7 [8]. Statens vegvesens vegnormaler N200 [1] og N500 [11] er tilpasset Eurokode 7 [8] med krav til f.eks. fastsettelse av geoteknisk kategori og innhold i rapporter.

Eurokode 7 [8] viser til fire forskjellige prosjekteringsmetoder for å ivareta stabilitet, som i ulik grad er aktuelle for stabilitetssikring av høye skjæringer:

- Geoteknisk prosjektering ved beregning.
- Prosjektering ved konstruktive tiltak.
- Prøvebelastning og modellprøving.
- Observasjonsmetoden.

Prosjektering ved beregning beskrives i detalj i kap. 5.2.4, og dette vil typisk være beregninger av totalstabiliteten som nevnt tidligere.

Prosjektering med konstruktive tiltak er i NBG [10] beskrevet som tiltak som er dokumentert gjennom erfaring, og normal praksis gir tilfredsstillende stabilitet. Eurokode 7 tillater bruk av konstruktive tiltak dersom beregningsmodeller ikke er tilgjengelige eller ikke er nødvendige. Dette kan f.eks. være enkel sikring av blokker som nevnt over, der enkle/forsiktige prosjekteringsregler med høy sikkerhet brukes.

Prøvebelastning og modellprøving er en metode som først og fremst benyttes for løsmasser, og det er ikke aktuelt for høye skjæringer i berg.

Observasjonsmetoden er i seg selv ikke en selvstendig prosjekteringsmetode, men en systematisering av ulike dimensjoneringsmetoder. Hovedpoenget er at det under bygging måles og iakttas for å kontrollere at forutsetningene fra prosjekteringen er ivaretatt, og at det finnes planer for effektive mottiltak [10]. Metoden er ikke praktisk å bruke for prosjektering av stabilitet av høye bergskjæringer.

I NBG [10] er begrepene *totalstabilitet* og *detaljstabilitet* definert. De er henholdsvis «helhetlig stabilitet med hensyn til konstruksjonens eller delkonstruksjonens formål/funksjon. (...)» og «lokal stabilitet av mindre element av en konstruksjon eller delkonstruksjon, hvor eventuell deformasjon, brudd eller forskyvning ikke påvirker totalstabilitet (...), samt ikke overskrider prosjektdefinerte akseptable grenser for detaljstabilitet». For forhold knyttet til totalstabiliteten anbefales kun prosjekteringsregler iht. Eurokode 7 [8].

Sikring av små blokkssystemer med f.eks. bolter og bergbånd, samt oppsprukket berg sikret med nett innenfor det som er definert som konstruktive tiltak, anses å være innenfor reglene i Eurokode 7.

5.2.3 Vurdering av stabiliteten

Ved geologisk kartlegging i prosjekteringsfasen kan det være vanskelig å angi i detalj hvor skjæringen forventes å måtte sikres, spesielt med tanke på totalstabilitet. Det er derfor viktig at bergskjæringer blir vurdert nøye for dette i byggefasen. Dette inkluderer forskjæringer og påhuggsflate til tunnel [7].

Ifølge [8] vurderes både kortsiktige og langsiktige situasjoner. Av de kortsiktige situasjonene som er aktuelle i en bergskjæring er f.eks.

- Avløste blokker og blokkssystemer på grunn av oppsprekking.
- Mindre nedfall fra oppsprukket berg.
- Større partier som kan gli ut langs sprekker eller svake lag.

Langsiktige situasjoner er f.eks. tilstedeværelse av svakhetssoner og slepper. En mulig fare er utvasking, som kan føre til en utglidning av et større parti. I tillegg kan lasten og grunnvannssituasjonen på en sleppe eller svakhetszone endres ved uttak av skjæringen. Ved endret lastbilde og muligheter for evakuering av vann kan materialet i svakhetssoner utsettes for kryp og konsolidering, som over tid kan føre til et ustabilt parti. Grunnvannet vil også etablere seg på nytt med en endret trykk-konfigurasjon, og dette kan ha en stor påvirkning på stabiliteten [25].

5.2.4 Prosjektering ved beregning

Som indikert tidligere er prosjektering ved bruk av beregninger hovedsakelig nødvendig der et potensielt problem med totalstabiliteten er avdekket. Eurokode 7 [8] åpner for bruk av flere metoder; analytiske, halvempiriske og numeriske. Halvempiriske metoder kan for eksempel være bruk av bruddkriterier som Hoek–Brown [27] og Barton–Bandis [28]. Numeriske metoder kan være aktuelt for veldig store ustabile områder, men som regel er det ikke aktuelt for bergskjæringer. For skjæringer brukes som regel analytiske metoder, kanskje med en halvempirisk metode for å finne svakhetsplanet friksjonsvinkel.

I det følgende fokuseres det på analytiske metoder. Det er mange fremgangsmåter, avhengig av f.eks. om det er en eller to bruddflater eller hvilken type materiale bruddet går i, der det første vil være hvilket ligningssett som brukes og det andre hvilket bruddkriterium som velges.

Statisk likevektsberegning med partialfaktormetoden

Ved innføringen av Eurokode 7 i 2010 gikk vi fra å beregne en sikkerhetsfaktor for hele konstruksjonen til å bruke partialfaktor der hver av de målte eller vurderte verdier blir korrigert med en faktor. Resten av verden bruker fremdeles stort sett sikkerhetsfaktor [25], og det finnes i dag ikke mye litteratur om hvordan det regnes med partialfaktor.

I følgende eksempel brukes en enkel skjæring med et enkelt glideplan for å vise hvordan en likevektsberegning kan gjøres med bruk av denne metoden, og det presenteres ulike alternativer for inngangsdata. I «Rock slope engineering» [26] finnes det formelverk på to utglidningsplan som kan benyttes, men uten beskrivelse av hvordan det utføres med bruk av partialfaktor. To programmer, *RocPlane* og *Swedge*, benytter seg av disse beregningsmetodene for henholdsvis ett og to utglidningsplan. Programmene muliggjør beregning med bruk av partialfaktormetoden.

To vesentlige begrep ved beregning med partialfaktormetoden er karakteristisk verdi og dimensjonerende verdi. Den karakteristiske verdien kan være fra laboratorieundersøkelser, målinger, standardtabeller eller vurderinger på annen måte. Den dimensjonerende verdien er karakteristisk verdi multiplisert eller dividert med en materialfaktor. For å sette de karakteristiske verdiene, er det viktig å følge anvisninger i Eurokode 7 [8]. Litt generelt står det at bestemmelse av den karakteristiske verdien gjøres med et forsiktig anslag for det som har betydning for grensestilstanden, og det utvises stor forsiktighet ved bruk av verdier fra standardtabeller. Det velges altså konservative verdier.

I stabilitetsberegningen vurderes de drivende og stabiliserende kreftene mot hverandre. Ved beregning med sikkerhetsfaktor deles disse enkelt med hverandre (se lign. (1)), og det gir en sikkerhetsfaktor. Er

denne under 1,0 regnes konstruksjonen som ustabil, og tidligere har det vært vanlig med en sikkerhetsfaktor over to for en vegskjæring.

$$SF = \frac{F_{St}}{F_{Dr}} \quad (1)$$

der SF = sikkerhetsfaktor
 F_{St} = stabiliserende krefter
 F_{Dr} = drivende krefter

Ved bruk av partialfaktormetoden vurderes også de drivende og stabiliserende kreftene mot hverandre, regnet ut med bruk av de dimensjonerende verdiene. Dimensjonerende verdier regnes ut som vist i lign. (2) og lign. (3) for henholdsvis stabiliserende og drivende krefter.

$$R_d = \frac{R_c}{\gamma_m} \quad (2)$$

der R_d = dimensjonerende motstand/stabiliserende kraft
 R_c = karakteristisk last
 γ_m = materialfaktor

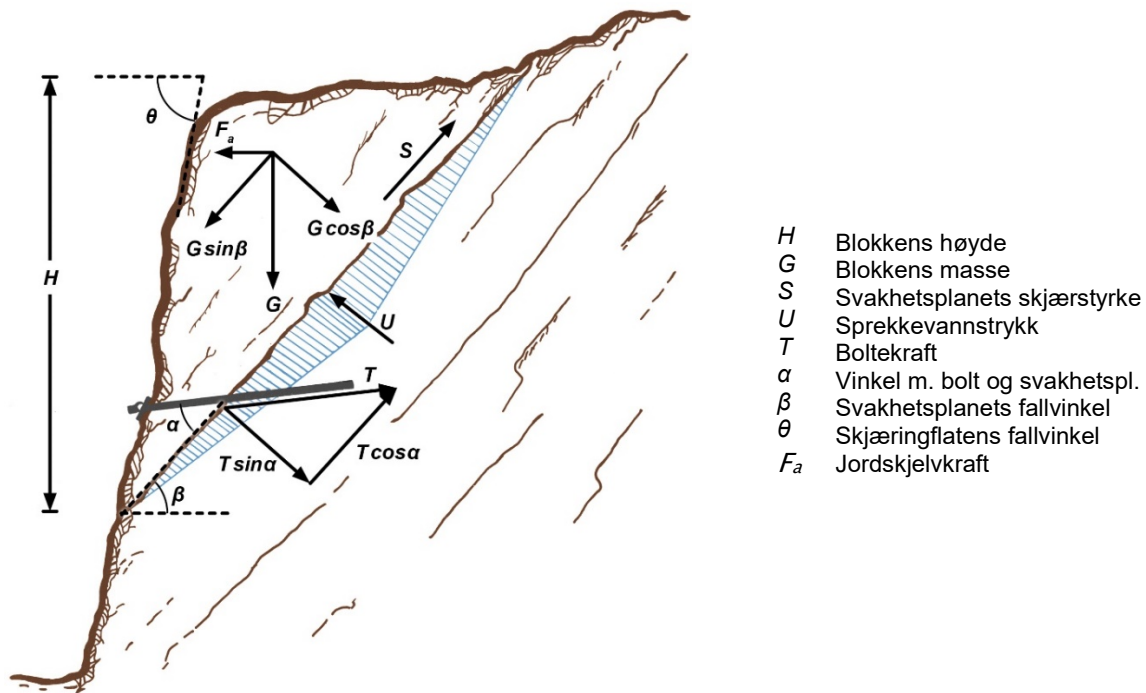
$$F_d = F_c \cdot \gamma_f \quad (3)$$

der F_d = dimensjonerende last
 F_c = karakteristisk last
 γ_f = lastfaktor

Ifølge partialfaktormetoden oppnås en stabil konstruksjon når summen av de dimensjonerende stabiliserende kreftene er større enn de dimensjonerende drivende lastene:

$$\Sigma R_d > \Sigma F_d \quad (4)$$

I figur 5.2 er det skissert en forholdsvis enkel problemstilling bestående av fem påvirkninger: Blokkens masse, sprekkeplanets skjærstyrke, vanntrykket i sprekkeplanet, jordskjelvpåvirkning og sikring. Nedenfor følger en nærmere beskrivelse av hver av disse.



Figur 5.2 Skisse av et potensielt ustabilt parti i en bergskjæring. Skravert område illustrerer vanntrykk.

Blokkens masse

I praksis kan det være vanskelig å anslå volumet til det ustabile partiet, og blokkens masse vil bidra til både de drivende og de stabiliserende kreftene ved å henholdsvis skyve blokken nedover ($G \sin \beta$) og øke normalspenningen på sprekkplanet ($G \cos \beta$). Det er derfor viktig å vurdere dette nøye og undersøke hvordan endringer på volumet slår ut i beregningene.

Når det gjelder dimensjonerende verdier for geometri, sier [8] at små variasjoner er tatt hensyn til i de andre partialfaktorene. I mange tilfeller kan det være vanskelig å vurdere volumet til det ustabile partiet, som utløser et behov for en sikkerhetsmargin. Eurokode 7 åpner for dette, men anvisningene er ikke gode for problemstillinger med høye bergskjæringer. Uansett utvises stor forsiktighet i beregningene siden verdien, som nevnt, både er stabiliserende og destabiliserende.

I dette tilfellet er blokkens masse:

$$G = \rho \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{\tan \beta} - \frac{1}{\tan \theta} \right) \quad (5)$$

der ρ_b = bergets tyngdetetthet [kN/m^3]

Blokkens kraft i retning av skjærplanet blir da

$$G_s = G \sin \beta \quad (6)$$

der G_s = blokkens kraft i skjærplanet

Som bidrag til normalspenningen på sprekken, blir det:

$$G_n = G \cos \beta \quad (7)$$

der G_n = blokkens kraft i normalspenningsretningen

Svakhetsplanets skjærstyrke

Det er vanskelig å gjøre direkte tester for å bestemme skjærstyrken til et typisk utglidningsplan i en skjæring. Det er derfor vanlig å estimere verdien ved å bruke tabeller eller metoder, som f.eks. Barton–Bandis [28].

For bestemmelse av skjærstyrke ved bruk av [28], har NTNU (Grøneng og Nilsen, 2009) [29] laget en veileder. Inngangsparameterne til Barton–Bandis bestemmes av en kombinasjon av felt og/eller laboratoriemålinger. En av verdiene er *JCS* (*Joint wall Compressive Strength*) som ved uomvandlet overflate er det samme som enakset trykkfasthet *UCS*. Der testing av bergartsprøver eller prøvetaking med Schmidthammer er vanskelig, kan *UCS* for mange norske bergarter, hentet fra Sintefs database for bergmekanisk testing, finnes i Høien et al. (2019) [30]. For svakere berg og sleppemateriale, kan tabell i NBG (1985) [31] benyttes. En annen måte å estimere friksjonsvinkelen på er å bruke sprekkeuhetstallet J_r og sprekkefyltallet J_a fra Q-systemet. Se for eksempel NGI (2015) [32]; Barton (1995) [33]; eller Barton et al. (1974) [34]. Andre kilder med tabeller med forslag til friksjonsvinkel er Wyllie (2009) [35] og Bruland og Thidemann (1991) [36].

Skjærstyrken (skjærspenning) er avhengig normalspenningen σ_n og kan beskrives som i det følgende. For mer om sprekkefriksjonen, anbefales NBG 2011 [10] kapittel A.3.

$$\tau = \sigma_n \tan \varphi \quad (8)$$

der τ = skjærspenning
 φ = friksjonsvinkel

Partialfaktoren for skjærfastheten i dette eksempelet er gitt i [8] tabell NA.A.4, og er $\gamma_{\tau} = 1,25$. Dimensjonerende friksjonsvinkel finnes ved å bruke lign. (2), og den blir:

$$\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_{\varphi}} \quad (9)$$

Blokkens vekt og skjærkraftens bidrag til stabilitet blir da:

$$S_d = G_n \tan \varphi_d \quad (10)$$

Vanntrykk

Vurdering av hvilket vanntrykk svakhetsplanet er utsatt for kan være vanskelig, og valgene har stor påvirkning på utregnet stabilitet. I eksempelet i figur 5.2 er vanntrykket lagt inn som om det stiger fra null i toppen av sprekken til en maksverdi på midten og ned til null igjen ved utgående på sprekken i front av skjæringen. Dette alternativet er vanlig å bruke som en verst tenkelig situasjon, men et så stort vanntrykk er ifølge [25] lite sannsynlig. Vanntrykket reduseres sannsynligvis på grunn av drenering ut av sprekker, som finnes langs svakhetsplanet. Det er likevel vanlig å bruke alternativet som er skissert i figur 5.2 for vurdering av vanntrykk, men det anbefales å se på hvordan vanntrykket påvirker stabiliteten i utregningen for å vurdere bruk av andre vanntrykkmodeller.

I eksempelet i figur 5.2 vil vanntrykket U virke som en negativ kraft på σ_n . Tyngdetetthet har ifølge [8] tabell NA.A.4 partialfaktor $\gamma_U = 1,0$ og dimensjonerende vanntrykk blir da:

$$U_d = \frac{\rho_v H}{4 \sin \beta_1} \cdot \gamma_U \quad (11)$$

Seismisk påvirkning

I likhet med vann er også seismisk påvirkning/jordskjelvpåvirkning i utgangspunktet vanskelig å bestemme, og det kan gi et vesentlig bidrag til stabilitetsvurderingen. Regelverket er ikke konsistent på hvordan seismisk påvirkning beregnes. I dette eksempelet er det valgt å følge beskrivelsen i Eurokode 8 (NS-EN 1998 Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning) [37].

Kraften fra seismisk hendelse legges inn som en horisontal kraft i modellen (F_a). Komponentene fra denne vil ha negativ innvirkning både på σ_n og på S (figur 5.2). Akselerasjonen som brukes (a_{g40Hz}) varierer fra 0,2 til 1,0 m/s² i ulike deler av landet, og den finnes på et kart i nasjonalt tillegg til Eurokode 8 [37]. Denne verdien multipliseres med 0,8 for å finne berggrunnens referansespissverdi (a_{gR}). Forsterkningsfaktoren er, med berg som grunnforhold – grunntype A, lik 1. Partialfaktoren for seismisk akselerasjon (γ) varierer for ulike type konstruksjoner. Skjæringer er ikke blant konstruksjonene som er listet opp i [37] tabell NA.4(902), men ut fra en vurdering av andre konstruksjoner i listen, kan denne typen konstruksjon (høye bergskjæringer) settes til for eksempel III. Partialfaktor for seismisk akselerasjon blir da 1,4 ifølge [37] tabell NA.4(901).

Dimensjonerende grunnakselerasjon a_g blir da:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 0,8 a_{g40Hz} \cdot \gamma_I \quad (12)$$

Dimensjonerende kraft i horisontalplanet blir da:

$$F_a = m \cdot a_g = \frac{G}{g} \cdot a_g \quad (13)$$

der F_a = dimensjonerende seismisk horisontal kraft
 m = massen av ustabilt parti
 g = tyngdens gravitasjon

Videre blir bidraget i retningen i det ustabile planet:

$$F_s = F_a \cos \beta \quad (14)$$

der F_s = dimensjonerende seismisk kraft i skjærplanet

For virkningen på normalspenningen benyttes:

$$F_n = F_a \sin \beta \quad (15)$$

Sikring

Ved valg av type og dimensjonering av sikring er det flere forhold som hører med i betraktningen. Det viktigste er kanskje at den installerte sikringen virker slik som forutsatt i beregningene. Dette kan virke selvfølgelig, men det er viktig å være oppmerksom på følgende:

- Boltene plasseres ikke bare ut i et regulært mønster for å få den boltekraften som behøves, men lokalt – på grunn av oppsprekking i det ustabile partiet – er det viktig at den dimensjonerende kraften for hver enkelt bolt ikke overskrides. Det vil si at ulike områder i det ustabile partiet kan ha behov for ulike boltedimensjoner og mønster, og dette vurderes i hvert enkelt tilfelle.
- Bruk av ikke-forspente bolter og stag: For at en ikke-forspent bolt eller et stag har en stabiliserende effekt, kreves i prinsippet at det ustabile partiet beveger seg. Før en eventuell bevegelse, ligger bolter/stag «døde» og har ingen virkning. I slike tilfeller benyttes en passiv boltemodell. Dette i motsetning til forspente bolter eller stag, der det benyttes en aktiv

boltemodell. Bygningmessig antas det at de stabiliserende kreftene økes ved en passiv bolteinstallasjon, mens de drivende kreftene reduseres ved forspenning.

I figur 5.2 er boltekraften T skissert. Boltekraften har en positiv komponent for normalspenningen på bruddplanet og en stabiliserende kraft langs planet. Ved å legge Eurokode 2 (NS-EN 1992) [38] tabell NA.2.1N til grunn vil armeringsstål og spennstål ha en materialfaktor γ_s på 1,15. Dimensjonerende boltekraft blir da:

$$T_d = \frac{T_c}{\gamma_s} \quad (16)$$

der T_d = dimensjonerende boltekraft
 T_c = karakteristisk boltekraft

Partialfaktoren for en gunstig permanent last γ_G er ifølge [8] tabell NA.A.3 lik 1,0. Som stabiliserende bidrag i bruddplanet, vil boltekraften være:

$$T_s = T_d \cdot \cos \alpha \quad (17)$$

der T_s = boltekraft langs bruddplan

Som bidrag til normalspenningen, er boltekraften som vist nedenfor:

$$T_n = T_d \sin \alpha \quad (18)$$

der T_n = kraftbidrag til normalspenning fra sikringen

Stabilitetsvurdering

Som nevnt ovenfor og vist i lign. (4), regnes bergskjæringen som stabil når summen av de stabiliserende kreftene er større enn summen av de drivende. For tilfellet i figur 5.2 er summen av de stabiliserende kreftene med en aktiv boltemodell:

$$\Sigma R_d = (G_n - U_n - F_n + T_n) \tan \varphi_d \quad (19)$$

Summen av de drivende kreftene er da:

$$\Sigma F_d = G_s + F_s - T_s \quad (20)$$

Nilsen (2016) [25] har sammenlignet den tradisjonelle sikkerhetsfaktormetoden med partialfaktor-metoden og kommet til at sikkerhetsnivået er noe høyere ved bruk av sistnevnte. Det er også erfart at visse kombinasjoner av vanntrykk og seismiske laster kan gi et urealistisk høyt sikringsbehov. Det er derfor anbefalt å gjøre parameteranalyser, som gir et bilde av hvordan ulike laster slår ut på sikringsnivået.

5.3 Sikringspraksis

Bergartstype, oppsprekkmønster, slepper/svakhetssoner, forvittringsgrad, vann og bergspenninger beskriver bergmassen – altså det byggematerialet som bergskjæringen består av. Observasjoner, ingeniørgeologisk kartlegging, vurderinger av stabilitet og beregninger bestemmer i hvilken grad bergmassen behøver forsterkning for å kunne stå stabilt over en forlenget tidsperiode.

Rensk og arbeidssikring bestemmes vanligvis av utførende entreprenør for å kunne gi trygge arbeidsforhold inntil bergskjæringen er drevet ut. Permanent sikring ivaretar langtidsstabilitet og brukernes sikkerhet over tid, og dette fastsettes som regel av byggherren, eller eventuelt av foretaket som drifter vegen.

Aktuelle sikringsmidler er rensk, bolting, bånd/nett, sprøytebetong og betongstøp. Årsdøgntrafikk (ÅDT) og bredden av sidearealet er med på å bestemme hvor mye nedfall som kan tillates.

Oppknust berg, svært oppsprukket berg og dagberg kan sikres med fiberarmert sprøytebetong supplert med innstøpte bolter, eller alternativt med selvborende stag.

5.4 Sikringsmetoder

5.4.1 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.

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. Generelt anbefales det at all maskinrensk kontrolleres med manuell spettrensk.

5.4.2 Bolter

Bergpartier og steinblokker som ikke lar seg renske ned, sikres ofte ved hjelp av bergbolter og stag. Bolting er en effektiv og i de fleste tilfeller en forholdsvis rimelig form for bergsikring. Bolting i områder over kranrekkevidde blir normalt utført av personell i klatretau, og det kan være tidkrevende. Spesielt tidkrevende er boring for lengre bolter enn 6 meter da disse krever grovere hull på grunn av skjøtehyller på borstengene. Omfanget av denne typen boltesikring blir derfor begrenset.

Ulike typer bolter og stag kan dimensjoneres med programvare, som for eksempel *RocPlane* og *Swedge* fra *Rocscience.com*.

Bolter benyttes også i kombinasjon med andre sikringsmidler, som nett, bergbånd og sprøytebetong.

Til permanent sikring benyttes det ut fra levetidsbetraktninger fullt innstøpte bolter, enten som kombinasjonsbolter eller vanlige gysebolter som presses inn i mørtelfylte borehull. Bolter til øyeblikkelig sikring er en av to typer. Enten kombinasjonsbolt med ekspansjonshylse, eller bolt endeforankret med lim/polyesterpatron. Disse boltene kan dessuten forspennes og med det øke glidemotstanden/friksjonen på sprekkene/glideflatene slik at glidning vanskeligere igangsettes.

Bolter endeforankret med lim brukes normalt ikke som permanent sikring i bergskjæringer. Se R761 [2] for unntak fra dette.

Innstøpte bolter

En fullt innstøpt bolt fungerer som en armering av berget. Boltene gir mulighet for å ta opp strekk- og skjærkrefter, men lasten konsentreres over begrensede områder, f.eks. over en sprekk. Fullt innstøpte bolter uten forspenning blir virksomme etter hvert som berget deformeres.

Kombinasjonsbolter

Kombinasjonsbolter er bolter som i utgangspunktet endeforankres med ekspansjonshylse, og som på et senere tidspunkt kan ettergyses. Dermed kan kombinasjonsbolter benyttes både til øyeblikkelig, midlertidig og permanent sikring. Ved å bruke en perforert plasthylse rundt boltene hindres tap av gysemasse i slepper. Kombinasjonsbolter har den fordel at de kan monteres i kulde og ettergyses når temperaturen tillater det.

Endeforankrede bolter

Endeforankrede bolter benyttes i tilfeller der det er behov for rask og midlertidig sikring, f.eks. arbeidssikring. Endeforankrede bolter erstattes med gyste bolter dersom de ikke kan ettergyses. I nærheten av områder som skal sprenges, brukes ikke endeforankrede bolter da påkjenninger fra sprenggassene kan ødelegge forankringen.

5.4.3 Stag

Stag er lange bolter, normalt over 6 meter, bestående av en eller flere vaiere eller høyfast stangstål.

Borstangbolter er borstang påmontert en engangs borkrone, som bores inn til ønsket dybde i berget. Ved oppnådd dybde gyses borstangboltene. Denne typen bolt er godt egnet i tett oppsprukket og dårlig berg, der det ved konvensjonell bolting er en fare for at borehullet raser sammen etter uttrekk av borstang og før montering av bolt.

Stangstag er bolter av høyfast stål som kan brukes til stabilisering av høye bergskjæringer og store, ustabile partier. Stagene forlenges med 3 meter lange seksjoner og har høy lastkapasitet. Stangstag støpes inn helt eller delvis, og de forspennes for å kunne utnyttes fullt ut. Stagene gyses gjennom et langsgående sentrisk hull. Stagene har ofte stål med høy strekkfasthet og lav skjærfasthet. De plasseres derfor slik at de får rent strekk og minimal skjærkraft.

Kabelstag, eller lissestag, består av en eller flere vaiere, og de benyttes til stabilisering av høye bergskjæringer og store, ustabile partier. Denne type stag har stor lastkapasitet og forspennes med stor kraft. Ved montering endeforankres staget først med mørtel. Etter herding forspennes og ettergyses staget.

For forankring med stag, se håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging [24].

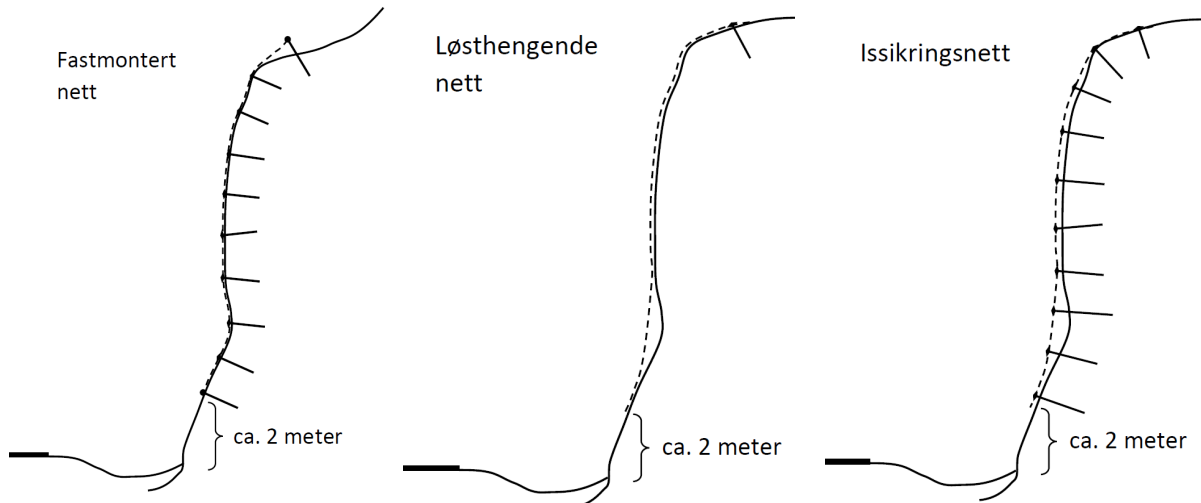
5.4.4 Nett

Større blokker forankres med bergbolter. Partier med tettere oppsprekking og mindre blokkstørrelser sikres med ulike typer nett og bergbånd (se 5.4.5).

Sikring med nett utføres på alt fra skjæringsflater med småfallent, oppsprukket berg til blokkige partier og naturlige fjellskrenter og urmasser (også jordskråninger). De vanligste typer nett er steinsprangnett, flettverksnett, vaiernett og vaierforsterket steinsprangnett, evt. kombinasjoner av disse. Beskrivelsene nedenfor gjelder kun bergskjæringer, evt. med overliggende fjellskråning.

Steinsprangnett inkludert issikring

Steinsprangnett er særlig egnet for sikring mot nedfall av stein og blokk opp til halv meter i størrelse i bergskjæringer og fjellskråninger. Montert i en viss avstand fra underlaget fungerer nettene også som issikring (eget avsnitt nedenfor).



Figur 5.3 Tre prinsipielle metoder ved montering av steinsprangnett.

Fra venstre: - Et fastmontert nett er boltet inn til berget og holder løs stein og småblokk på plass. I dette eksemplet er øvre kant med stålvaier løftet for å fange opp evt. løst materiale ovenfra. - Et løsthengende nett er solid festet i toppvaieren, og løs stein kan gli ned langs innsiden av nettet. - Issikringsnett fastmontert med systematisk bolting. Som issikring festes nettet ca. 25 cm fra underlaget og aldri med overheng for at det ikke dannes fritthengende is på utsiden av nettet.

For å unngå skader og slitasje er det gunstig med en viss avstand fra bakkenivå til nettets nedre kant, her er det valgt ca. 2 meter, men høyden vurderes ut fra oppsprekingsgrad, fare for iskjøving og bredden på sidearealet.

Steinsprangnett finnes i ulike kvaliteter og dimensjoner med ulik stål kvalitet, styrke, maskeform og maskestørrelse, tråddykkelse og korrosjonsbeskyttelse. Krav til steinsprangnett er gitt i R761 [2].

Stedlige forhold som bergkvalitet/oppsprekking og helningsgrad/form på underlaget bestemmer nødvendig areal, type nett, om nettet skal følge overflaten eller ikke, etc. (se skisser i figur 5.3). Det avgjøres om nettet kan legges i direkte kontakt med underlaget, eller heves i toppen for å fange opp stein som kan komme ovenfra (figur 5.4).

Nettet kan festes kun i toppen og henge fritt helt ned til bunnen av skjæringen for å lede utraste steinblokker ned langs innsiden (såkalt defleksjonsnett). I slike tilfeller er det viktig med tilstrekkelig bred grøft. Nedraste steinmasser kan også stoppes av en bunnvaier, og nettet tømmes periodisk som en del av vedlikeholdet.

Det vanligste er å feste nettet til underlaget med systematisk bolting (festebolter, forankringsbolter) i et gitt mønster. Oppsprekingsgrad og forventet belastning spiller også inn. I oppsprukket berg eller ved issikring anbefales 1 bolt pr. 4 m², som er 2 x 2 kv.meter eller 3 x 3 kv.meter med én bolt i midten. Boltemønster 2,5 x 2,5 kv.meter og 3 x 3 kv.meter uten midtbolter tilsvarer 1 bolt pr. 7 m² og 9 m², og større bolteavstand anbefales ikke for fastmontert nett. Ved ujevnt underlag kan det bli nødvendig med ekstra bolter. Krav til korrosjonsbeskyttelse av bolter og tilbehør er gitt i [2].



Figur 5.4 Steinsprangnett i Fanavegen i Bergen. Her er øverste kant av nettet hevet for å kunne fange opp stein som kan rulle ned fra terrenget ovenfor. Foto: T. Kirkeby.

Bergets oppsprekingsgrad/forvitring (også antatt forvitringspotensiale) og forventet belastning er bestemmende for valg av boltediameter og -lengde. Ved lite til moderat oppsprukket berg kan det benyttes Ø16 mm og lengder mindre enn 1 meter (typisk 0,6 og 0,8 meter), mens det i mer oppsprukket berg (og til issikring) anbefales bolter Ø20 mm og lengde 0,8–1,5 meter. Nettene kan også festes på allerede monterte bergsikringsbolter med en ekstra skive der det passer. I startfasen anbefales det prøvetrekking, og senere i byggefasen anbefales det prøvetrekking av tilfeldige valgte partier.

Der nettet har funksjon som *issikring*, monteres det nær vertikalt 20–25 cm fra underlaget ved hjelp av dobbel skive/mutter slik at isen blir hengende fast i nettet og langsomt tiner uten å falle ut i større blokker. Det anbefales å bruke 20 mm bolter med minste lengde 0,8 meter. Oppsprukket berg vil kreve lengre bolter, og det samme vil ujevnt underlag for å få nettet til å henge mest mulig vertikalt slik at det ikke dannes fritthengende is på utsiden av nettet. Ved ujevnt underlag med overheng kan det vurderes å montere et «innernett» for å fordele kreftene. Der det forventes store ismengder, anbefales vaierforsterket nett – se nedenfor.

Flettverksnett

Flettverksnett er et mer finmasket nett. Det er mindre stivt enn steinsprangnett. Det kan også benyttes på småfallent berg i bergskjæringer og skrenter, men det er sårbart for tråddrudd og anbefales normalt ikke. Det egner seg derimot godt som innernett i vaiernett og fanggjerdar for å stoppe små stein.

Vaiernett

Vaiernett brukes der det er behov for en nettype som tåler store belastninger fra større blokkpartier. Et eksempel er ustabile enkeltblokker eller grupper av enkeltblokker som det enten er praktisk umulig eller risikabelt å bore og montere bolter i. Andre eksempler er ustabile, grovblokkige urmasser og forsterkning av issikringsnett. Nettet festes med bolter i strategiske punkter i fast berg rundt ytterkant.

Vaierforsterket nett

Vaier innsydd i steinsprangnett i et grovt rutemønster som gjør at nettet kan ta opp større krefter enn et vanlig steinsprangnett. Disse nettene benyttes der alminnelige steinsprangnett ikke vurderes som tilstrekkelig sikring og rene vaiernett blir for grovmasket. Vaierforsterket nett er særlig egnet ved issikring, der mengden blir for stor for vanlig steinsprangnett.

Arbeidssikring

Nett brukt som arbeidssikring behøver ikke å være av kvalitet med lang holdbarhet. Det kan brukes enklere, billigere nett uten korrosjonsbeskyttelse, også tekstilnett. Det er viktig at nettet tåler det som forventes å kunne komme ned i løpet av byggeperioden.

5.4.5 Bergbånd

Bergbånd benyttes der det er behov for å oppnå samvirke mellom bergbolter, som oftest slik at antall bolter kan reduseres i forhold til om det ikke blir benyttet bånd (se figur 5.5). For krav til bånd, se [2].



Figur 5.5 Sikring av ustabile blokker med bergbånd. Foto: T. Kirkeby.

Boltelengden tilpasses forholdene. De fungerer som bergbolter der det er nødvendig, men de kan også kortes ned til minimum 1 meter der de fungerer kun som festebolter i godt sideberg.

Bergbånd kan brukes som arbeidssikring i forbindelse med sikring av ustabile steinblokker, som det vil være risikabelt å bore i. Båndet spennes i så fall over fronten på den ustabile blokken og forankres med kortere festebolter i intakt berg på hver side.

Bånd kan kombineres med steinsprangnett om det stedvis er enkeltblokker for store for nettet (større enn 0,5–0,6 meter). Ved større grovblokkige partier benyttes vaiernett.

5.4.6 Sprøytebetong

Sprøytebetong er egnet som sikring i bergskjæringer der det forekommer meget oppsprukket, løst og/eller forvitret berg der nett ikke vil klare å stoppe videre forfall som følge av forvitring, utvasking og nedfall. Betongen forseglar berget og forsinker prosessene.

Riktig utført er sprøytebetongsikring i praksis vedlikeholdsfri over mange år spesielt om det er tørt eller lite vann. Se for øvrig NB7 Sprøytebetong til bergsikring [39].

Det benyttes fasthetsklasse B35 og bestandighetsklasse M45 [2], E700 eller E1000 med stålfiberarmering og minimum tykkelse 8 cm. På syredannende bergarter og alunskifer kreves spesielle betongresepter avhengig av eksponeringsklasse – vanligvis M40, se NS-EN 206 [40] – og med tykkelse minimum 10 cm.

Arealet som sprøytes inn, begrenses til et minimum både grunnet kostnader og estetikk. Aktuelle situasjoner er:

- A. Svakhetssoner (forkastninger, sprekkesoner, svake bergartslag) med oppsprukket berg og leire der det kan forventes rask forvitring og erosjon som et nett ikke kan hindre.
- B. Dypforvitring der hele eller store deler av skjæringen er omvandlet til en jordaktig eller grusaktig masse med bare spredte blokker og relikte strukturer igjen av den originale bergarten.
- C. Skjæringsveggen er generelt meget tett oppsprukket evt. også ujevn, og det vil løsne stein og blokk til selv lange nettbolter mister festet, eller deler av skjæringen faller ut. Evt. steinsprang-nett krever hyppig vedlikehold.
- D. I urbane strøk med tett bebyggelse/bruer/murer etc., lite eller intet sideareal, høy trafikk og liten mulighet for vedlikehold.
- E. Bekvemmelighet. Skjæringen er ikke spesielt dårlig, men inspeksjon/vedlikehold blir nær ingen ting.

Ved situasjon A dreier det seg som regel om begrensede, avlange partier, og betongen kan innskrenkes til forholdsvis smale striper (figur 5.6).

Ved situasjon B er en svakere skjæring med lite eller ingen sikring å foretrekke dersom det er praktisk og økonomisk gjennomførbart, dvs. ikke for høyt og det er sideareal tilgjengelig. Alternativt kan det settes opp en tørrmur (som gravitasjonsmur) om det er plass, eventuelt som forblendingsmur foran sprøytebetong og bolter om det er mindre plass.

Situasjon C er ofte et resultat av feil boring og hard sprengning og kan være siste mulighet om bergskjæringen ikke kan reddes med maskinrens og bolter/bånd/nett.

Situasjon B og C kommer ofte opp i store arealer. Sprøytebetongen kan grense til områder som kun er boltet, men ofte vil det bli en overgang til nettsikring. Fordeling betong/nett avgjøres etter en totalvurdering av stabilitet, kostnader, estetikk og forventet senere vedlikehold.



Figur 5.6 E6 i Oslo. Bergskjæring med halvmeter tykk svakhetsone skjult bak sprøytebetong. Betongen har holdt i over 25 år og effektivt stanset erosjon og utvasking langs sonen. Foto: T. Kirkeby.

Systematiske drenshull gjennom sprøytebetongen i bergskjæringer er som regel ikke nødvendig, men dette kan likevel vurderes i særlige tilfeller. For eksempel:

- Mye rennende vann, vanskelig å sprøyte. Drenering legges før sprøyting.
- Dårlig/ingen heft til berg (leire, sterkt oppsprukket berg) og det er sannsynlig at vann vil samle seg mellom underlag og betong.

Dersom det bores hull, anbefales det korte hull. Risikoen for å finne mer vann, øker med lengden. Mer vann frem til betongen kan føre til mer iskjøving og ekstra fuktbelastning på betongen. Det bores ikke systematisk – kun der vannet faktisk befinner seg. Se eksempel i figur 5.7.



Figur 5.7 Fyllingsdalen i Bergen. Eldre sprøytebetong i bergskjæring overvokst av mose og annen vegetasjon. Ingen synlige bolter, men det er boret drenshull. Foto: Statens vegvesen.

Avslutning i topp mot løsmasseskråning og vegetasjon kan være en utfordring. Det enkleste er å sprøyte opp, og ofte vil det gi en akseptabel stabilitet. I tilfelle større løsmasseskråninger og/eller dårlig berg kan det bygges en lav betongmur langs kanten som sprøytebetongen avsluttes mot. Betongstøp med ensidig forskaling og forankring til berg er en alternativ sikringsmetode.

Bolter i kombinasjon med sprøytebetong

Forvitret, leirholdig og/eller grusig berg gir dårlig heft, og betongen kan løsne ved at den drar med seg ytre deler av underlaget. Derfor anbefales systematisk bolting etter sprøyting for å spikre betongplata til underlaget.

Blokkpartier som sikres spesielt, kan boltes før sprøyting – eller etterpå forutsatt at plassering/vinkling er bestemt på forhånd og kan gjenfinnes.

Ved systematisk bolting bestemmes boltelengde, –vinkling og –avstand i hvert enkelt prosjekt. Om borhullene ikke står åpne lenge nok for montering/gysing av tradisjonelle gysebolter, brukes borstangbolt med påmontert engangskrone som gyses gjennom stanga. En enklere løsning kan være å presse inn en rørbolt uten ekspansjonshylse.

Det er viktig at boltene er lange nok til å nå inn i antatt fast, stabilt berg. I tilfelle omfattende dypforvitring, der det nærmest er jord/grus mange meter innover, blir problemstillingen geoteknisk. Se derfor V220 [24].

Sikring med armering

Stålfiberarmert sprøytebetong kombinert med gyste bolter vil være tilstrekkelig i de aller fleste tilfeller. Dersom en tykk nok betongplate ikke får fast forankring i berg, og det er behov for en støttemur, kan armeringsnett vurderes der massene bak kan tenkes å belaste konstruksjonen til kollaps. Nettene er stive. De tilpasses og festes tett på overflaten for god heft/kompaktering til berg og rundt stål og for å begrense betongforbruket.

Inspeksjon/vedlikehold

Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger: Bergskjæringer skal holdes fri for løs stein, løs sprøytebetong og is/iskjøving som er til fare for trafikanter og andre samt veg og vegutstyr.

Trafikkbelastningen, i tillegg til mye vann/is, vegetasjon, bakterievekst og aggressivt miljø som syredannende bergarter og alunskifer, vil tære på sikringsmidler som sprøytebetong og nett over tid. Sikringen må derfor etterses jevnlig.

Nett etterses med jevne mellomrom. Det kan bygges opp tunge posere med løs stein om nettene bare delvis er montert mot underlaget og ikke er åpne i bunnen. Nettene tømmes ved å trekke ut bunnvaieren eller løsne skiver/bergbånd og åpne nettet i bunnen. Mindre skader kan repareres etter kontroll, evt. med supplerende bolting og rensk. Hvis ødeleggelsen er for stor, fjernes nettet og nye nett monteres.

Statens vegvesens rapport nr. 199 [41] gir eksempler på skader som kan oppstå i sprøytebetong i tunnel. Lignende type skader kan også oppstå ute i skjæring.

6 Kontroll i byggefasen

Kontroll under bygging og utførelse skjer iht. kvalitetsplanen på veganlegget og vegnormal N200 [1]. Kontroll omfatter i hovedsak sprengningsarbeidene. Se håndbok R761 [2].

Kapittel 2 beskriver kontroll etter Eurokode 7 [8]. Dokumentasjon fra utvidet utførelseskontroll i UKK3 forelegges byggherren [1].

6.1 Før igangsetting

Salveplanen er en skriftlig plan med figurer som i detalj beskriver boring (hulldiameter, bormønster, hullhelning og underboring), lading i hvert hull, tenningsrekkefølge og dekning av den enkelte salve i samsvar med sprengningsplanen.

Sprengningsplanen er iht. kravene i kontrakt, og den leveres som informasjon til byggherren før arbeidene starter opp. Det kan være satt begrensninger på pallhøyde og salvestørrelse.

Bergart og geologiske strukturer har betydning for sluttresultatet. Sprengningsplan og salvestørrelser vurderes når berget/pallen er tilstrekkelig rensket og konturen er merket opp.

Det er viktig å tilegne seg kunnskap om hvordan bergmassen reagerer på sprengning slik at de første salvene ikke er for store. Feil boring og lading kan føre til store ødeleggelser, som blir vanskelig å reparere – om mulig. Derfor bores ikke store deler av konturen opp før første salve sprenges.

6.2 Boring

6.2.1 Generelt

Det er viktig å kontrollere kontur og nest ytterste rast (hjelperasten). Hullavstandene kan enkelt måles. Det er en fordel om hullrastene merkes opp, spesielt i konturen, med markering for hvert ansett. Lett synlige plastkjegler i ferdige hull kan brukes for hullbeskyttelse og oversikt.

Under boring kan unøyaktig ansett, feil vinkling og større hullavstand i konturen enn avtalt forekomme og påpekes. Relevante forhold å være oppmerksom på er f.eks. for stor forsetning for hjelperasten (figur 6.1).

Borrappport er i sin enkleste form en hulloversikt med «ok» for hvert hull. Mange rigger har utstyr for MWD (Measurement While Drilling), men dette erstatter ikke borrapporten. Avvik fra salveplanen rapporteres – også geologiske forhold som kan ha betydning for lading/sprengning som for eksempel slepper, svakhetssoner eller vanninnbrudd.

6.2.2 Boravvik

Forutsatt en god salveplan er nøyaktig boring vesentlig for et godt resultat. Boravvik skyldes gjerne feil utsetting av hull, unøyaktighet ved ansett (både i punkt og retning), hullavbøyning under boring, feil hulldybde og feil boreteknikk, hard mating, utstyr som ikke fungerer eller ikke passer for oppgaven.

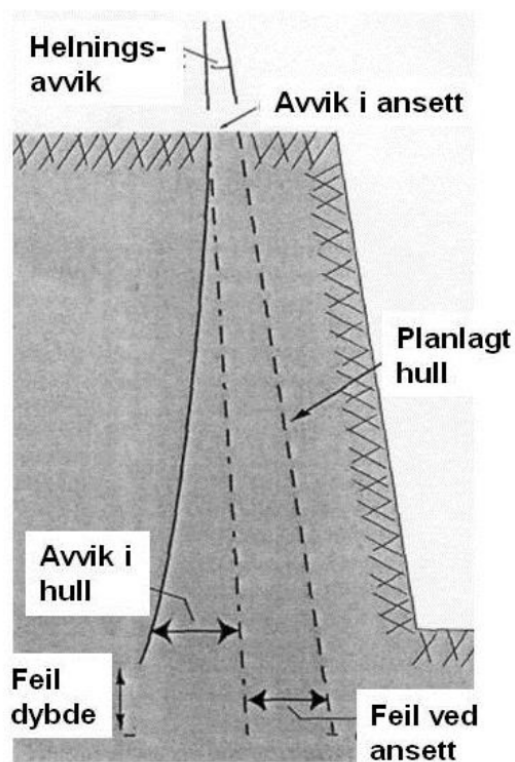
Kontroll er viktig for å kunne påpeke tiltak som er nødvendig for minst mulig avvik fra plan. Se figur 6.2. Stort avvik kan resultere i en ujevn, skadeskutt skjæringsvegg med hakk og gjenstående knøler i

bunn og vegg. Dette er forhold som utbedres med mer rensk og sikring. Det vil også være fare for pilsalve og steinsprut der overdekningen blir for liten. Unødige skader krever mer reparasjon med rensk og sikring.

Se også NFF Teknisk rapport nr. 03 [23]; NFF Teknisk rapport nr. 11 [42]; og NFF Håndbok nr. 07 [22].



Figur 6.1 Bildet viser eksempel på uheldig plassering av hull ved slettsprengning. Konturen til venstre med akseptabel forsetning (avstand til neste hullrast – hjelperasten – midt på bildet). Det er derimot langt til neste hullrast (til høyre i bildet), dvs. alt for stor forsetning for hjelperasten. Foto: H. Fagerheim.



Figur 6.2 Skisse som viser flere mulige årsaker til boravvik

Mulige årsaker til avvik ved boring er oppsummert i det følgende:

Utsetting

Etter avdekking og rensk måles hvert enkelt ansett i konturlinja og nest ytterste rast (hjelperast) inn og merkes opp. Hullavstander kontrolleres. God merking forenkler arbeidet og reduserer risikoen for at ansett forskyves. På mer ujevn overflate ligger ikke hullansett nødvendigvis helt på linje, eller med samme avstand langs bergoverflaten. Det er viktig at borhullene har korrekt innbyrdes avstand i samme plan (figur 6.3).



Figur 6.3 Eksempel på unøyaktig utsetting/boring i kontur. Planlagte konturhull er ringet inn, og de to konturhullene midt på bildet er erstattet av ett hull i nedkant av den skrå flaten vist med piler. Det er ikke satt ut en tydelig linje med merke for hvert ansett. Foto: T. Kirkeby.

Ansett

Boret settes an på merket med boretårnet i riktig helningsvinkel og –retning. Ansett flyttes ikke for bekvemmelighet og enklere/raskere boring. De fleste rigger har integrert kompass og vinkelmåler med digital avlesning nær operatørplass, men et minstekrav er manuelt utstyr for innretting.

Hullavbøyning

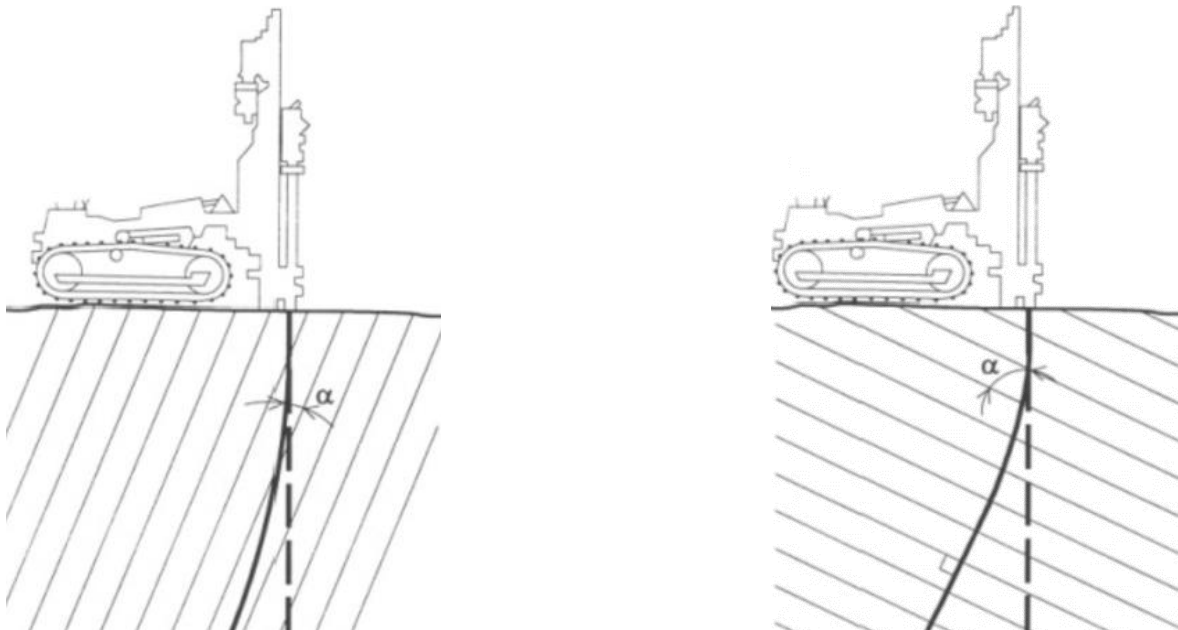
Under boring kan hullet dra seg til side som følge av inhomogeniteter i berggrunnen, dvs. bergartsgrenser, foliasjon/skifrihet, lagdeling, sprekkeplan, slepper, etc. Særlig tydelig er dette i skifrige/velfolierte bergarter (figur 6.4 og 6.5).

Faktorer som påvirker størrelsen på avviket, forutsatt korrekt ansett:

- Hullengden: Faren for og størrelsen på avviket øker med lengden. Det settes ofte en grense for maksimal pallhøyde, som regel 8–10 meter.
- Borehulldiameter: Store hull og grovt utstyr er vanligvis mer retningsstabil enn mindre dimensjoner, men ikke om stålet er mykt og/eller det er stor forskjell mellom kronediameter og stang/skjøtehylser. Problemet øker i myke bergarter fordi hullet utvides av friksjonen mellom borstang og hullvegg, og større bue på stanga gir skjevt slag i bunn.
- Høye matertrykk øker avviket. Forsiktigere boring kan redusere avviket.

- Type og vedlikehold av borrhigg (gammel rigg, manglende støtte nær ansett, etc.).
- Borkronedesign: Ballistisk framfor sfærisk stiftprofil kan gi mindre avvik i visse bergarter.
- Styrestang (extension rod, guide rod) gir alltid bedre resultat (se eksempel, figur 6.5).

Det finnes flere typer utstyr for nøyaktig å måle hullets romlige orientering. Den enkleste metoden er å bruke en lommelykt og lyse ned i hullene og notere i hvilken retning og dybde lyset forsvinner. Krone-diameter spiller inn. Ved samme avbøyning forsvinner lyset senere ved stor diameter enn ved mindre diameter. Boroperatøren kan få indikasjoner som økende rotasjonstrykk (den bøyde borstrengen gir stadig større friksjon mot hullveggen), varmgang i stenger, etterjustering av boreårnet, o.l.



Figur 6.4 Skisser som viser karakteristisk avbøyning i skifrig bergart. Der vinkelen α er mindre enn ca. 25° (til venstre), dras borhullet inn langs foliasjonsretningen. Der α er større enn ca. 60° (til høyre), bøyes borhullet av mot normalen til foliasjonsplanet.



Figur 6.5 Eksempel på boravvik. Forskjell på boring med og uten styrestang. Avbøyningen mot høyre skyldes sannsynligvis gneisfoliasjonens slake fall mot venstre. Kilde: Sandvik.

Hulldybde

Boringen avsluttes på en på forhånd bestemt kotehøyde. Selv om riggen er korrekt stilt inn på en hullengde, kan avbøyning føre til at hullet ikke går dypt nok. En annen feilkilde er materiale som raser ned i hullet fra overflate eller hullvegg.

Borrappport leveres før lading og inneholder informasjon om eventuelle slepper, vann og andre forhold, som igjen kan føre til endringer i planene. Dette kan være flere hull, redusert salvestørrelse, overgang fra bulk til patronert, etc. Boravviket hører også med her. Borrapport utarbeides selv om borer og lader er samme person.

6.3 Lading og sprengning

Lading skjer iht. salveplan. I kontur og nest ytterste rast brukes patronert sprengstoff – ikke sprengstoff fra bulk, enten det er ANFO eller bulk emulsjon. Det kontrolleres at det ikke brukes mer og/eller kraftigere sprengstoff enn planen sier. Dette er spesielt viktig i ytterste og nest ytterste rast.

6.4 Før og etter lasting

Som regel inspiseres konturkvaliteten først fra sålen i trygg avstand fra usikret skjæringsvegg. En jevn vegg, synlige konturhull og lite sekundære sprekker tyder på godt arbeid, men geologiske forhold og utførelse som ikke er iht. plan kan gi andre resultater. Salveplanen kan eventuelt justeres.

Etter rensk vurderes skjæringsveggen for stabilitet og sikring. Geologi, oppsprekking, slepper, etc. kartlegges av person med bergteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse [1]. Avhengig av høyde kan mye gjøres fra sålenivå, men for oversikt og ved høye bergskjæringer skjer befaringen fra krankorg/lift. Se figur 6.6 for en generell vurdering.

Ved flere pallhøyder kan hver pall sikres før neste pall tas ut. Fordelen er lav høyde med grei adkomst for maskiner og materialer. Det gjøres alltid en totalvurdering av ferdig skjæring før de siste sikringsarbeidene fullføres. Ofte gjøres kun nødvendig rensk og arbeidssikring inntil hele veggen er tatt ut slik at hovedarbeidet og permanentsikringen tas samlet til slutt.

Ved høye skjæringer i geoteknisk kategori 3 [1] rettes spesiell oppmerksomhet på sprekker/slepper, som kan destabilisere skjæringen (totalstabiliteten) dersom det tas ut for store volum uten å sikre suksessivt i tråd med resultater fra totalstabilitetsanalyser som *Swedge* eller andre verktøy for blokkstabilitetsvurdering.

For dokumentasjon av utført sikring, se kapittel 7.

«SKADE»TYPE	PROFIL AV UTTAK	ÅRSAK	LØSNING
Bakbrytning utenfor kontur		Konturhull (ev. også hjelpe- rast og nærmeste salvehull) kan være overladet, eller står for nær konturhullene	Mindre lading, og/eller større hullavstand. Flytte hjelperasten fra kontur, ev. mindre lading, eller lenger tid mellom kontur og hjelperast ved slettsprengning
Bakbrytning rundt konturhullene		Sprengstoffet er for sterkt i forhold til bergartsstyrken	Mindre fordemning ved slettsprengning, svakere lading ev. oppdeling i hullene
Bakbrytning mellom konturhullene		Hullene står for tett	Større hullavstand
Ingen oppsprekking ved presplitt, eller dårlig fragmentering		Hullene står for langt fra hverandre	Kortere hullavstand eller svakere lading

Figur 6.6 Vurdering av skjæringsveggen. Oversikten er et hjelpemiddel for vurdering av eventuell «skade», mulige årsaker til skade, og forslag til løsning (etter Jimeno m.fl. [43]).

7 Sluttrapportering

Vegnormal N200: Den utførte sikringen sammen med de geologiske forholdene skal dokumenteres i sluttrapport. Rapporten skal inneholde informasjon for fremtidig vedlikehold.

Rapport arkiveres for bruk ved senere drifts- og vedlikeholdsoppgaver, inkl. inspeksjon, overvåking, eventuell utvidelse av bergskjæring, og eventuell prosjektering av ny skjæring i nærliggende område med tilsvarende geologi.

7.1 Innhold i geologisk sluttrapport

I det følgende gis forslag til innholdsfortegnelse i geologisk sluttrapport for bergskjæringer. Sluttrapporten tilpasses omfang og kompleksitet til det enkelte anlegg (se også 7.2 Ingeniørgeologisk sluttrapport for geoteknisk kategori 3).

Generell innholdsfortegnelse:

1. INNLEDNING
 - a. Generelt om anlegget (hva, hvor, når, med oversiktskart)
 - b. Geoteknisk kategori (begrunnelse, evt. opp- og nedgraderinger)
 - c. Rapportens innhold (kort om oppbygningen)
2. BESKRIVELSER
 - a. Topografiske forhold (f.eks. overliggende terreng eller fjellside)
 - b. Skjæringshøyder/lengde- og tverrprofiler, inkl. fanggrøft
 - c. Anleggsoppfølging – bemanning
3. GEOLOGISKE FORHOLD
 - a. Grunnlagsmateriale, ev. tidligere rapporter, regionalgeologi, databaser m.v.
 - b. Kvartærgeologi (løsmassetyper, -dybder, ur)
 - c. Berggrunnsgeologi (bergart, oppsprekking, svakhetssoner)
 - d. Stabilitetsberegninger
 - e. Vann (hydrologi, hydrogeologi), nedslagsfelt, isproblemer
 - f. Miljøgeologi, ev. bergartstyper som kan være forurensende
 - g. Evt. steinsprang og skredfare fra overliggende terreng
4. KONTROLL I BYGGEFASEN
 - a. Bemanning (personer/ansvar, oppfølging og rutiner)
 - b. Kvalitetssikringssystemet (det overordnede)
 - c. Rapportering fra utvidet kontroll
5. SPRENGNING / UTTAK AV BERG
 - a. Sprengningsplanen (den overordnede)
 - b. Tiltak før sprengning (rensk, rassikring, forbolting)
 - c. Salveplaner, borerapporter, salverapporter
 - d. Naboforhold, omgivelser (nærhet/tiltak, vibrasjonskrav)
 - e. Byggherrens oppfølging og rutiner
6. KARTLEGGING OG SIKRING
 - a. Entreprenørens arbeidssikring
 - b. Ingeniørgeologisk kartlegging
 - c. Byggherrens permanentsikring, bestillinger
 - d. Vann og evt. issikring (inkl. grøfter, nedføringsrenner, kummer)

- e. Samlet oversikt over utført sikring (rensk, bolter, sprøytebetong, nett, bånd, betongstøp; evt. kombinasjoner, isnett, annet)
 - f. Forventete og faktiske mengder, evt. avvik med begrunnelse
 - g. Byggherrens oppfølging og rutiner
 - h. Kontroll etter geoteknisk kategori (sidemannskontroll, utvidet kontroll)
7. ERFARINGER FRA PROSJEKTET
- a. Kontraktgrunnlaget (geologisk rapport og E-kapitlet)
 - b. Bemanning og rutiner
 - c. Utførte arbeider
 - d. Gode eller dårlige løsninger som kan videreformidles for erfaringsoverføring
8. FORHOLD SOM ANGÅR DRIFT OG VEDLIKEHOLD
- a. Inspeksjonsrutiner (bergsikringsmidler, bergteknisk kompetanse ved inspeksjon, m.m.)
 - b. Vedlikehold, overvåking
 - c. Spesielle forhold
9. REFERANSER

VEDLEGG, en oversikt

Fotografier: Oversiktsfoto og eksempelfoto
Representative tverrprofiler
Sprekkeroser
Alle sprekke- og strukturmålinger
Kontrollplan byggherre
Sprengningsplan (hovedplan) uten vedlegg
Sprengningsplan/sprengningsopplegg
Salveplan, eksempel (profil x-x, salve nr.)
Kontrollørmelding (inkl. sprengning, rensk, sikring, salve nr.)
Eksempel på entreprenørens bolterapport
Dokumentasjon bergbolter
Dokumentasjon isnett
Tegninger (målestokk iht. N200 [1])

7.2 Ingeniørgeologisk sluttrapport i geoteknisk kategori 3

I det følgende gis noen punkter som utfyller kap. 7.1, og som gjelder den ingeniørgeologiske sluttrapporten i geoteknisk kategori 3. Denne sjekklista kan med fordel benyttes på bergskjæringer i lavere geoteknisk kategori og tilpasset anleggets omfang og kompleksitet.

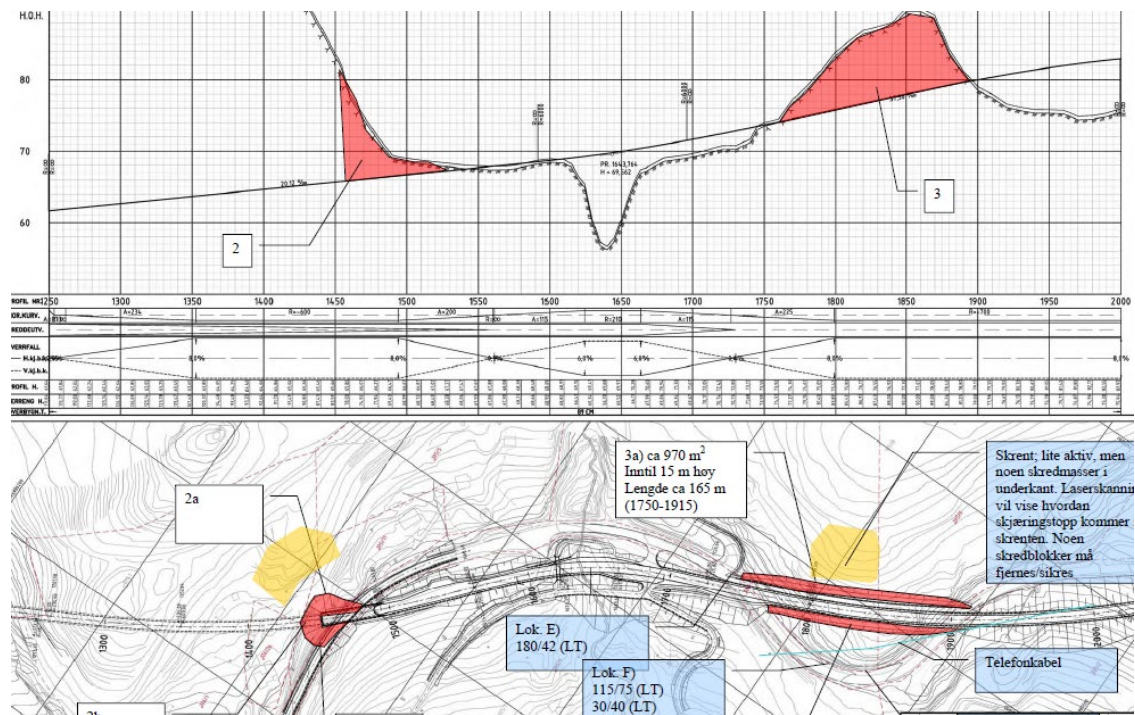
Innledning og generelle beskrivelser

Mer detaljerte kart er vesentlig for nærmere presentasjon (figur 7.1). Målestokken tilpasses prosjektet, C-tegninger kan benyttes kombinert med lengdeprofilene. Skjæringshøyder og geoteknisk kategori kan merkes av på kartene der det er variasjoner av betydning. Representative tverrprofiler vises.

Geologi og forundersøkelser

Ferdig skjæringsvegg er bestemmende, men geologiske forhold har stor betydning for valg av sprengningsmetoder og resultat. Generelle geologiske forhold beskrives så langt det er nødvendig.

Ingeniørgeologiske undersøkelser og stabilitetsvurderinger i byggefasen kommer under kartlegging/sikring sammen med fotografier av utført arbeid.



Figur 7.1 Karteksempel fra sluttrapport for rv. 70 Øydegard-Brunneset.

Kontroll i byggefasen

Kontrollplaner kan vedlegges rapporten.

Sprengning/uttak

Generell sprengningsplan, og eksempler på planer og rapporter fra enkeltsalvene kan legges ved. Sprengningopplegget beskrives, spesielt mht. konturen og erfaringer underveis med metode, kontroller og utførelse.

Kartlegging og sikring

Skjæringsveggen er kartlagt med tanke på stabilitet, både detalj- og totalstabilitet. Beskrivelse av sikringsmetoder og -omfang, vurderinger og beregninger underveis.

Tabell over mengde og type sikringsmidler fra både kontraktgrunnlaget og faktiske mengder forbrukt på anlegget (se eksempel i tabell 7.1). Leverandør/produsent, type korrosjonsbeskyttelse, etc., samt begrunnelse på eventuelle avvik mellom kontraktmengder og faktiske mengder kan stå i samme tabell, eller i selve rapportteksten. Datablader gis som vedlegg til sluttrapporten. Tegninger og fotografier er en del av dokumentasjonen og oversikten over utført sikring, som grunnlag for drift og vedlikehold.

Erfaringer fra prosjektet

Vurdering av de geologiske undersøkelsene og rapporteringen, samt utformingen av kontrakten, med vekt på D- og E-kapitlene. E-kapitlet med prosess/mengder og teksten i de spesielle beskrivelsene vurderes. Byggherrens bemanning og tilstedeværelse i viktige operasjoner. Beskrivelse av gode og dårlige løsninger. Erfaringer med utførelsen kan gi nyttig tilbakemelding for senere prosjekter.

Drift og vedlikehold

Metode og hyppighet, både for bergskjæringen (forvitring, rensk, stabilitet) og bergsikringen (utbedring eller supplering). Spesielle forhold kan være partier som overvåkes mht. stabilitet, rensk av grøft, skredfare fra ovenfor skjæringen, etc. Rutinene kan endres ut fra erfaringer.

Geologisk sluttrapport angir hva som er underlagt inspeksjon utenom selve berget (nett, bolter, sprøytebetong, etc., – av hvem (personer med bergteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse, eller andre) og hvordan (visuelt fra vegbane, evt. med renskespett fra godkjent løfteutstyr, tau, etc.). Det er viktig å påpeke elementer som det er viktig å holde spesielt øye med, enten det er bolter, konstruksjon eller et parti i skjæringsveggen.

Tabell 7.1 Eksempel på angivelse av sikringsprosess, utførte mengder og kontraktmengder i sluttrapport. Prosess viser til R761 [2].

Prosess	Beskrivelse	Enhet	Mengder		Utført/Kontrakt
			Utført	Anbud	
23.13	Spettrensk	time	132	40	3,3
23.223	Bolter endeforankrede lengde 3 m	stk	359	380	0,9
23.224	Bolter endeforankrede lengde 4 m	stk	125	20	6,3
23.31	Bånd	m	3	50	0,1
23.322	Steinsprangnett	m ²	356	2000	0,2

Referanser

1. Vegnormal N200 Vegbygging. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2018)
2. Håndbok R761 Prosesskode 1, standard beskrivelsestekster for vegkontrakter, hovedprosess 1–7. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2018)
3. Sikring av vegar mot isras. Rapport, Statens vegvesen Hordaland og Sogn & Fjordane (1998).
4. Bjordal, H. (2011): Sikring av veger mot steinskred. Statens vegvesen, VD-rapport nr. 32.
5. Norem, H., Flesjø, K., Sellevold, J., Rødin Lund, M., Viréhn, L.E. (2018): Lærebok: Drenering og håndtering av overvann. Statens vegvesen rapport nr. 681.
6. Håndbok V137 Veger og drivsnø. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2012)
7. Håndbok V520 Tunnelveiledning. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2020)
8. NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 (Eurokode 7) Geoteknisk prosjektering, del 1: Allmenne regler.
9. NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 (Eurokode 0) Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
10. Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering. Norsk Bergmekanikkgruppe (2011).
11. Vegnormal N500 Vegtunneler. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2020)
12. Håndbok V770 Modellgrunnlag. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2015)
13. Håndbok R211 Feltundersøkelser. Statens vegvesen Vegdirektoratet (2018)
14. Palmstrøm, A., Nilsen, B., Pedersen, K.B. og Grundt, L.: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler; Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg. Publikasjon nr. 101, Vegdirektoratet 2003.
15. Norsk Forening for Fjellsprenghingsteknikk (2000): Handbook no. 2 Engineering Geology and Rock Engineering.
16. Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2016)
17. Miljødirektoratet (2018): Mellomlagring og sluttdisponering av jord- og steinmasser som ikke er forurenset. M-1243.
18. Vegnormal N101 Rekkverk og vegens sideområder. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2013).
19. Håndbok R763 Retningslinjer for utarbeidelse av konkurransegrunnlag. Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
20. Tiltak for å unngå sprengningsulykker. NA-rundskriv 2013/04, Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
21. Norsk Forening for Fjellsprenghingsteknikk (2014): Håndbok nr. 08. Håndbok for utfører av bergsprengningsarbeid
22. Norsk Forening for Fjellsprenghingsteknikk (2012): Håndbok nr. 07. Håndbok for bestiller av bergsprengningsarbeid
23. Norsk Forening for Fjellsprenghingsteknikk (2003): Teknisk rapport nr. 03. Sikker sprengning i dagen
24. Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2018)
25. Nilsen, B. (2016): Rock slope stability analysis according to Eurocode 7, discussion of some dilemmas with particular focus on limit equilibrium analysis. B Eng Geol Environ:1–8. doi:<https://doi.org/10.1007/s10064-016-0928-9>
26. Wyllie, D.C. (2017): Rock Slope Engineering. 5 edn. CRC Press, Boca Raton
27. Hoek, E., Brown, E.T. (2018): The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
28. Barton, .N (1973): Review of a new shear-strength criterion for rock joints. Eng Geol 7 (4):287–332. doi:[https://doi.org/10.1016/0013-7952\(73\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0013-7952(73)90013-6)
29. Grøneng, G. og Nilsen, B. (2009): Procedure for determining input parameters for Barton-Bandis joint shear strength formulation, vol 38. Rapporter fra Institutt for geologi og bergteknikk. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for geologi og bergteknikk, Trondheim

30. Høien, A.H., Nilsen, B., Olsson, R. (2019): Main aspects of deformation and rock support in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 86:262–278.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.01.026>
31. NBG (1985): *Ingeniørgeologi – berg*. Tapir. doi:oai:nb.bibsys.no:998610185594702202.
URN:NBN:no-nb_digibok_2013080606091
32. NGI (2015): *Using the Q-system – Rock mass classification and support design*. Handbook. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo
33. Barton, N. (1995): *The Influence Of Joint Properties In Modelling Jointed Rock Masses*. 1995/1/1
34. Barton, N., Lien, R., Lunde, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics* 6 (4):189–236. doi:<https://dx.doi.org/10.1007/bf01239496>
35. Wyllie, D.C. (2009): *Foundations on rock*. 2 edn. E & FN Spon, Abingdon
36. Bruland, A. og Thidemann, A. (1991): *Sikring av vanntunneler*, vol STF36 A91056. SINTEF rapport. SINTEF, Bergteknikk, Trondheim
37. NS-EN 1998 Eurokode 8: *Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning*. Standard Norge
38. NS-EN 1992 Eurokode 2: *Prosjektering av betongkonstruksjoner*. Standard Norge
39. Norsk Betongforening: *Publikasjon nr. 7 Sprøytebetong til bergsikring*
40. NS-EN 206: 2013+A1:2016+NA:2017 *Betong*. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
41. Lindstrøm, M., Magnussen, A.W. og Langelid, A. (2013): *Statens vegvesen rapport nr 199. Inspeksjon av berg og bergsikring i vegtunneler*
42. Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk (2011): *Teknisk rapport nr. 11. Nøyaktig boring*
43. Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A. 1995. *Drilling and blasting of Rock*. (Translated to English by De Ramiro, Y. V.). A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield



www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISBN 978-82-7207-762-3

Trygt fram sammen