

Publikasjon nr. 7

Sprøytebetong til bergsikring

September 2022

Forbehold om ansvar

Denne publikasjonen fra Norsk Betongforening er utarbeidet av en prosjektgruppe sammensatt av fagpersoner utnevnt av publikasjonskomiteen i foreningen. I prosessen med utarbeiding av publikasjonen er det lagt vekt på å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten og de standarder som var gjeldende da arbeidet ble avsluttet. Publikasjonen har vært på høring i fagmiljøet.

Noen feil eller mangler kan likevel forekomme.

Norsk Betongforening forutsetter at publikasjonen brukes av personer med den nødvendige faglige kompetansen, og med forståelse for de begrensningene og forutsetningene som er lagt til grunn. Feil tolking og bruk av innholdet i publikasjonen er ikke Norsk Betongforening sitt ansvar.

Norsk Betongforening, eller medlemmer i prosjektgruppen og publikasjonskomiteen, har ikke ansvar for direkte eller indirekte følge av eventuelle feil eller mangler i publikasjonen, eller bruken av innholdet i publikasjonen.

Forord

Denne utgaven av Norsk Betongforening Publikasjon nr. 7 «Sprøytebetong til bergsikring» avløser utgaven fra 2011.

De felleseuropeiske standardene som omhandler sprøytebetong dekker både tørr- og våtmetoden benyttet til alle formål: Sikring og forsterkning av berg- og løsmasser, selvstendige konstruksjoner, samt reparasjon og oppgradering av eksisterende konstruksjoner. Denne bredden gjør at standardene på en del punkter er lite spesifikke og inneholder følgelig kompromisser, og i tillegg regler som ikke gjelder for bergsikring. De som kun er interessert i bergsikring (som med stor rett kan karakteriseres som et eget fagområde), vil måtte vurdere og filtrere ut det som er relevant. Til tross for standardene er Publikasjon nr. 7 ansett som meget nyttig. Publikasjonen er et tilbud til de som ønsker en samlet framstilling av kravene som gjelder til våtsprøytebetong benyttet til bergsikring.

Det er gjort generelle justeringer og oppdateringer på bakgrunn av erfaringer og utvikling siden forrige revisjon i 2011.

Kap. 1 (spesifikasjon) og kap. 2 (prøvmingsmetoder) henger nært sammen og er relevant som beskrivelse i kontraktssammenheng. I tillegg er det gitt to veiledningskapitler; kap. 3 Veiledning til dimensjonering av sprøytebetong til bergsikring, og kap. 4 Veiledning til spesifikasjon av sprøytebetong.

For lettere å kunne bla mellom kap. 1 (spesifikasjon) og kap. 4 (veiledning til spesifikasjon) er et gitt tema på kapitelnivå 2 i kap. 1 også behandlet på kapitelnivå 2 i kap. 4, for eksempel kapitlene 1.3 og 4.3 heter begge «Materialeegenskaper».

I forhold til 2011-utgaven er hovedendringene som følger:

Innholdet fra tidligere Vedlegg 1 er nå integrert i selve publikasjonen.

Kap. 1 Spesifikasjon

Alle krav og kravliknende formuleringer relevant for spesifisering er flyttet til kap. 1. Tekst av mer informativ art i kap. 1 er flyttet til veiledning i kap. 4.

Kontroll og kontrollfrekvenser:

- Trykkfasthet: For entreprenøren er det ikke krav til prøving av fasthet på støpte terninger. Kontroll av fasthet (og densitet) på anlegget er knyttet til utborede sylindere fra ferdig sprøytet betong. For Utførelsesklasse 3 er prøvningsfrekvensen økt.
- Kontroll av fiberinnhold og -fordeling: Innledende prøvning og samsvarkontroll referer nå helt og holdent til NS-EN 206+NA. Det er imidlertid unntak for de betonglass som benyttes til sprøyting av plateprøver for bestemmelse av energiabsorpsjon; her skal det på samme lass også bestemmes fiberinnhold og fiberfordeling – uansett fiber innblandingsmetode. Denne kontrollen er del av entreprenørens identitetskontroll.
- Energiabsorpsjon: Ved valg av fiberdosering ved oppstart, på bakgrunn av forhåndsdokumenterte resultater, er anbefalte marginer til aktuell E-klasse flyttet til veiledningen. Det er opp til entreprenøren å vurdere tilstrekkelig margin slik at krevd energiabsorpsjon oppnås i prosjektet. Hva som er avvik er spesifisert tydeligere.
- Heftkontroll: Før beskrevet månedlig kontroll, nå angitt tydeligere til min. ett slag pr. 20 m².

- Tykkelse: Før beskrevet månedlig kontroll, nå angitt tydeligere til 10 målinger over profilet for hver 1000 m².

Herdetiltak: Det som før var omtalt som interncur/internherdner heter nå heftforbedrende tilsetningsstoff. I motsetning til «begrepet» interncur er heftforbedrende tilsetningsstoff definert i standarden NS-EN 934-5 med krav til deklarerte egenskaper.

Kap. 2 Prøvningsmetoder

Kun små justeringer. Krav er flyttet til kap. 1.

Kap 3. Veiledning til dimensjonering av sprøytebetong til bergsikring – ingeniørgeologiske og bergmekaniske vurderinger

Veiledning om dimensjonering er nå gitt i eget kapittel på nivå 1. Temaet er gitt en generell oppdatering.

Kap 4 Veiledning til spesifisering av sprøytebetong

- Ved entreprenørens løpende kontroll av fasthet på utborede sylindre anbefales det at hvert prøveresultat behandles individuelt og ikke slås sammen med øvrige resultater i en statistisk vurdering slik NS-EN 13791 beskriver (standarden gjelder bestemmelse av konstruksjonsfasthet for betongkonstruksjoner).
- Vann-/frost- og brannsikring er ikke hovedtema i denne Publikasjonen, men denne delen av sprøytebetongarbeidene har en del momenter ved seg som det er nyttig å informere om, derfor er temaet nå omtalt.
- Et avsnitt om ettersikring av tunneler i drift er inkludert.

Komiteen har bestått av:

Brede Nermoen (Bane NOR)
Christine Hauck (Veidekke Entreprenør)
Jan Erik Hetlebakke (Entreprenørservice)
Karl Gunnar Holter (Norges Geotekniske Institutt)
Ove Ugelstad (Nordic Concrete Group)
Synnøve A. Myren (Statens vegvesen, Vegdirektoratet)
Thomas Beck (Mapei)
Tom Fredvik (Norcem)
Truls Krossøy (Ølen Betong)
Øyvind Bjøntegaard (Statens vegvesen, Vegdirektoratet)

Innholdsfortegnelse

1	SPESIFIKASJON AV SPRØYTEBETONG TIL BERGSIKRING.....	11
1.1	Generelt	11
1.1.1	Henvisninger	11
1.1.2	Spesifikasjon av sprøytebetong	12
1.2	Delmaterialer	13
1.2.1	Sement.....	13
1.2.2	Tilsetningsmaterialer av type II	13
1.2.3	Tilslag	13
1.2.4	Vann	13
1.2.5	Tilsetningsstoffer	14
1.2.6	Fiber	14
1.3	Materialegenskaper.....	14
1.3.1	Bestandighetsklasser, masseforhold	14
1.3.2	Kloridklasse.....	14
1.3.3	Alkalireaktivitet	14
1.3.4	Luftinnhold.....	14
1.3.5	Fasthetsklasser	14
1.3.6	Energiabsorpsjon, effekt av fiberarmering	15
1.3.6.1	Valg av fibertype og fiberdosering ved oppstart	15
1.3.6.2	Løpende kontroll av energiabsorpsjon i prosjektet.....	15
1.3.7	Tidligfasthet.....	16
1.3.8	Heftkontroll	16
1.3.9	Øvrige materialegenskaper	16
1.3.9.1	Bøyestrekfasthet.....	16
1.3.9.2	Densitet.....	16
1.4	Produksjon av basisbetong.....	17
1.4.1	Fibertilsetningsmetode og fiberkontroll	17
1.4.2	Temperatur for basisbetong og akselerator	17

1.4.3	Konsistens.....	18
1.5	Utførelse av sprøytebetong	18
1.5.1	Bestilling av sprøyteutførelse, forberedende arbeider	18
1.5.1.1	Rensk.....	18
1.5.1.2	Geologisk kartlegging	18
1.5.1.3	Vannlekkasjer fra berget.....	19
1.5.1.4	Rengjøring av underlaget	19
1.5.1.5	Tildekking.....	19
1.5.1.6	Temperatur/værforhold.....	19
1.5.2	Sprøyteutførelse.....	19
1.5.3	Tykkelse	20
1.5.4	Herdetiltak	20
1.5.5	Sprøyterapport	21
1.5.6	Etterfølgende arbeider	21
1.6	Kvalitetskontroll og dokumentasjon.....	21
1.6.1	Utførelsesklasse.....	22
1.6.1.1	Utførelsesklasse 1	22
1.6.1.2	Utførelsesklasse 2	22
1.6.1.3	Utførelsesklasse 3	23
1.6.2	Kontrollomfang	23
1.6.2.1	Produksjonskontroll	24
1.6.2.2	Betongleverandørens samsvarskontroll	25
1.6.2.3	Entreprenørens identitetskontroll.....	25
1.7	Tiltak i tilfelle avvik	25
1.8	Grunnlag for oppgjør, målerregel.....	26
1.8.1	Volum	26
1.8.2	Prelletap	26
2	PRØVINGSMETODER	27
2.1	Betongresept.....	27

2.1.1	Masseforhold.....	27
2.2	Fasthet	27
2.2.1	Trykkfasthet av basisbetong, støpte prøver	27
2.2.2	Trykkfasthet av sprøytebetong, utborede sylindre	27
2.2.3	Tidligfasthet	27
2.3	Kontroll og dokumentasjon av utførelse	28
2.3.1	Tykkelse	28
2.3.2	Prelletap	28
2.4	Fiberinnhold og fiberfordeling	28
2.4.1	Prøvetaking	28
2.4.2	Målemetode	28
2.5	Energiabsorpsjon, framstilling av prøveplater og prøving i laboratoriet	29
2.5.1	Måleprinsipp	29
2.5.2	Prøveformer	29
2.5.3	Framstilling av plateprøver	30
2.5.4	Etterbehandling og lagring	31
2.5.5	Prøvingsutstyr og prøvingsoppsett	31
2.5.6	Gjennomføring av plateprøvingen	33
2.5.7	Beregning av energiabsorpsjon	34
2.5.8	Rapportens innhold	35
2.5.9	Eksempel på beregning av energiabsorpsjon	36
2.5.10	Alternativ plategeometri: Kvadratiske plateprøver	37
2.6	Referanser til kapittel 2	38
3	VEILEDNING TIL DIMENSJONERING AV SPRØYTEBETONG TIL BERGSIKRING – INGENIØRGEOLOGISKE OG BERGMEKANISKE VURDERINGER	39
3.1	Innledning	39
3.2	Anvendelse av sprøytebetong	39
3.3	Sikringsfilosofi – funksjon av bergsikring	40

3.4	Virkemåte og belastning av sprøytebetong	43
3.5	Laster indusert av høye bergspenninger	48
3.6	Laster indusert av grunnvannstrykk.....	51
3.7	Metoder for utforming og dimensjonering av bergsikring	53
3.7.1	Generelt	53
3.7.2	Bestemmelse av bergmassens kvalitet for bestemmelse av sikring	54
3.7.3	Sprøyting i svakhetssoner.....	56
3.8	Dokumentasjon og rapportering	57
3.8.1	Dokumentasjon av sprøytebetongtykkelse	57
3.8.2	Utført sikring, sluttdokumentasjon.....	59
3.9	Referanser til kapittel 3.....	60
4	VEILEDNING TIL SPESIFIKASJON AV SPRØYTEBETONG	61
4.1	Generelt	61
4.1.1	Ansvar	61
4.1.2	Spesifikasjon	61
4.2	Delmaterialer	61
4.2.1	Sement.....	61
4.2.2	Tilsetningsmaterialer av type II	61
4.2.3	Tilslag	62
4.2.4	Tilsetningsstoffer	63
4.2.4.1	Superplastiserende tilsetningsstoff (SP-stoff)	64
4.2.4.2	Luftinnførende tilsetningsstoff (L-stoff)	64
4.2.4.3	Sprøytebetongretarder	64
4.2.4.4	Heftforbedrende tilsetningsstoff (interncur)	65
4.2.4.5	Pumpeforbedrende tilsetningsstoff	65
4.2.4.6	Akselerator.....	65
4.2.5	Fiber	66
4.2.5.1	Stålfiber.....	67
4.2.5.2	Polymer makrofiber	67

4.3	Materialeegenskaper.....	67
4.3.1	Bestandighetsklasser, materialsammensetning.....	67
4.3.2	Fasthet	68
4.3.3	Tidligfasthet.....	70
4.3.4	Heftfasthet.....	70
4.3.5	Bøyestrekfasthet	70
4.3.6	Bestandighet	71
4.3.7	Energiabsorpsjon	72
4.3.7.1	Intern spredning i prøveserier.....	72
4.3.7.2	Interpolasjonsmetoden	72
4.3.7.3	Energiabsorpsjon og overfasthet.....	74
4.3.7.4	Energiabsorpsjonsklassen E500	74
4.4	Produksjon av basisbetong.....	75
4.4.1	Blandeanlegg	75
4.4.2	Blanding	75
4.4.3	Transport.....	75
4.5	Utførelse av sprøytebetong.....	76
4.5.1	Utstyr.....	76
4.5.1.1	Generelt	76
4.5.1.2	Betongpumpe	77
4.5.1.3	Betongslange.....	78
4.5.1.4	Munnstykke.....	79
4.5.1.5	Trykkluft	79
4.5.1.6	Akseleratordosering.....	79
4.5.1.7	Utstyr til tørrsprøyting	80
4.5.2	Tykkelse	80
4.5.3	Forberedelser.....	81
4.5.3.1	Rengjøring av underlag	81
4.5.3.2	Drenering av underlaget	82
4.5.3.3	Tildekking.....	82

4.5.3.4	Sjekk av utstyr	82
4.5.4	Sprøyting	82
4.5.4.1	Armering og sprøyting mot armering	82
4.5.5	Herdetiltak	83
4.5.6	Arbeidsmiljø og sikkerhet (HMS)	83
4.5.7	Sikringsarbeider i tunneler i drift	84
4.5.8	Brannsikring av vann- og frostsikring	85
4.5.8.1	Generelt	85
4.5.8.2	Brannfare i anleggsfasen	85
4.5.8.3	Oppbyggingsprinsipper sprøytebetonghvelv	85
4.5.8.4	Detaljplanlegging av fuger	87
4.5.8.5	Sprøytebetongsammensetning	88
4.5.8.6	Utstyr og sprøyteutførelse	89
4.5.9	Feilsøking ved problemer	91
4.5.9.1	Generelt	91
4.5.9.2	Viktige faktorer	91
4.5.9.3	Produksjon av basisbetong for sprøyting	92
4.5.9.4	Kjemi og reaksjon mellom sement og akselerator	93
4.5.9.5	Sprøyteutstyr	94
4.5.9.6	Omgivelsenes innvirkning	95
4.5.9.7	Kommunikasjon	96
4.6	Kvalitetskontroll og dokumentasjon	96
4.6.1	Praktisk kvalitetskontroll	96
4.6.2	Sjekklister	97
4.7	Tiltak i tilfelle avvik	100
4.8	Grunnlag for oppgjør, måleregel	100
4.9	Referanser til kapittel 4	100

1 Spesifikasjon av sprøytebetong til bergsikring

1.1 Generelt

Denne publikasjonen omhandler sprøytebetong til bergsikring, utført etter våtmetoden.

Ved bygging av tunneler og bergrom kan sprøytebetong benyttes til ulike sikringsmetoder med ulike dimensjoner og geometri, alene eller i kombinasjon med andre sikringsmidler. Det er sprøytebetongens fleksibilitet og mulighet for tilpasning til ulike bergmassekvaliteter som gjør den så velegnet til så vel arbeidssikring som permanent sikring.

1.1.1 Henvisninger

Følgende standarder gjelder for materialer, produksjon og utførelse av sprøytebetong:

- NS-EN 13670+NA Utførelse av betongkonstruksjoner
- NS-EN 206+NA Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
- NS-EN 14487-1+NA Sprøytebetong – Del 1: Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar
- NS-EN 14487-2+NA Sprøytebetong – Del 2: Utførelse
- NS-EN 14488-1 Prøving av sprøytebetong – Del 1: Prøvetaking av fersk og herdnet betong
- NS-EN 14488-2 Prøving av sprøytebetong – Del 2: Trykkfasthet ved ung sprøytebetong
- NS-EN 14488-3 Prøving av sprøytebetong – Del 3: Bøystrekkfasthet (rissfasthet, bruddfasthet og restfasthet) av fiberarmerte prøvebjelker
- NS-EN 14488-4 Prøving av sprøytebetong – Del 4: Heftfasthet av kjerner ved direkte strekk
- NS-EN 14488-5 Prøving av sprøytebetong – Del 5: Bestemmelse av energiabsorpsjonsevnen til fiberarmerte plateprøver
- NS-EN 14488-6 Prøving av sprøytebetong – Del 6: Tykkelsesmåling av sprøytebetong
- NS-EN 14488-7 Prøving av sprøytebetong – Del 7: Fiberinnhold i fiberarmert betong
- NS-EN 14889-1 Fibere for betong – Del 1: Stålfibere – Definisjoner, krav og samsvar
- NS-EN 14889-2 Fibere for betong – Del 2: Polymerfibere – Definisjoner, krav og samsvar
- NS-EN 13263-1 Silikastøv for betong – Del 1: Definisjoner, krav og samsvarskriterier
- NS-EN 450-1 Flygeaske for betong – Del 1: Definisjon, spesifikasjoner og samsvarskriterier
- NS-EN 12620+NA Tilslag for betong
- NS-EN 1008 Blandevann for betong - Krav til prøvetaking, prøving og vurdering av vannets egnethet, medregnet gjenvunnet vann brukt i betongproduksjonsanlegg, som blandevann for betong
- NS-EN 934-2 Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse – Del 2: Tilsetningsstoffer for betong – Definisjoner, krav, samsvar, merking og etikettering
- NS-EN 934-5 Tilsetningsstoffer for betong, mørtel og injiseringsmasse – Del 5: Tilsetningsstoffer for sprøytebetong – Definisjoner, krav og samsvarskriterier
- NS-EN 1992-1-1+NA Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger
- NS-EN 12390-7 Prøving av herdnet betong – Del 7: Densitet av herdnet betong
- NS-EN 12504-1 Prøving av betong i konstruksjoner - Del 1: Kjerneprøver - Uttaking, vurdering og prøving av trykkfasthet
- serien NS-EN 1997 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering
- NS-EN 13791 Vurdering av trykkfasthet i ferdige betongkonstruksjoner og prefabrikkerte betongelementer

- NS-EN 10025-2 Varmvalsede produkter av konstruksjonsstål - Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for ulegerte konstruksjonsstål

Følgende publikasjoner er også aktuelle:

- Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 21: Bestandig betong med alkalireaktivt tilslag (normativ referanse i NS-EN 206+NA) (NB21)
- Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 26: Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon (NB26)
- Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 38 Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner (NB38)
- Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 37 Lavkarbonbetong (NB37)

Spesifikasjon av sprøytebetong i henhold til denne publikasjonen er basert på ovennevnte standarder, men med enkelte justeringer tilpasset våtsprøyting. Når produksjonsunderlaget spesifiserer sprøytebetong ved henvisning til denne publikasjonen, gjelder de angitte norske standardene med de endringer som er angitt i publikasjonen, samt de tillegg og endringer til standarder og denne publikasjonen som eventuelt måtte være angitt i produksjonsunderlaget.

Spesifikasjon av sprøytebetong etter denne publikasjonen angis som beskrevet i punkt 1.1.2.

1.1.2 Spesifikasjon av sprøytebetong

Fersk betong, med den sammensetningen den har ved levering til sprøyteutstyret, kalles basisbetong.

Sprøytebetong til bergsikring spesifiseres som «egenskapsdefinert betong» iht. NS-EN 14487-1+NA og NS-EN 206+NA. Det vil si at det spesifiseres krav til betongens egenskaper, og det er leverandørens ansvar å utarbeide betongsammensetning slik at spesifiserte krav til basisbetongen overholdes. Spesifikasjonen bygges opp suksessivt med krav gitt av byggherren (v/prosjekterende), hovedentreprenøren og sprøyteentreprenøren.

Spesifikasjonen skal minst omfatte:

- Fasthetsklasse; B30, B35 eller B45
- Bestandighetsklasse; M40, M45 eller M60
- Seighetsegenskaper; energiabsorpsjonsklasse E500, E700 eller E1000, eller uten fiber med effekt på seighet
- Utførelsesklasse
- Tykkelse, ev. annen geometri- eller mengdeangivelse

For øvrig kan det spesifiseres krav til:

- Klimagassutslipp, se punkt 4.1.2
- Fibertype; stålfiber, polymerfiber, brannsikringsfiber etc.
- Største nominelle kornstørrelse mindre enn 8 mm (f.eks. ved utjevningsslag, ved spesielle krav til glattere overflate, etc.)
- Sementtype, ev. andre krav til bindemidlet
- Bruk av scanning til ulike typer dokumentasjon, for eksempel sprøytebetongtykkelse, se punkt 1.5.3 og punkt 4.5.2

- Tidligfasthetsklasse J1, J2 eller J3, se punkt 4.3.3
- Andre parametere

Dersom ikke noe annet angis spesielt, gjelder følgende som del av spesifikasjonen:

- All sprøytebetong skal tilfredsstille spesifikasjonen slik at den kan inngå i den permanente sikringen
- Kloridklasse, jf. punkt 1.3.2
- Alkalireaktivitet, jf. punkt 1.3.3
- Største nominelle kornstørrelse 8 mm, jf. punkt 1.2.3
- Øvrige krav til utførelse og den herdnede betongen angitt i denne publikasjonen

Bestiller av basisbetong skal spesifisere krav til:

- Betongens masseforhold ved levering, margin for vann i akselerator og ev. tilsetningsstoff tilsatt på sprøytestedet
- Den ferske betongens temperatur ved levering
- Betongens konsistens ved levering

Optimale valg av delmaterialer og sammensetning for basisbetong bør behandles av bestiller og leverandør i fellesskap.

1.2 Delmaterialer

Sprøytebetong og delmaterialer skal generelt tilfredsstille NS-EN 206+NA, med tillegg som angitt i denne publikasjonen.

1.2.1 Sement

Sementer det er gitt anvendelsesregler for i NS-EN 206+NA kan også brukes til sprøytebetong, i tillegg til sementer/bindemidler som er gitt utvidede bruksbetingelser. Ved fare for sulfatangrep og/eller ved sprøyting på berg med alunskifer er det egne regler for betongens bindemiddelsammensetning, jf. sulfatmotstandsklasse SuR1 og SuR2 i NS-EN 206+NA. Se også punkt 4.2.1.

1.2.2 Tilsetningsmaterialer av type II

Tilsetningsmaterialer av type II kan brukes etter reglene i NS-EN 206+NA. Silikastøv iht. NS-EN 13263 skal brukes i all sprøytebetong, minimumsdosering er 4 vekt-% av bindemiddelmengden.

1.2.3 Tilslag

Om ikke annet er spesifisert, skal tilslaget tilfredsstille NS-EN 12620+NA og være velgradert sand med største nominelle kornstørrelse (D) 8 mm.

Ved bruk av gjenvunnet og resirkulert tilslag, se NS-EN 206+NA.

Ved bruk av alkalireaktivt tilslag, vises det til punkt 1.3.3.

1.2.4 Vann

Blandevann skal tilfredsstille NS-EN 1008. Sjøvann eller brakkevann tillates ikke benyttet som blandevann eller til herdetiltak. Resirkulert vaskevann fra betongproduksjonen kan benyttes som blandevann iht. NS-EN 1008.

1.2.5 Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer skal være i samsvar med, og brukes iht. NS-EN 206+NA, samt NS-EN 934-2 eller NS-EN 934-5.

1.2.6 Fiber

Når det er spesifisert bruk av fiberarmering for å oppnå en spesifisert energiabsorpsjonsklasse, skal sprøytebetongen inneholde:

- Stålfiber i samsvar med NS-EN 14889-1, og/eller
- Polymerfiber i samsvar med NS-EN 14889-2, klasse II Makrofiber

Når det ikke er spesifisert om det skal brukes stålfiber eller polymerfiber, kan dette velges fritt. Se også punkt 4.2.5.

Fiber skal være CE-merket av fiberprodusenten i samsvar med den relevante standarden.

1.3 Materialeegenskaper

Hvor ikke annet er angitt, gjelder alle spesifikasjoner for sprøytebetongmaterialet den ferdig utsprøytede og herdede betongen. Basisbetong forutsettes framstilt i samsvar med NS-EN 206+NA.

1.3.1 Bestandighetsklasser, masseforhold

Bestandighetsklasse for betong bestemmes normalt på basis av eksponeringsklassene angitt i NS-EN 206+NA. For sprøytebetong benyttes vanligvis bestandighetsklasse M45 og M40.

Effektivt vanninnhold i basisblandingen regnes ifølge NS-EN 206+NA som total vannmengde ekskl. absorbert vann i tilslag. Effektivt vanninnhold i basisbetongen må ikke være høyere enn at det er margin for vannandelen i akseleratoren som tilsettes ved sprøyteutførelsen, i tillegg til vannandel i ev. andre tilsetningsstoffer som tilsettes før sprøyting. Basisblandingen må følgelig ha lavere masseforhold enn den spesifiserte grenseverdien for masseforhold, og marginen for vannholdige tilsetninger benyttet på sprøytestedet må avklares mellom sprøyteentreprenør og betongprodusent.

1.3.2 Kloridklasse

Sprøytebetong som inneholder stålfiber, eller brukes til innsprøyting av armeringsstål eller andre ståldetaljer skal tilfredsstille kloridklasse Cl 0,10 i NS-EN 206+NA. Sprøytebetong som er uarmert eller som er armert med fiber av ikke-korrosivt materiale skal tilfredsstille kloridklasse Cl 0,20.

1.3.3 Alkalireaktivitet

Sprøytebetongens sammensetning (inkludert akselerator) skal være ikke-reaktiv etter reglene i NB21.

1.3.4 Luftinnhold

For sprøytebetong stilles det ikke spesifiserte krav til luftinnhold for å sikre frostbestandighet. Bestandighetsklassene MF45 og MF40 er derfor uaktuelle. Frostbestandighet av sprøytebetong er omtalt i punkt 4.3.6. Ved volumberegning, jf. punkt 1.8.1, antas det 4 % luftinnhold i basisbetong.

1.3.5 Fasthetsklasser

Fasthetsklasser defineres som i NS-EN 1992-1-1+NA og NS-EN 206+NA. Vurdering av om spesifisert fasthetsklasse for sprøytebetong er oppnådd skal skje på grunnlag av karakteristisk fasthet for støpte terninger av basisbetong (betongprodusentens samsvarskontroll), og kjerneprøver boret ut av

sprøytet og herdnet betong (entreprenørens identitetskontroll). Krav til prøvefasthet er gitt i Tabell 1-1.

For utstøpte terninger av basisbetong er kontrollalder for trykkfasthet 28 døgn, hvis ikke annet er spesifisert. Dersom annet ikke er spesifisert skal kjerneprøver ved prøving ha en alder på minimum 28 døgn, maksimum 56 døgn. Prøvingen bør tilstrebes utført ved 28 døgn alder, eller så snart som praktisk mulig etter 28 døgn alder. Kravet til trykkfasthet for utborede kjerneprøver omregnet til sylindere $H/D=2,0$ er 85 % av krevd karakteristisk fasthet, se punkt 4.3.2.

Tabell 1-1: Krav til prøvefasthet

Fasthetsklasse	B30	B35	B45
Min. karakteristisk TERNINGfasthet (MPa), utstøpte prøver av basisbetong	37	45	55
Utborede SYLINDRE, $H/D=2,0$, min. trykkfasthet (MPa) Prøvestykker utboret fra bergsikringen eller fra sprøytete paneler. Min. 3 prøvestykker pr. prøve.	25,5	29,8	38,3

1.3.6 Energiabsorpsjon, effekt av fiberarmering

Effekten av fiberarmering måles som energiabsorpsjon i plateprøver. Prøvningsmetoden er gitt i punkt 2.5. For en gitt fibertype kan det benyttes interpolering (ikke ekstrapolering) mellom resultater for ulike fiberdoseringer, se punkt 4.3.7.2. Dette gjelder både for forhåndsdokumentasjon og ved dokumentasjon i prosjekt. All prøving av energiabsorpsjon skal være utført og rapportert av sertifisert laboratorium. Se også punkt 3.4.

1.3.6.1 Valg av fibertype og fiberdosering ved oppstart

Valg av fibertype og fiberdosering før oppstart skal gjøres enten på grunnlag av tidligere oppnådde prøvingsresultater eller ved forprøving i prosjektet.

Tidligere oppnådde prøvingsresultater kan være fra tidligere utførte arbeider med tilsvarende sprøytebetonganvendelse og/eller fra fiberleverandørens dokumentasjon. Det skal sannsynliggjøres at valgt fibertype og -dosering vil føre til at kravene til energiabsorpsjon tilfredsstilles, dette gjøres ved at:

- prøvingsresultatene er oppnådd med den samme fasthets- og bestandighetsklasse som er spesifisert for arbeidene, f.eks. B35 M45 eller B35 M40
- prøvingsresultatene ikke er eldre enn 3 år, og der siste prøving bør være utført i løpet av de foregående 12 måneder.
- fiberdoseringen velges slik at spesifisert energiabsorpsjon i prosjektet oppnås. anbefalte marginer ved fastsettelse av fiber oppstarts-dosering i forhold til spesifisert energiabsorpsjon er gitt i punkt 4.3.7.2.

Ved valg av fibertype og -dosering basert på forprøving i prosjekt forutsettes det at prøving utføres på aktuell sprøytebetong, samt at det benyttes utstyr og personell tilsvarende det som skal benyttes i prosjektet (jf. NS-EN 14487-1). Resultatene/fiberdoseringen tilpasses energiabsorpsjonskravet, se Tabell 1-2.

1.3.6.2 Løpende kontroll av energiabsorpsjon i prosjektet

Under gjennomføringen av sprøytebetongarbeidene skal energiabsorpsjon dokumenteres i henhold til Tabell 1-5 i kap. 1.6.2.3, med betongsammensetning, utstyr, personell og utførelse som benyttes i

det aktuelle prosjektet. Plateprøvene skal produseres der sprøytebetong utføres, under utførelsen av ordinær produksjonssprøyting.

Oppfyllelse av spesifisert krav under gjennomføring av arbeidene konstateres dersom den enkelte prøveserie oppfyller krav gitt i Tabell 1-2.

Tabell 1-2: Krav til minimum energiabsorpsjon ved løpende kontroll

Energiabsorpsjonsklasse	Minimum energiabsorpsjon*)
E500	500 Joule
E700	700 Joule
E1000	1000 Joule

*) Ett prøvningsresultat er gjennomsnittet fra minimum tre plateprøver

For løpende kontroll gjelder at det ved avvik på inntil minus 10 % i forhold til krevd energiabsorpsjon kan fiberdoseringen justeres uten at det utløser krav om ny kontroll. For avvik større enn minus 10 % skal korrigerende tiltak verifiseres med ny kontroll, jf. punktene 1.7 og 4.7.

1.3.7 Tidligfasthet

Tidligfasthet, spesielt de første timene etter sprøyting, er sentral av HMS-hensyn. Det kan likevel ikke fastsettes et generelt tall for når det er sikkert å ferdes under nysprøytet betong. Prøvningsmetoder er gitt i punkt 2.2.3, og veiledning gis i punkt 4.3.3.

1.3.8 Heftkontroll

Sprøytebetong skal utføres slik at den får best mulig heft til underlaget. Sprøytebetongens heft til underlaget skal kontrolleres ved bomkontroll, ved stikkprøvemessig banking med spett eller hammer på sprøytebetongoverflaten, minimum ett slag pr. 20 m². Ulike forhold kan gjøre det nødvendig med økt kontroll, og bomkontroll skal derfor utføres i samråd med byggherre/ingeniørgeolog. Hvor bomlyd høres, skal det bankes med tettere mellomrom for å kartlegge bomområdet utstrekning, og områdene avmerkes. Ved kontrollen bør sprøytebetongen ha en alder på 7-28 døgner. Kontrollen bør gjøres en gang pr. måned på all aktuell sprøytebetong utført siden forrige kontroll. I tillegg bør bom kontrolleres i forbindelse med anvisning av permanent sikring.

Kontrollen dokumenteres med skriftlig, signert og datert rapport, med eventuelt forslag til forsterkning der det er bom, eller riss og sprekker er under utvikling.

Kontroll av heftfasthet ved avtrekksprøving iht. NS-EN 14488-4 er ikke forutsatt utført.

Se også punkt 1.5.4 og Tabell 3-1.

1.3.9 Øvrige materialegenskaper

1.3.9.1 Bøyestrekkefasthet

Bøyestrekkefasthet spesifiseres eventuelt i tilknytning til spesifikasjon av rissfasthet iht. NS-EN 14487-1, eventuelt restbøyestrekkefasthet iht. NB38.

1.3.9.2 Densitet

I forbindelse med trykkfasthetsprøving skal også densitet dokumenteres iht. NS-EN 12390-7. Avvik i densitet kan være en indikasjon på feil ved materialsammensetning eller komprimering.

1.4 Produksjon av basisbetong

Betongproporsjonering, produksjon og kontroll av basisbetong skal være i samsvar med NS-EN 206+NA og tilleggskrav i denne publikasjonen. Resepten for basisbetongen skal ta hensyn til vanninnholdet i tilsetningen av akselerator og ev. tilsetningsstoffer på sprøytstedet, jf. punkt 1.3.1. Resepten for basisbetongen skal kontrolleres mht. volum, jf. punkt 1.8.1.

Kravene til betongprodusentens samsvarskontroll og entreprenørens identitetskontroll er gitt i henholdsvis Tabell 1-4 og Tabell 1-5.

1.4.1 Fibertilsetningsmetode og fiberkontroll

For fiber, der fiberen tilsettes i blandemaskinen og fibermengden registreres fra blandeverkets dokumentasjonssystem, er største tillatte avvik fra tilsiktet verdi iht. NS-EN 206+NA satt til -5 % for stålfiber og -10 % for polymerfiber. Der fibre tilsettes manuelt i blandemaskin skal det føres manuell produksjonskontroll. Fiberdoseringen påføres følgeseddelen og signeres av den som har tilsatt fiberen. Prosedyre for tilsetning av fibre skal utarbeides.

Der fiberen tilsettes på betongbilen skal fiberinnhold og -fordeling kontrolleres ved prøveuttak av fersk basisbetong, jf. NS-EN 206+NA. Metode for bestemmelse av fiberinnhold og -fordeling i fersk basisbetong er gitt i punkt 2.4. Toleransene for tilfredsstillende fiberinnhold og fiberfordeling ved betongproduksjon er:

- Tilfredsstillende fiberinnhold konstateres dersom gjennomsnittlig fiberinnhold i betonglasset (gjennomsnitt av 3 prøveuttak fra samme lass) ikke er lavere enn -15 % av forutsatt tilsatt fibermengde i kg/m^3 .
- Tilfredsstillende fiberfordeling konstateres dersom ingen prøveuttak viser fiberinnhold lavere enn -20 % av forutsatt tilsatt fibermengde i kg/m^3 .

Dersom en fiberkontroll viser avvik, må enten prosedyrene for fibertilsetning på bilen og fiberinnblandingen forbedres og/eller fiberdoseringen justeres. Ny kontroll av fiberfordeling gjøres umiddelbart etter at korrigeringen er iverksatt.

Uavhengig av hvilken fiberinnblandingsmetode som benyttes skal kontroll av fiberinnhold og -fordeling gjennomføres på de betonglass som benyttes til sprøyting av prøveplater for bestemmelse av energiabsorpsjon.

Hvis målt fiberinnhold/fiberfordeling i basisbetongen er utenfor toleransene angitt nedenfor må platene forkastes, og nye plater må sprøytes sammen med ny måling av fiberinnhold og -fordeling. Toleransene for tilfredsstillende fiberinnhold og fiberfordeling ved sprøyting av prøveplater er:

- Gjennomsnittlig fiberinnhold i betonglasset (gjennomsnitt av 3 prøveuttak fra samme lass) skal være innenfor $\pm 15\%$ av forutsatt tilsatt fibermengde i kg/m^3 .
- Fiberinnholdet i hvert prøveuttak skal være innenfor $\pm 20\%$ av forutsatt tilsatt fibermengde i kg/m^3 .

1.4.2 Temperatur for basisbetong og akselerator

Med mindre sprøyteentreprenøren aksepterer lavere temperatur, skal 20 °C regnes som laveste akseptable temperatur for basisbetongen ved levering. Basisbetongens temperatur skal ikke overstige 35 °C, med mindre det dokumenteres at dette er tilrådelig i den aktuelle situasjonen.

Temperatur for akseleratoren skal tilpasses akseleratortype, utførelsesforhold og krav til tidligfasthet. Temperatur for akselerator skal følge anbefalinger fra leverandør.

Temperatur måles med kalibrert måleutstyr, målenøyaktighet $\pm 2,0$ °C.

1.4.3 Konsistens

Konsistens angis som tilsiktet synkmål med toleranser. Ifølge NS-EN 206+NA gjelder toleransene ± 20 mm for synkmål ≥ 100 mm. Denne toleransen gjelder også for basisbetong tilsatt fiber (se punkt 4.4.2).

1.5 Utførelse av sprøytebetong

Utførelse av sprøytebetong skal være i samsvar med NS-EN 13670+NA og NS-EN 14487-2+NA, samt tilleggskravene i denne publikasjonen.

Sprøytebetongarbeider skal ledes av en sprøytebetongleder, som har det overordnede ansvaret. I det daglige ledes arbeidene av en formann, og utføres av en operatør som har status som bas. Så vel sprøytebetongleder, formann og bas skal ha dokumentert kompetanse som krevd i nasjonalt tillegg (NA) til NS-EN 14487-2.

I tillegg til de tekniske kravene for sikring ved bruk av sprøytebetong, gjelder også arbeidsmiljøloven. Denne ligger i bunn for alt HMS-arbeid. Andre viktige regelverk som også innvirker på rammebetingelsene er blant annet internkontrollforskriften, byggherreforskriften og ulike maskinforskrifter.

1.5.1 Bestilling av sprøyteutførelse, forberedende arbeider

Nødvendige forarbeider, geologisk kartlegging og ev. tilleggsarbeider av hensyn til den totale sikringens funksjon og kvalitet utføres før bergoverflaten dekkes med sprøytebetong.

For produksjonsplanlegging beregnes volum av fersk sprøytebetong ut fra areal, forutsatt gjennomsnittstykkelse, en anslått ujevnhetsfaktor og faktor for prelltap. Med hensyn til faktor for prelltap, se også punkt 1.8.2. Volum angis i bestillingen, jf. punkt 1.1.2.

Sprøyteoperatøren skal gis nødvendig informasjon om forarbeidene og beskrivelse for riktig utførelse av sprøytebetongarbeidet. Arealer hvor sprøytebetong skal påføres, beskrives med profilnummer og angivelse av hvor i profilet.

1.5.1.1 Rensk

Sprengt bergoverflate skal renses for å fjerne løst materiale. Om ikke annet er beskrevet av byggherren, skal det alltid utføres manuell rensk til slutt selv om det er utført maskinrensk. Unntak er dersom det er fare for liv og helse. Omfang av rensk må tilpasses bergmassens stabilitet.

1.5.1.2 Geologisk kartlegging

I produksjonsunderlaget for prosjektet skal det være angitt hvem som har ansvaret for geologisk kartlegging og bergmasseklassifikasjon, inkludert dokumentasjon. Kartleggingen skal gjøres fra arbeidsplattform med bergoverflaten på nært hold. Bergmassens beskaffenhet skal kartlegges og dokumenteres før sprøytebetong påføres. Unntak gjelder dersom bergmassens stabilitet er så dårlig at det ikke er tilrådelig å oppholde seg under utsprengt bergmasse før det sprøytes.

Den geologiske kartleggingen og bergmasseklassifiseringen benyttes til beslutning om hvilke sikringsmidler/-metoder som skal benyttes, og i hvilken rekkefølge, samt til dokumentasjon.

1.5.1.3 Vannlekkasjer fra berget

Vannlekkasjer kan ha betydning for kvaliteten på sprøytebetongen, eller kan gi risiko for nedfall av sprøytebetong. Håndtering av vannlekkasjer avklares med byggherren, alternativer kan være drenering, sprøyte rundt lekkasjen, etterinjisering m.m. Se også punkt 3.6 og 4.5.3.2.

1.5.1.4 Rengjøring av underlaget

Bergoverflaten skal rengjøres grundig for å oppnå god heft. Særlig viktig er det å fjerne eventuelt leirbelegg på sprekkeflater.

Vanlig rengjøringsmetode for nysprengt berg er kraftig spyling med vann og trykkluft med sprøyteroboten, ev. høytrykkspyler. Rengjøring utføres ovenfra og nedover. Prellemasse og nedfall som har samlet seg på hyller og utspring, fjernes omhyggelig før ny sprøyting påbegynnes. Før sprøyting starter, skal fritt vann etter spyling ha rent av slik at underlaget er fuktig, men uten fritt vann. Eventuelt kan fritt vann blåses av med trykkluft.

Hvor bergmassens stabilitet er svært dårlig eller kan forverres ved oppfukting, bør vann utelates som rengjøringsmiddel etter avtale i forbindelse med den geologiske kartleggingen. Det vil si at kun trykkluft benyttes ved rengjøringen. Dette gjelder for eksempel ved slepper fylt av svelleleire eller ved alunskifer.

1.5.1.5 Tildekking

Tilstøtende konstruksjoner og installasjoner etc. i nærheten av hvor sprøytebetong benyttes skal i nødvendig grad tildekkes slik at de ikke påføres eller forurenses av sprut, prellemasse eller støv.

1.5.1.6 Temperatur/værforhold

For å sikre varig heft til underlaget skal:

- Det ikke sprøytes på flater med lavere temperatur enn +2 °C.
- Dersom lufttemperaturen på sprøytestedet er under +5 °C, skal temperaturen til flaten det skal sprøytes mot måles og dokumenteres.
- Flater som utsettes for vind eller slagregn som kan forringe kvaliteten skal beskyttes.

Der det er permafrost eller ved frysestabiliserte soner må egne prosedyrer utarbeides.

1.5.2 Sprøyteutførelse

Før sprøyting startes skal fritt vann ha rent av overflaten. Sprøyting av vertikale eller skrå flater skal starte nedenfra og fortsette oppover.

Dosering av akselerator i sprøytemunnstykket skal ikke overskride den mengden som er forutsatt i betongsammensetningen for oppfyllelse av spesifisert masseforhold, jf. punkt 2.1.1.

Masseforhold for sprøytet betong dokumenteres ved sammenhørende verdier av:

- dokumentert masseforhold for basisbetong
- målt og rapportert akseleratorforbruk, pluss ev. tilsetningsstoffer tilsatt på sprøytestedet, gjennomsnitt over sprøyteskiftet

- Masseforholdet regnes som gjennomsnittet over en sammenhengende kjede på 10 sprøyteskift, og skal ikke overstige grenseverdien:
 - med mer enn 5 % regnet som gjennomsnitt for 3 sprøyteskift i kjede
 - med mer enn 10 % for enkeltsprøyteskift

Dersom grenseverdien overskrides, skal det umiddelbart foretas korrigerende tiltak, og masseforholdet kontrolleres på nytt tre ganger på de neste 50 m³ (tilsvarende innledende prøving iht. NS-EN 206+NA).

Dersom avvik i masseforholdet mistenkes av andre grunner, f.eks. gjenværende vaskevann i betongtromler, skal forholdet straks undersøkes. Ved gjentatte hendelser kan betongleverandøren bli pålagt å dokumentere vanninnhold og masseforhold spesielt.

1.5.3 Tykkelse

Der sprøytebetongen inngår som en del av den permanente sikringen (dette er det normale tilfellet) kan byggherren bestille et volum til fordeling i groper pluss en angitt minimumstykkelse, eller kun en gjennomsnittstykkelse. Dersom byggherren kun spesifiserer en gjennomsnittstykkelse av den permanente sikringen gjelder:

- gjennomsnittlig påsprøytet tykkelse skal være minst lik bestilt tykkelse, og
- målt minimumstykkelse skal være minst 50 % av bestilt tykkelse
- Det skal ved kontroll utføres 10 målinger over profilet for hver 1000 m² ferdig utført sprøytebetong

For produksjonsplanlegging bestemmes betongvolumet ut fra areal, forutsatt gjennomsnittstykkelse, bergoverflatens ujevnhetsfaktor, og en faktor for prelletapet. Se punkt 4.5.2 og eksempel på bestillingsskjema i punkt 4.6.1. Hvilken ujevnhetsfaktor som skal benyttes ved beregning av nødvendig volum, evalueres kontinuerlig ut fra tykkelseskontrollen. Mht. faktor for prelletap, se punkt 1.8.2.

Dersom bestilt sprøytet volum er for lite til å oppnå den bestilte tykkelsen, skal det sprøytes til den bestilte tykkelsen der det er viktigst (som regel i heng/vederlag). For lite volum skal rapporteres i sprøyteoperatørens rapportskjema (se eksempel i punkt 4.6.1), tykkelsesfordelingen måles, og nødvendig tilleggsvolum sprøytes seinere.

Metoder for kontroll av tykkelse er beskrevet i punkt 2.3.1. Tykkelse regnes fra bunn av groper i overflaten til kontaktflaten mot underlaget.

Skanning er en teknologi som har utviklet seg mye de siste årene, og slike data kan blant annet benyttes til å måle tykkelse, se punkt 4.5.2.

1.5.4 Herdetiltak

Sprøytebetong skal beskyttes mot frost inntil en fasthet på minimum 5 MPa er oppnådd. Store temperatursvingninger i perioden hvor heftfastheten til underlaget utvikles bør unngås.

Etterbehandling skal gjennomføres for å minimere svinn i tidlig fase, sikre god herding og heft mot underlaget. Etterbehandling skal utføres ved å gjennomføre minst ett av følgende to tiltak:

- Blandeverket har tilsatt basisbetongen heftforbedrende tilsetningsstoff (tidligere kalt internherdner/interncur), iht. NS-EN 934-5. Det heftforbedrende tilsetningsstoffet doseres etter leverandørens anvisninger.
- Den nysprøytede betongen beskyttes mot uttørking minimum de første 4 døgner etter sprøyting.

1.5.5 Sprøyterapport

For hvert sprøyteavsnitt/sprøyteskift skal det fylles ut sprøyterapport som skal arkiveres sammen med bestillingsskjema, se eksempel i punkt 4.6.1. Sprøyterapporten skal minimum inneholde:

- Dato og klokkeslett for utførelse
- Endringsnummer, eventuelt kvalitet, bestandighetsklasse og fasthetsklasse
- Rengjøring av underlaget
- Energiabsorpsjonsklasse, eventuelt uten fiber
- Tilsiktet tykkelse
- Volum
- Temperatur på betongen
- Synkmål på betongen, målt eller anslått
- Eventuell justering av betongen i tunnel, for eksempel ekstra SP for å få rett konsistens
- Entydig spesifisering på hvor betongen er sprøytet
- Akseleratorforbruk
- Eventuelle problemer med betongen eller utførelse (f.eks. manglende fasthetsutvikling/nedfall av betong, eventuelle vannlekkasjer som skaper problemer, leire på bergoveroverflaten, funksjonsproblemer på sprøyterigg, osv.)

Ved evaluering av kvalitetsspørsmål skal alle parter kunne få utlevert sprøyterapporter på forespørsel.

1.5.6 Etterfølgende arbeider

Ved etterfølgende arbeider skal det tas hensyn til sprøytebetongens fasthetsutvikling. Bl.a. skal boring for bolter og tiltrekking av bolter vente inntil sprøytebetongen har oppnådd tilstrekkelig fasthet og ikke skades.

1.6 Kvalitetskontroll og dokumentasjon

NS-EN 13670+NA krever, for Utførelsesklasse 2 og 3, at det for hvert prosjekt:

- utarbeides en kontrollplan for arbeidene
- kontrollen utføres systematisk av den aktøren som står for utførelsen
- kontrollen utføres under ledelse av en kontrollleder for prosjektet
- kontrollen dokumenteres
- sprøytebetongleder, kontrollleder, formann og bas har dokumentert kompetanse iht. til NS-EN 14487-2+NA (sprøyteoperatør defineres som bas)

Dersom det i produksjonsunderlaget er krevd kvalitetsplan for arbeidene, inngår punktene ovenfor i kvalitetsplanen. Sprøytebetongleder skal være til stede i nødvendig grad og tilgjengelig på kort varsel.

Produsent av betong skal være sertifisert for betongproduksjon iht. NS-EN 206+NA. Sertifiseringen er basert på tilsvarende krav som i NS-EN 13670+NA. Basisbetongen skal leveres til sprøyteentreprenøren med følgeseddel som angir relevante data. Basisbetong for betongsprøyting skal ikke inngå i betongfamilie (jf. NS-EN 206+NA) sammen med betonger med nominell kornstørrelse D større enn 8 mm.

I Tabell 1-3, Tabell 1-4 og Tabell 1-5 er kontrollansvar angitt for de enkelte aktørene på utførende-/leverandørsiden, slik anleggsprosjekter normalt organiseres. Annen fordeling av kontrollansvar kan avtales, men det generelle prinsippet er at hovedentreprenøren har ansvaret for all kontroll og dokumentasjon som er krevd i kontrakten.

Byggherren skal varsles for å kunne være til stede ved forprøving og prøvesprøyting, ved sprøyting av plateprøver for energiabsorpsjon samt ved gjennomføring av kontroll av fiberinnhold og -fordeling.

1.6.1 Utførelsesklasse

Sprøytebetong skal utføres i en av Utførelsesklassene 1, 2 eller 3. Utførelsesklasse skal være angitt i produksjonsunderlaget.

For underjordsarbeider spesifiseres normalt Utførelsesklasse 2. Utførelsesklasse 3 benyttes vanligvis bare der drifts- og sikringsforholdene er spesielt vanskelige. På forespørsel opplyses minimum følgende for byggherren:

- opplysninger fra betongprodusenten som angitt i NS-EN 206+NA
- tilsiktet fiberdosering inkl. dokumentasjon av grunnlaget for den valgte doseringen, jf. punkt 1.3.6
- prosedyre for fibertilsetning og fiberinnblanding, inkl. dokumentasjon av prosedyrenes tilstrekkelighet, jf. punkt 1.4.1
- forutsatt akselerator type og -dosering, med påvisning av at ferdig sprøytebetong vil oppfylle kravet til masseforhold med det vanninnholdet som er i basisbetongen og akseleratoren

Byggherren skal holdes orientert om alle vesentlige endringer av basisbetongens sammensetning, deriblant ev. skifte av noe delmateriale. Ved vesentlige endringer skal det gjennomføres ny innledende prøving av betongresepten iht. NS-EN 206+NA. Justering av tilsetningsstoffdoseringer for å holde betongegenskapene konstante anses ikke som vesentlige endringer.

1.6.1.1 Utførelsesklasse 1

Det kreves kun "basiskontroll", dvs. kontroll av utførelsen utført av sprøyteoperatøren, jf. NS-EN 13670+NA. Kvaliteten anses sikret ved sprøyteentreprenørens organisasjon og sprøyteoperatørens kompetanse og ferdigheter.

1.6.1.2 Utførelsesklasse 2

Det kreves både "basiskontroll" som i Utførelsesklasse 1 og "intern systematisk kontroll" i samsvar med en kontrollplan for prosjektet, under ledelse av kontrollleder for prosjektet hos utførende entreprenør. Den interne systematiske kontrollen skal dokumenteres. I tillegg skal det utføres

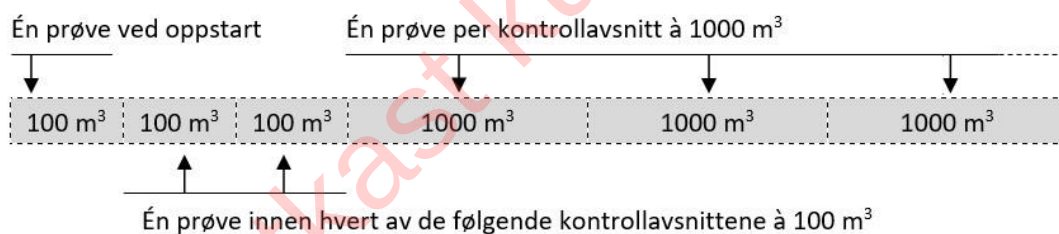
kontroll i byggherrens regi som, ifølge NS-EN 13670+NA, minst skal "bekrefte at den utførendes interne systematiske kontroll blir utført og dokumentert".

1.6.1.3 Utførelsesklasse 3

I tillegg til «Basiskontroll» og «Intern systematisk kontroll» utført av entreprenøren i Utførelsesklasse 2, skal det utføres kontroll i byggherrens regi. I likhet med entreprenørens «Interne systematiske kontroll» skal kontrollen i byggherrens regi gjennomføres i henhold til en kontrollplan, og den skal dokumenteres. Ifølge NS-EN 13670+NA skal kontroll i byggherrens regi, foruten å bekrefte at den utførendes interne systematiske kontroll blir utført og dokumentert, også omfatte kontroll for «særlig viktige konstruksjonsdeler» samt generell stikkprøvekontroll.

1.6.2 Kontrollomfang

I Tabell 1-4 og Tabell 1-5 er kontrollfrekvens angitt som f.eks. A: 1/100 m³ for 300 m³, B: 1/1000m³. Dette forklares på følgende måte: De første 500 produserte m³ deles inn i kontrollavsnitt à 100 m³, etterfølgende produsert volum inndeles i kontrollavsnitt à 1000 m³. Det skal tas en prøve tilfeldig fordelt innen alle kontrollavsnittene, og hver enkelt prøve representerer sitt kontrollavsnitt. Kontrollhyppigheten skal starte på trinn A, dvs. én prøve ved oppstart og deretter en prøve innen hvert av de etterfølgende kontrollavsnittene à 100 m³, inntil det er oppnådd en sammenhengende kjede på 5 tilfredsstillende prøver. Når det er oppnådd en slik sammenhengende kjede av tilfredsstillende prøver, kan kontrollhyppigheten reduseres til trinn B, dvs. én prøve pr. kontrollavsnitt på 1000 m³, se Figur 1. Prøvingen fortsetter med denne hyppigheten så lenge prøvene viser tilfredsstillende resultater, og det ikke skjer hendelser eller endringer av materialer eller produksjonsforhold som tilsier hyppigere kontroll. Om en prøve viser avvik eller det oppstår hendelser/endringer, skal kontrollhyppigheten gå tilbake til starten av trinn A.



Figur 1-1: Illustrasjon av kontrollfrekvens A: 1/100m³ for 300m³, B: 1/1000m³

1.6.2.1 Produksjonskontroll

Minimum produksjonskontroll vises i Tabell 1-3.

Tabell 1-3 Minimum produksjonskontroll, gjelder alle utførelsesklasser

Kontrolltype	Ansvar	Omfatter
Produksjonskontroll, basisbetong	Betong- produsent	Produksjonskontroll i henhold til NS-EN 206+NA, spesielt: • fukt i tilslag • konsistens • fersk betongtemperatur I tillegg: • Fiberinnhold og -fordeling iht. Tabell 1-5
Forberedelser	Hoved- entreprenør	Rensk av sprengt overflate Geologisk kartlegging foretatt Ev. tiltak ved lekkasjer Ev. bolting eller andre metoder først Nødvendig tildekking av tilstøtende konstruksjoner/installasjoner Underlagets temperatur
Materialkontroll før sprøyting	Sprøyte- entreprenør	Sjekk av sprøyterigg Rengjøring av underlaget Kontroll av tildekking av konstruksjoner/installasjoner
Sprøyteutførelse kontroll		Mottakskontroll av betong • betong følgeseddel • visuelt utseende, fibertype, ev. fiberballer • konsistens • temperatur Akseleratortemperatur
Heftkontroll		Akseleratorforbruk Fordeling av bestilt volum (tykkelse) Tidligfasthet, jf. punkt 2.2.3 og 4.3.3 Ev. nødvendig beskyttelse mot frostskaer
Tykkelse	Hoved- entreprenør	Se punktene 1.5.3 og 4.5.2

1.6.2.2 Betongleverandørens samsvarskontroll

Samsvarskontroll av basisbetong utføres i henhold til NS-EN 206+NA, som angitt i Tabell 1-4.

Tabell 1-4: Betongleverandørens samsvarskontroll av basisbetongen (NS-EN 206+NA)

Kontrolltype	Omfang
Konsistens Densitet Trykkfasthet	Samsvarskontroll iht. NS-EN 206+NA.
Fiberinnhold og -fordeling	
1 - Tilsetning i blander på blandeverk, automatisk dosering av fiber	Signert utskrift fra blandeverk hvor fibermengde og fibertype fremgår minst en gang per produksjonsdøgn.
2 - Tilsetning i blander på blandeverk, manuell dosering av fiber	Tilsatt av riktig mengde fiber dokumenteres, f.eks. ved signatur av følgeseddel. Det kan være elektronisk signatur eller på papir.
3 - Tilsetning på bil (manuelt eller automatisk)	Følgeseddelen, der det fremgår at riktig fibermengde og -type er tilsatt, signeres av den som har tilsatt fiberen. Fiberinnhold og fiberfordeling i fersk basisbetong påvises med en frekvens som angitt i NS-EN 206+NA. Se metode i punkt 2.4.

1.6.2.3 Entreprenørens identitetskontroll

Entreprenørens identitetskontroll er gitt i Tabell 1-5. Se punkt 1.6.2 for forklaring av kontrollfrekvens.

Tabell 1-5: Minimumsomfang av entreprenørens identitetskontroll av sprøytebetong

Kontrolltype	Utførelsesklasse		
	1	2	3
Akseleratorforbruk (for kontroll av masseforhold)	Kontroll av sprøyterapport hvert sprøyteskift, sammenholdt med marginen satt av til akselerator i basisbetongen.		
Trykkfasthet og densitet (utborede kjerner)	-	A: 1/100 m ³ for 300 m ³ B: 1/1000 m ³	A: 1/50 m ³ for 300 m ³ B: 1/250 m ³
Energiabsorpsjon	-	A: 1/1000 m ³ for 1000 m ³ B: 1/5000 m ³ , min. 1 g./år	A: 1/1000 m ³ for 2000 m ³ B: 1/2500 m ³ , min. 1 g./6 mnd.
Fiberinnhold og fiberfordeling*	-	Kontrolleres på alle betonglass som benyttes til å sprøyte plater for bestemmelse av energiabsorpsjon, se raden over.	

* Entreprenør er ansvarlig for kontroll av fiberinnhold og -fordeling. Betongprodusent er imidlertid ofte bedre utrustet til å utføre denne kontrollen, og vil på oppdrag fra entreprenør ofte stå for den praktiske utførelsen.

1.7 Tiltak i tilfelle avvik

Behandling av avvik gjøres i henhold til reglene i NS-EN 13670+NA. Se også punkt 4.7.

1.8 Grunnlag for oppgjør, måleregel

1.8.1 Volum

Måleregel for sprøytebetong er f.eks. angitt i NS 3420 og Statens Vegvesens retningslinje R761, og hvis ikke annet er spesifisert skjer avregning etter utført sprøytet volum uten fratrekk for prelletap inntil 10 %, måleenhet m³.

For å ha et felles grunnlag for avregningen av både basisbetongen og den ferdig sprøytede betongen, settes følgende regel: Basisbetongvolum og ferdig sprøytet volum regnes lik 1 m³ dersom summen av faststoffvolumene (vekt av faste materialer og væsker dividert med materialets faste densitet) for alle delmaterialer tilsatt i betongblanderen, dvs. før sprøyting og tilsetning av akselerator, utgjør minst 960 liter. Det regnes ikke med volumøkning på grunn av akseleratortilsetning eller luftporer i sprøytebetongen.

1.8.2 Prelletap

Det regnes ikke fratrekk i volum for prelletap inntil 10 %. Prelletap måles kun ved mistanke om høyere prelletap. For måling av prelletap, se punkt 2.3.2.

2 Prøvingsmetoder

2.1 Betongresept

2.1.1 Masseforhold

Masseforhold for basisbetong beregnes for enkeltblandinger ved sammenhørende verdier av:

- målt fuktinnhold i tilslag
- tilsatte vannmengder ifølge blandedanleggets styringssystem
- oppmålte mengder sement og silikastøv (pluss ev. andre tilsetningsmaterialer av type II) ifølge blandedanleggets styringssystem

Dersom blandedanleggets styringssystem lagrer data for de enkelte blandingenenes sammensetning, kan det gi oversikt over masseforholdet for betong produsert over en kortere eller lengre periode.

2.2 Fasthet

2.2.1 Trykkfasthet av basisbetong, støpte prøver

Betongprodusentens samsvarskontroll av basisbetongen utføres og vurderes i samsvar med NS-EN 206+NA, se Tabell 2-1. Hver prøve skal bestå av minst 2 prøvelegemer, og normal kontrollalder er 28 døgn. Ved betongprodusentens innledende prøving måles også 7 døgns fasthet, minst 2 prøvelegemer pr. prøve.

Tabell 2-1: Samsvarskriterier for trykkfasthet på støpte terninger av basisbetong (ref. NS-EN 206+NA)

	Betongprodusentens samsvarskontroll
Hver enkelt prøvningsresultat	$\geq f_{ck} - 5 \text{ MPa}^*$
Gruppegjennomsnitt, 3 og 3 prøvningsresultat	$\geq f_{ck} + 5 \text{ MPa}^*$

* 5 MPa gjelder for terninger, for støpte sylindere er verdien 4 MPa

2.2.2 Trykkfasthet av sprøytebetong, utborede sylindre

Entreprenørens identitetskontroll av fasthet baseres på utboring (NS-EN 12504-1) av sylindere fra ferdig konstruksjon (bergsikringen) eller fra paneler sprøytet i forbindelse med bergsikringen. Paneler for utboring av fasthetsprøver kan ha konisk form og bør ha dimensjon min. 500 x 500 mm i bunnen, og f.eks. 600 x 600 mm i toppen. Utborede sylindre kan også tas fra prøveplater for energiabsorpsjon, etter at denne prøvingen er utført. Sylinderdiameteren skal være minimum 50 mm, fortrinnsvis 60 mm. Høyde/diameterforholdet for hver kjerne etter kapping og endepreparering skal være i området 1,0 til 2,0. Det bør tilstrebes tilnærmet samme h/d-forhold for alle kjernene innen den enkelte serie. Et prøveresultat er gjennomsnittlig fasthet fra en serie på minimum 3 sylindre. Prøveresultatet regnes som gjennomsnittsfastheten for de prøvestykkene (3 eller flere) som til sammen utgjør prøven.

2.2.3 Tidligfasthet

Kniv/spett brukes i utstrakt grad for ja/nei-avgjørelse av om betongen har begynt å herde. Varm overflate benyttes også som indikasjon på akseleratorvirkning. Tidligfasthet måles med nålepenetrasjonsmetoden (0-1 MPa) eller spikerpistolmetoden (2-16 MPa) i samsvar med NS-EN 14488-2, avhengig av hvilket fasthetsnivå som forventes. Se også punkt 4.3.3.

2.3 Kontroll og dokumentasjon av utførelse

2.3.1 Tykkelse

Tykkelse kan måles på 4 måter:

1. Måling i boltehull for bergbolter
2. Boring gjennom herdnet sprøytebetong med slagbor eller kjernebor inn til berg.
3. Plassering av «avstandspinner» (tilkappet sveisetråd el. tilsvarende) i første påslag av sprøytebetong. Kontroll av at avstandspinnene blir dekket av de neste påslagene
4. Med skanning før og etter sprøyting, se også punkt 4.5.2.

2.3.2 Prelletap

Prelletap er den massen som ikke fester seg til underlaget, men «preller av».

Måling av prelltap kan gjøres på følgende måte: Tilstrekkelig areal glatt duk (normalt 40-50 m²) legges ut på sålen. Et kontrollert volum på min 1 m³ betong (ev. en kontrollert veid mengde) sprøytes i en sammenhengende operasjon, på den måte som produksjonssprøyting utføres. Prelletap veies opp og beregnes som vektprosent av sprøytet mengde. Ev. «kakenedfall» tas ikke med ved veiing av prelltap.

2.4 Fiberinnhold og fiberfordeling

Dokumentasjon av fiberinnhold og fiberfordeling utføres på fersk basisbetong. Fiberinnhold kan enkelte ganger være aktuelt å utføre på herdnet betong, iht. NS-EN 14488-7, men for å oppnå representative resultater må i tilfelle volumet av prøven økes betydelig i forhold til det standarden angir.

2.4.1 Prøvetaking

En prøving skal bestå av 3 stk. prøveuttak fra samme bil, som analyseres separat for fiberinnhold. Første prøveuttak tas fra første tredjedel, det andre fra midtre del, og det tredje fra siste tredjedel av lasset.

2.4.2 Målemetode

Volum av hver av de tre prøvene fra samme betonglass, som analyseres for fiberinnhold, bestemmes nøyaktig ved at den fylles i en metallbøtte med kjent volum, f.eks. luftmålerbøtte/Thaulowbøtte. Betongoverflaten trekkes av nøyaktig for at prøvevolumet skal tilsvare bøttens volum. Volumet av prøven skal være minimum 8 liter. Prøven vaskes ut med vann, og fiber i prøven samles opp. Fiber fanges med egnet redskap, magnet for stålfiber, hov for plastfiber. Oppsamlet fiber tørkes og veies. Fibermengde i kg/m³ beregnes for hvert enkelt prøveuttak.

Dersom basisbetongen har et luftinnhold som overstiger 4,0 %, kan målt fiberinnhold i prøvene korrigeres for dette. Basisbetongens luftinnhold skal i så fall måles på samme lass hvor fiberinnhold kontrolleres, og rapporteres sammen med korrigert luftinnhold.

$$\text{Korrigert fiberinnhold} = \text{Målt fiberinnhold} \times 100 / (104 - \text{Målt luftinnhold i \%})$$

Eksempel, målt fiberinnhold 27,62 kg/m³, målt luftinnhold 8,4 %:

$$\text{Korrigert fiberinnhold} = 27,62 \text{ kg/m}^3 \times 100 / (104 - 8,4) = 28,89 \text{ kg/m}^3$$

2.5 Energiabsorpsjon, framstilling av prøveplater og prøving i laboratoriet

2.5.1 Måleprinsipp

Prøving av energiabsorpsjonsevne for fiberarmert sprøytebetong utføres ved bøyep prøving av betongplater. Plateprøving har relevans til last- og deformasjonssituasjonen til en bergsikring, jf. situasjonen rundt og mellom fjellbolter.

Plateprøvene plasseres direkte på kontinuerlig stålopplegg og påføres en sentrisk last. Last-/deformasjonsforløpet registreres kontinuerlig fra oppstart pålastning og til 30 mm nedbøyning under midten av plata.

Platas energiabsorpsjon beregnes fra arealet under last-/deformasjonskurven, med korreksjoner for bidraget i energiopptak som skyldes friksjon mellom prøveplata og opplegget samt for avvik i platetykkelsen. Selve prosedyren for beregning av energiabsorpsjon er gitt i punkt 2.5.7.

En prøveserie skal bestå av minimum 3 plater. Prøvingen utføres normalt ved 28 døgns alder. Det anbefales å produsere 4 prøveplater ved hvert prøveuttak for å ha en ekstra i tilfelle man får skade på en plate eller det er andre grunner som tilsier bruk av den fjerde platen.

2.5.2 Prøveformer

Sirkulære og kvadratiske plater er sidestilt og begge geometriene kan benyttes. Sirkulære plater dominerer i Norge ettersom dette har vært tradisjon fra tidligere, og de er lettere å håndtere. For kvadratiske plater se punkt 2.5.10.

Ferdige sirkulære plateprøver skal ha diameter 600 mm og tykkelse 100 mm. Til formbunn benyttes helst en sirkulær plate av stål (tykkelse minimum 4 mm) eller finer (tykkelse minimum 25 mm).

Til kantforskaling brukes en stripe av stål, minimum 0,6 mm tykk, som festes/klemmes rundt formbunnens omkrets slik at prøveforma får indre høyde 100 mm. Formbunnen avstives på undersiden ved at den skrues fast eller sveises til en trekantet eller kvadratisk ramme.

Det er viktig at prøveforma er plan og har tilstrekkelig stivhet slik at prøvestykket ikke blir deformert under sprøyting og ved eventuell dreining av nysprøytet plate ned i horisontal stilling før avretting. Skader/skjevheter fører til redusert kapasitet i plata. Eksempel på en plateform er gitt i Figur 2-1, og på plateformer som er klare for sprøyting i Figur 2-2.



Figur 2-1: Eksempel på sirkulær plateform



Figur 2-2: Plateformer klare for sprøyting

2.5.3 Framstilling av plateprøver

For at plateprøvene skal være representative skal de produseres der sprøytebetong normalt utføres, under utførelsen av ordinær produksjonssprøyting, jf. punkt 1.3.6.

Det betonglasset som benyttes for sprøyting av prøveplater skal også kontrolleres for fiberinnhold/fiberfordeling (3 prøveuttak fra lasset det sprøytes fra, jf. punkt 1.4.1 og 2.4). Hvis målt fiberinnhold/fiberfordeling i basisbetongen er utenfor toleransene (jf. punkt 1.4.1) må platene forkastes, og nye plater må sprøytes sammen med ny måling av fiberinnhold/fiberfordeling.

Før sprøyting kontrolleres prøveformene med hensyn til at bunnen er ren og fri for skjevheter, at høyden er korrekt og at det ikke er glipper i kontaktsonen mellom kantforskalingen og bunnen. Formene bør være påført formolje. Prøveformene stilles opp på skrå, stabilt i 15-25° posisjon fra vertikalen, se Figur 2-2.

Prøveplatene sprøytes etter at minst 1,0 m³ av lasset er tømt. Rapport fra kontrollen av fiberinnhold/fiberfordeling og ev. luftinnhold og densitet skal følge som vedlegg til laboratorierapporten vedrørende energiabsorpsjon. Resultatene fra denne kontrollen vil trolig ikke foreligge før etter at prøveplatene er sprøytet, men vil kunne benyttes til å vurdere hvorvidt prøveplatene skal sendes til laboratoriet eller forkastes.

Før sprøyting av prøveplater må sprøytestrålen og akseleratordosering justeres. For å lette avtrekkingen kan akseleratordoseringen reduseres noe i forhold til det som benyttes ved den ordinære sprøytingen. Sprøytestrålen bør ikke komme fra bakken og mot forma; dette kan føre til at forurensende grums kan bli sprøytet inn i plata. Nødvendig sprøytebetong sprøytes i forma slik at den akkurat overfyller forma.

Prøveplatene sprøytes én om gangen. Den trekkes av med det samme, deretter neste plate. Ved avtrekkingen kan formene legges horisontalt, men på en skånsom måte for å unngå at prøvestykket skades. Overflaten trekkes av til en jevn tykkelse på 100 mm. Tillatte avvik for tykkelse er -10 mm/+15 mm. Tykkelsen kontrolleres i laboratoriet ved prøving (punkt 2.5.6, punktene 3 og 10).

Bemerk at prøveplatene skal belastes i senterområdet med en lastplate. Hvis avtrekkingen gir vesentlige ujevnheter i senterområdet, vil dette kunne medføre at lastplata blir stående skjevt under prøving. Dette kan gi redusert kapasitet.

2.5.4 Etterbehandling og lagring

Etter sprøyting og avtrekking skal platene tildekkes med plastfolie. Prøveplatene skal eksponeres for tilsvarende temperaturforhold som øvrig sprøytebetong. For å unngå skader i den ferske betongen bør plateprøvene transporteres minst mulig de første 18 timene. Prøvestykker inklusiv form kan flyttes forsiktig til nærmeste nisje e.l., men bør ikke transporteres i hjullasterskuffe eller på lasteplan. Hard behandling og/eller uttørking kan gi redusert kapasitet ved prøving.

Etter avforming, merking og transport til sertifisert laboratorium skal plateprøvene lagres videre innpakket i plastfolie ved romtemperatur (20 ± 3 °C). I dagene før prøving skal plateprøvene lagres i vann (20 ± 3 °C) i minimum 3 døgn.

Plateprøven skal være fuktig ved prøving.

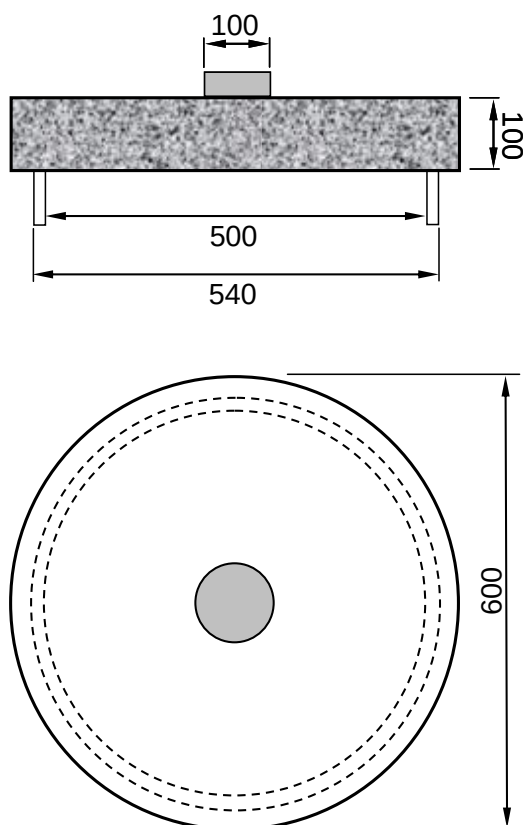
2.5.5 Prøvingsutstyr og prøvingsoppsett

Oppsettet ved prøving av sirkulære plateprøver er angitt i Figur 2-3, Figur 2-4 og Figur 2-5.

Ved prøving skal plateprøven ligge sentrisk på en planslipt sirkulær oppleggsring av høyfast stål (S355J2 iht. NS-EN 10025-2). Prøveplatas forskalte (glatte) overflate skal vende ned mot opplegget. Oppleggsringen skal ha indre diameter 500 mm (± 2 mm) og skal være 20 mm bred (± 1 mm), og ringens ytre diameter skal dermed være 540 mm. Innerkanten på ringen skal være avfaset 45° 1 x 1 mm, se Figur 2-5. Høyden på oppleggsringen (og underliggende støttesystem) må avpasses riggen for øvrig slik at prøveplata under belastning og nedbøyning aldri har kontakt med annet enn opplegget og deformasjonsgiveren, og slik at kravet til prøvingsriggens totale stivhet overholdes.

Pålastningen skal skje fra prøveplatas sprøytede (ru) overflate. Lasten skal påføres i senter av prøveplata med en lastplate av stål med diameter 100 mm og tykkelse minst 20 mm. Kraftpåføringen skal gjøres deformasjonsstyrt slik at nedbøyningshastigheten i prøveplatas senter er 3 mm/min ($\pm 0,3$ mm/min).

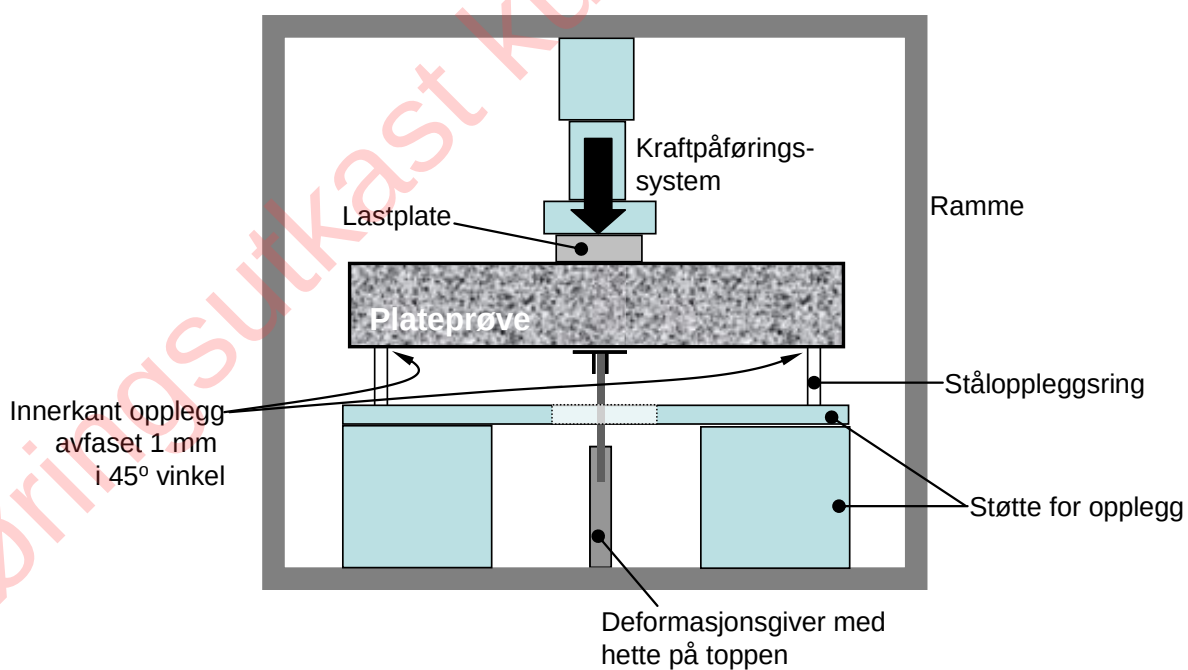
Stivheten til lastsystemet (inklusive ramme, lastcelle, lastplate og oppleggssystem) skal være minst 200 kN/mm.



Figur 2-3: Oppsett ved prøving av sirkulære plateprøver. Ståloppleggsringen er stiplest (alle mål i mm)



Figur 2-4: Deformasjons giver med løs hette med sirkulær stålplate i toppen. Skisse (venstre) og bilde (høyre)



Figur 2-5: Skisse, eksempel på prøvingsoppsett

Måling av platas nedbøyning bør gjøres direkte med en deformasjonsgiver plassert sentrisk mot prøveplatas underside (strekkssiden)¹. Giveren skal være kalibrert og ha minst 0,02 mm oppløsning og total målelengde på minst 50 mm. Deformasjongiveren må være fjærbelastet slik at den holdes mot prøvestykket ved hjelp av fjærkraften. Deformasjongiveren skal utstyres i toppen med en løs hette i stål med en sirkulær stålplate festet på toppen. Hetta m/plate skal kunne rotere under nedbøyning/rotasjon av prøvestykket og hindre giveren i å trenge inn i bruddene, se Figur 2-4. Diameteren på hetta må være større enn diameteren på giverhodet slik at den kan rotere fritt under pålastingen. Diameteren på den sirkulære stålplaten skal ikke være mindre enn 50 mm.

Last- og deformasjonssignal skal være tilkopleet et loggesystem som registrerer signalene samtidig og kontinuerlig under prøvingen.

2.5.6 Gjennomføring av plateprøvingen

- 1) Prøveplata tas opp av vannbadet og under prøvingen skal plata være fuktig. Eventuelt overflatevann/dråper kan tørkes bort. Hvis det tar tid fra plata tas opp av vannbadet til prøvingen starter, skal plata beskyttes mot uttørking eller eventuelt påføres fukt.
- 2) Prøveplatas diameter kontrolleres med linjal/tommestokk tre ganger over plata, 60° vinkel mellom hver måling. Gjør første kontrollmåling eventuelt der plata ser ut til å ha størst diameter. Hvis gjennomsnittet av de tre målingene ligger mer enn 5 mm utenfor nominell diameter på 600 mm, skal dette anmerkes ved rapporteringen.
- 3) Platetykkelsen måles langs randen med skyvelære ved seks målinger, 60° vinkel mellom hver måling. Gjennomsnittlig platetykkelse beregnes. Hvis det blant disse seks målingene er mer enn 10 mm forskjell mellom høyeste og laveste verdi, skal tykkelsen for denne plata i stedet bestemmes iht. punkt 10) nedenfor.
- 4) Eventuelle abnormaliteter eller feil ved prøveplata registreres og anmerkes ved rapportering.
- 5) Prøveplata plasseres i prøvingsriggen med den glatte/forskalte siden direkte mot ståloppleggsringen og sentreres. Det skal ikke brukes noe mellomleggs materiale mellom plate og opplegg.
- 6) Sentrisk på prøveplatas ru overflate, hvor lasten skal påføres, legges en sirkulær lastplate av stål med diameter 100 mm og tykkelse minimum 20 mm. Skulle det fra betongoverflaten stikke opp tilslag eller knaster slik at lastplata blir stående skjevt, bør disse fjernes først.
- 7) Deformasjongiver (med hette og sirkulær plate) stilles inn og sentreres mot platas underside (mot glatt/forskalt side).
- 8) Prøvingen kan startes. Kraften påføres deformasjonsstyrt med en hastighet på 3 mm/min ($\pm 0,3$ mm/min). Kraft- og deformasjonssignalet skal registreres kontinuerlig. Prøvingen avsluttes når den sentriske nedbøyningen i prøveplata er 30 mm.

¹ Som et alternativ kan platas sentriske nedbøyning måles fra lastsiden (trykksiden) hvis kraftpåføringssystemet er utstyrt med en egen deformasjonsmåling. Dette forutsetter imidlertid verifikasjonsforsøk med samtidig måling fra platas underside. Måleavviket skal karakteriseres som et systematisk avvik og skal legges inn som en korleksjon ved ev. standardmåling fra kraftpåføringssystemet.

9) Etter prøvingen tas prøveplata ut av riggen og snus, og antall brudd på undersiden registreres. Et radielt brudd fra midten og ut til platas rand registreres som ett brudd. Det vanlige er fire eller flere brudd. Eventuelt skjærbrudd skal anmerkes (ses ofte best fra oversiden). Et foto av bruddmønsteret er enkel dokumentasjon og anbefales.

10) For plateprøver med ujevn tykkelse (>10 mm tykkelsesvariasjon målt i henhold til punkt (3)) skal tykkelsen måles over bruddflatene etter at prøvingen er gjennomført. Prøveplata må da først deles helt opp i «kakestykker» som definert av hovedbruddene. Tre målinger gjøres over hver bruddflate med skyvelære. Ved for eksempel fire hovedbrudd i plata betyr dette totalt $4 \times 3 = 12$ tykkelsesmålinger. Gjennomsnittlig platetykkelse beregnes.

2.5.7 Beregning av energiabsorpsjon

Prøveplatas energiabsorpsjon (E_{abs}) beregnes i henhold til formelen nedenfor (Likning 2-1). Platas tykkelse påvirker energiopptaket og formelen korrigerer for dette (k_t). I tillegg skal det korrigeres for bidraget i energiopptak som skyldes friksjon mellom prøveplata og opplegget (k_f).

Formel 2-1

$$E_{abs} = k_t \cdot k_f \cdot A_{P-\Delta}$$

hvor

$$A_{P-\Delta} = \sum_{i=0}^{\Delta_m} \left[(\Delta_{i+1} - \Delta_i) \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right]$$

Symbolforklaring

Energiabsorpsjon fra plateforsøket:	E_{abs}
Akkumulert areal under kraft/deformasjonskurven fram til	$A_{P-\Delta}$
Nominell platetykkelse:	$t_0 = 100 \text{ mm}$
Målt gjennomsnittlig platetykkelse (mm):	t
Korreksjonsfaktor for tykkelse:	$k_t = \frac{t_0}{t}$
Grensenedbøyning:	$\Delta_m = 25 \text{ mm} \cdot k_t$
Deformasjon/nedbøyning (mm):	Δ
Kraft (kN):	P
Korreksjonsfaktor for friksjon mot opplegget:	$k_f = 0,75$

Trinn 1: $A_{P-\Delta}$ (akkumulert areal under last-/deformasjonskurven) beregnes inkrementelt mellom null nedbøyning og fram til korrigert grensenedbøyning $\Delta_m = 25 \text{ mm} \cdot k_t$

Trinn 2: Energiabsorpsjonen (E_{abs}) beregnes ved å multiplisere $A_{P-\Delta}$ med faktoren k_t og med faktoren k_f

Hvis det måles kraft i [kN] og deformasjon i [mm] vil E_{abs} i henhold til Likning 2-1 komme ut med enhet [Joule]. E_{abs} skal rapporteres med enheten [Joule].

Maksimumslasten ved plateprøvingen rapporteres som målt maksimumslast multiplisert med faktoren k_t^2 (korreksjonsfaktoren for tykkelse i andre potens). Det samme gjelder for rapportering av restlasten målt ved grensenedbøyningen $\Delta_m = 25 \text{ mm} \cdot k_t$ (her korrigeres det ikke for friksjon).

2.5.8 Rapportens innhold

Bakgrunnsinformasjon:

- Opplysninger om prosjekt og oppdragsgiver
- Sprøytebetongens fasthetsklasse, bestandighetsklasse samt nominell fiberdosering og fibertype
- Sprøytedato, forsendelsesdato, herdebetingelser fram til forsendelse
- Plateprøvenes/emballasjens tilstand ved ankomst laboratoriet
- Tidspunkt for prøvens ankomst i laboratoriet, videre herdebetingelser i laboratoriet (før prøving, minimum siste 3 døgn vannlagret)
- Prøvingsmaskin type/fabrikat og maskinens stivhet
- Plateprøvenes alder ved prøving (fortrinnsvis 28 døgn hvis ikke annet er avtalt)
- Resultater fra kontroll av fiberinnhold/fiberfordeling i basisbetongen og ev. også målt luftinnhold (vedlegg), dvs. fra det lasset som prøveplatene ble sprøytet

Målinger/prøving:

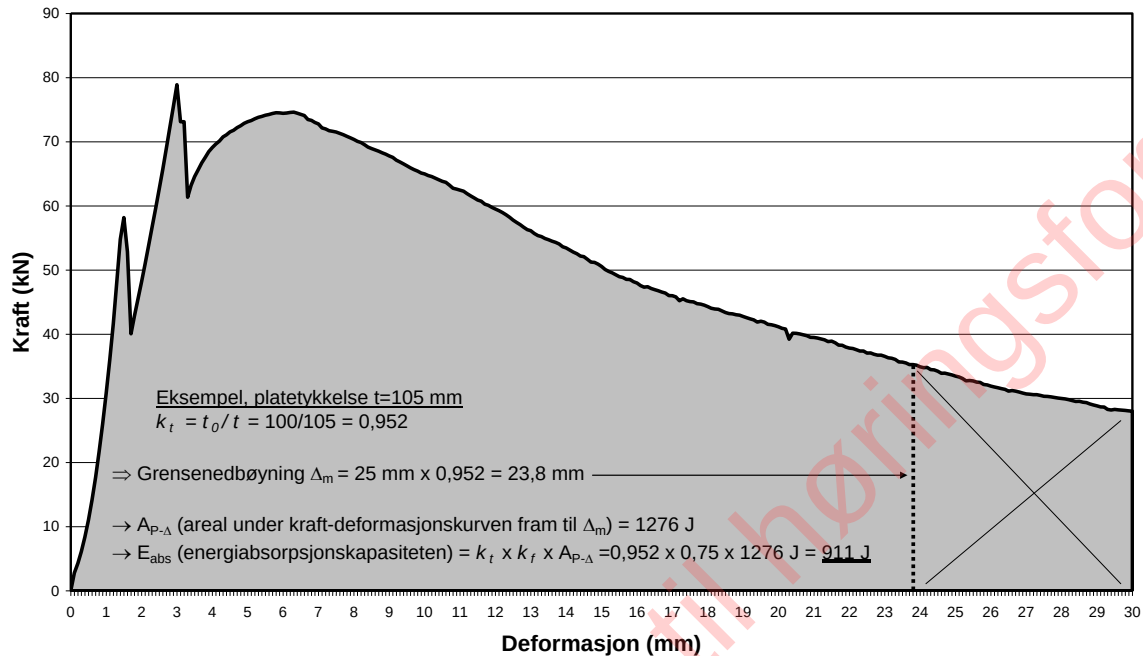
- Eventuelle abnormaliteter eller feil ved plateprøvene
- Gjennomsnittlig platetykkelse for hver plate
- Antall brudd og ev. skjærbrudd (gjærne foto) i hver plate
- Kraft/deformasjonsforløp for hver prøveplate fram til 30 mm nedbøyning
- For hver prøveplate, maksimumslast i forsøket samt restlast ved grensenedbøyningen; begge korrigert for platetykkelsen
- For hver prøveplate, en kurve for beregnet akkumulert areal ($A_{P-\Delta}$) under kraft-/deformasjonskurven fram til grensenedbøyningen
- Beregnet energiabsorpsjon (E_{abs}) for hver plate i henhold til Likning 2-1, gjennomsnittet for alle platene, standardavvik og variasjonskoeffisient. NB! Alle plateprøvene som prøves skal inngå i gjennomsnittet uavhengig av platenes bruddform (momentbrudd, skjærbrudd)
- Vurdering av resultatene

Vedlegg:

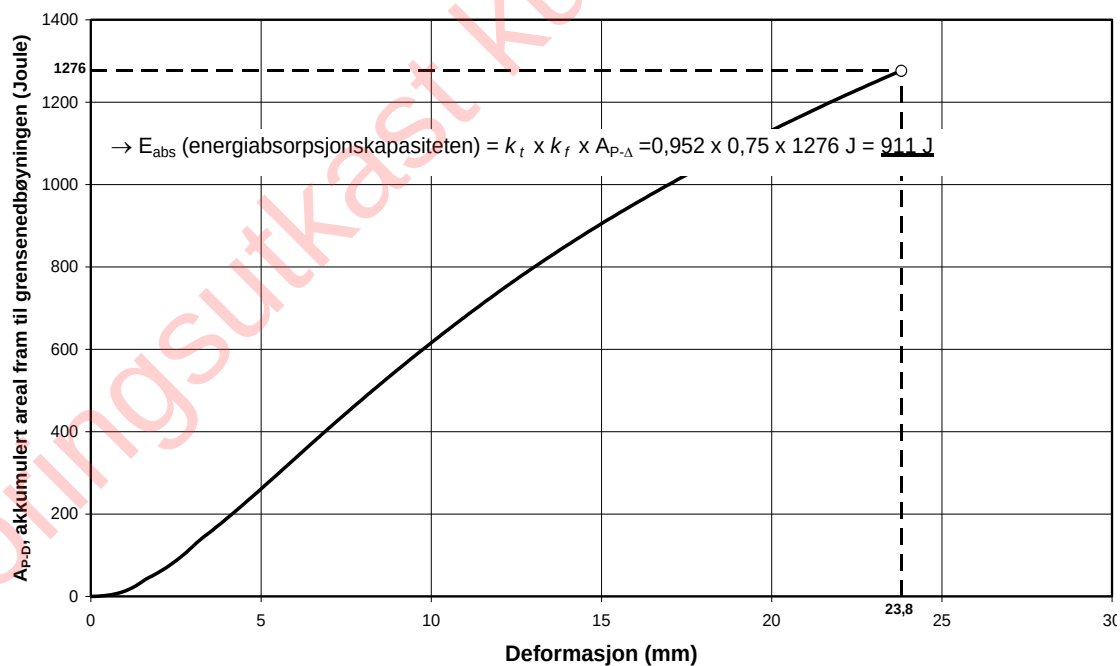
- Måleresultatet fra kontrollen av fiberinnhold/fiberfordeling

2.5.9 Eksempel på beregning av energiabsorpsjon

Eksemplet i Figur 2-6 og Figur 2-7 nedenfor er hentet fra en plateprøving hvor platen hadde gjennomsnittlig tykkelse på 105 mm. Kraft og deformasjon ble målt fram til 30 mm nedbøyning. Arealet ($A_{P-\Delta}$) under kraft/deformasjonskurven er beregnet fram til grensenedbøyningen og energiabsorpsjonen (E_{abs}) er beregnet deretter.



Figur 2-6: Eksempel: Kraft/deformasjonsmåling fra en prøve med platetykkelse = 105 mm



Figur 2-7: Eksempel: Akkumulert areal ($A_{P-\Delta}$) under kraft/deformasjonskurven fram til grensenedbøyningen 23,8 mm for prøvingen med platetykkelse 105 mm

Maksimumslasten under denne prøvingen ble målt til 79,0 kN og restlasten ved grensenedbøyningen (23,8 mm) ble målt til 35,3 kN.

- Rapportert maksimumslast blir dermed: $79,0\text{ kN} \cdot k_t^2 = 79,0\text{ kN} \cdot 0,952^2 = 71,6\text{ kN}$
- Rapportert restlast blir dermed: $35,3\text{ kN} \cdot k_t^2 = 35,3\text{ kN} \cdot 0,952^2 = 32,0\text{ kN}$

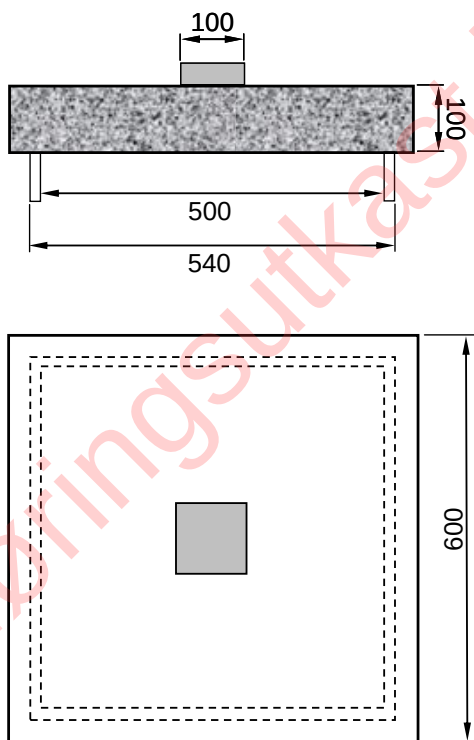
2.5.10 Alternativ plategeometri: Kvadratiske plateprøver

NS-EN 14488-5 beskriver prøving av kvadratiske plateprøver 600 x 600 mm med tykkelse 100 mm, ikke sirkulære plateprøver. NS-EN 14488-1 omhandler framstilling av prøveplater. Om det ønskes å benytte kvadratiske plateprøver, skal prøveframstilling, prøving og rapportering følge samme prosedyre som beskrevet for sirkulære plateprøver, med noen unntak og kommentarer gitt i det følgende:

Plateprøvene skal være kvadratisk 600 mm x 600 mm og tykkelse 100 mm, og prøveforma som betongen sprøytes i skal ha samme indre dimensjoner. Det er viktig at prøveforma har tilstrekkelig stivhet slik at prøvestykket ikke blir deformert under sprøyting og ved eventuell dreining av nysprøytet plate ned i horisontal stilling før avretting. Skader/skjevheter fører til redusert kapasitet ved prøving.

Ved prøving skal plateprøvene legges direkte (uten mellomlegg) på en 20 mm bred kvadratisk ståloppleggsramme med indre dimensjon 500 mm og ytre dimensjon 540 mm. Innerkanten på ramma skal være avfaset 45° 1 x 1 mm, se Figur 2-5. Lastplaten på toppen av prøvestykket under prøving skal være kvadratisk med mål 100 mm x 100 mm og tykkelse minst 20 mm.

Kvadratiske prøveplater gir samme resultat som sirkulære når prøvingen ellers er identisk.



Figur 2-8: Oppsett ved prøving av kvadratiske plateprøver. Ståloppleggsramma er stiplet (alle mål i mm)

2.6 Referanser til kapittel 2

- [1] Thorenfeldt E. (2006) Fiberarmerte betongplater. Energiabsorpsjon for standard prøver. SINTEF-notat
- [2] Bjøntegaard Ø. og Myren S.A. (2011). Fibre Reinforced Sprayed Concrete Panel Tests: Main Results from a Methodology Study Performed by the Norwegian Sprayed Concrete Committee, Sixth International Symposium on Sprayed Concrete, 12.-15. September 2011, Tromsø, Norway
- [3] Bjøntegaard Ø. and Myren S.A. (2011) The accuracy of FRS concrete panel tests. Tunneling Journal, Oct/Nov 2011, pp. 44-50
- [4] Se for øvrig Statens vegvesen Teknologirapporter nr. 2531, 2532, 2534, 2575, 2612

Høringsutkast kun til høringssformål

3 Veiledning til dimensjonering av sprøytebetong til bergsikring – ingeniørgeologiske og bergmekaniske vurderinger

3.1 Innledning

Dette kapitlet tar for seg ingeniørgeologiske, bergmekaniske og praktiske bergrelaterte forhold som legges til grunn for beslutninger om bergsikring og spesielt anvendelsen av sprøytebetong. I norske underjordsanlegg i berg anvendes sprøytebetong ikke bare til midlertidig og umiddelbar stabilitetssikring, men også til permanent bergsikring. I Norge er det vanlig å stille krav til at arbeidssikringen skal utføres slik at den kan inngå i den permanente bergsikringen.

Sprøytebetong inngår som et av hovedelementene i en bergsikringskonstruksjon som har til hovedhensikt å forsterke bergmassen. Prinsippet er at bergmassen er det permanent bærende elementet i en tunnel eller et bergrom, og at bergsikringen bidrar til å ivareta bergmassens bærende egenskaper.

Dette prinsippet muliggjør relativt små sprøytebetongtykkelser sammenliknet med praksis i flere andre land, der man har erfaring med bergforhold som medfører at sprøytbetongsikringen er statisk lastbærende.

Sprøytebetong brukes i kombinasjon med andre sikringsmidler som bolter, eller i armerte buer. Sprøytebetong kan gis materialegenskaper for langtidseksposering av ulike miljøer og laster, og er i de fleste situasjoner egnet for bruk der det stilles krav til langtidsholdbarhet. Sprøytebetong kan imidlertid også brukes som midlertidig sikring i situasjoner der en endelig tunnelkledningskonstruksjon med bærende virkning bygges senere, f.eks. med armerte sprøytebetongbuer med hvelvvirkning eller kontaktstøpt betonghvelv som er dimensjonert for lastene fra bergmassen.

3.2 Anvendelse av sprøytebetong

Ved bruk av sprøytebetong som sikring i bergrom, er det viktig å forstå målsettingen for sikringen. Det har vært vanlig å utføre arbeidssikringen (dvs. sikring utført nær arbeidsfronten – stoffen – under driving) på en slik måte at den inngår i den permanente sikringen. Dette må sees i relasjon til sikringsnivået som er nødvendig for berganleggets funksjon, hvilket fysisk og kjemisk miljø betongen vil bli utsatt for, og om det forventes deformasjoner i bergmassen.

I norsk tunneldriving har det vært vanlig å utføre erfaringsbasert bergsikring. Siden 2005 er det i Norge stilt krav til dokumentasjon av ingeniørgeologiske forhold og bergmassekvalitet under drivingen som grunnlag for å fastsette bergsikring. I henhold til Eurokode 7, så vil bergsikring komme under kategorien "konstruktive tiltak". Fastsettelse av erfaringsbasert sikring kan dokumenteres i henhold Q-systemet (Grimstad og Barton, 2014, NGI, 2022) eller i spesielle tilfeller analytiske beregninger eller numeriske simuleringer. Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering (NBG, 2011) gir anbefalinger om dokumentasjonsbehovet for prosjektering av bergsikring.

I realiteten er det observasjonsmetoden som benyttes, der et planlagt sikringsnivå baseres på prognoser og forundersøkelser. Detaljbeslutningene om sikring tas på grunnlag av observasjoner på stoff under driving. Det benyttes i hovedsak empiriske verktøy for beslutningsstøtte i form av bergmasseklassifisering og erfaringsbasert sammenheng mellom bergklasser og sikringsklasser. I

tillegg er det vanlig at tilstanden av bergsikringen blir observert og kontrollert med tanke på in-situ materialkvalitet og eventuelle deformasjoner og laster fra berget før endelig godkjenning som permanent sikring.

På prosjekter der det beskrives et klassifiseringssystem for bergmassevurderingene, er det viktig å inkludere en fullstendig registrering av ingeniørgeologiske forhold og bergmekaniske parametere som grunnlag for beslutning om bergsikring.

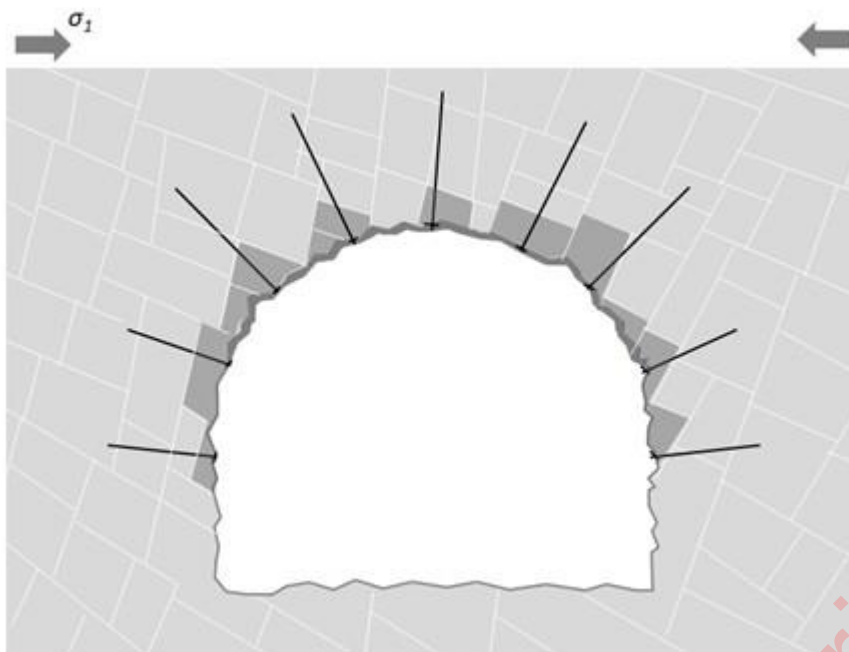
3.3 Sikringsfilosofi – funksjon av bergsikring

Hovedprinsippet for bergsikring baserer seg på at bergmassen er selvbærende og sikringen har funksjon som bergforsterkning slik at bergets selvbærende evne ivaretas. Dette er et prinsipp som fungerer meget godt under harde bergforhold og er tuftet på et omfattende mangeårig erfaringsgrunnlag.

Harde bergforhold er et begrep som kan defineres som et diskontinuerlig hardt bergmateriale, dvs. oppsprukket materiale, der det intakte bergmaterialet mellom sprekkene har høy mekanisk styrke og høy deformasjonsmodul. I litteraturen foreslås flere definisjoner av hardt berg. ISRM (1979) og Bieniawski (1973) foreslår en-aksiell trykkstyrke på 100 MPa eller høyere for det intakte bergmaterialet som kriterium. I de fleste bergmasser i Norge opptrer bergarter med betydelig høyere trykkstyrke enn 100 MPa.

Bergmassens in-situ spenningstilstand bidrar til at denne forutsetningen er oppfylt. Dette er spesielt viktig der man har en relativt høy horisontal bergspenningskomponent. I store deler av Skandinavia er det en horisontal bergspenningskomponent som er geologisk betinget, og som oftest gir et positivt bidrag til bergmassens stabilitet rundt et bergrom.

Bergsikringens funksjon under slike forhold er derfor i de aller fleste tilfeller å ivareta detaljstabiliteten av bergmassen nær bergrommet, ved å hindre nedfall av blokker. Derved ivaretas forutsetningen om et stabilt selvbærende hvelv. Dette er illustrert i Figur 3-1 og Figur 3-2. Større utfall av blokker kan gi mangel på buevirkning i bergmassen i deler av konturen. Dette er illustrert i Figur 3-3. Mektige svakhetssoner kan gi behov for en bergsikring med konstruktiv buevirkning i hele tunnelprofilet. Inkludering av sålen i sikringskonstruksjonen må vurderes i slike tilfeller. Et eksempel på dette er vist i Figur 3-4 og Figur 3-5.



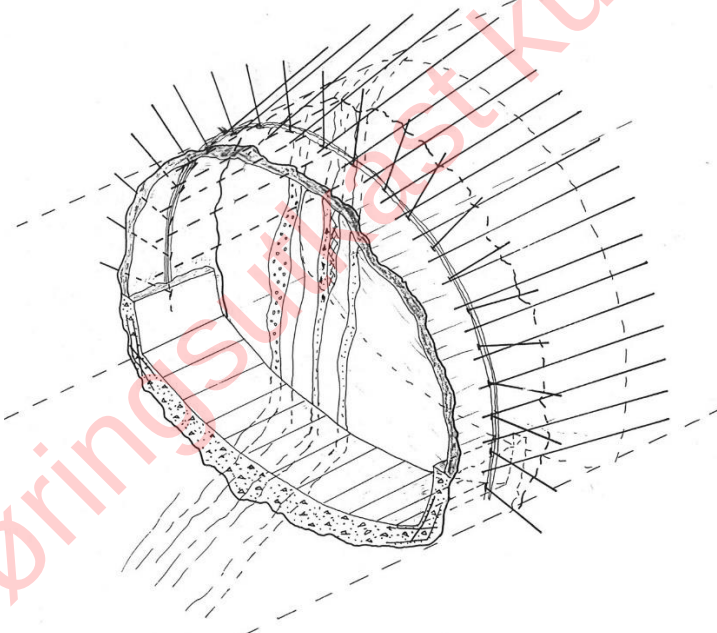
Figur 3-1: Funksjonsprinsipp for bergsikring basert på bolter og sprøytebetong i bergmasse med harde bergarter og gunstige bergspenningsforhold. Bergblokker holdes på plass av bergsikringen. Det oppnås et selvbærende hvelv i bergmassen.



Figur 3-2: Bergsikring med armerte sprøytebetongbuer og forbolter utført de første 3 salvene fra påhugget. Bergblokker og mindre bergfragmenter holdes på plass av bergsikringen. Selv bærende hvelv av bergmasse oppnås ved en jevnt sprengt bergkontur i tunnelperiferien. Påhugg Holm i Holmestrandporten. Foto: Bane NOR Utbygging



Figur 3-3: Manglende buevirkning i bergmasse med betydelige overmasser som gir ugunstig og instabil kontur. Tilpasset bergsikring med omfattende bolting av store bergblokker og 6-8 cm tykk sprøytebetong for detaljsikring. Sao Paolo Metro Linha 3. Foto Nick Barton.



Figur 3-4: Eksempel på tung bergsikringskonstruksjon med ca. 200 mm sprøytebetongtykkelse, armerte sprøytebetongbuer, forbolter og sålestøp. Sikringen er dimensjonert for en berggrunn, bestående av svakt berg og svakhetssonemateriale med løsmassekarakter (Holter et al. 1995).



Figur 3-5: Utførelse av bergsikringen vist i figur 4, der armeringen i sikringsbuene er montert og klare for innsprøyting med betong. Fra drivingen av undersjøisk tunnel til Bjørøy og et parti med meget svakt berg og mektige spalteåpninger fylt med ukonsolidert sand. (foto Karl Gunnar Holter)

3.4 Virkemåte og belastning av sprøytebetong

Tradisjonelt har man identifisert fem hovedmekanismer for sprøytebetongens virkemåte.

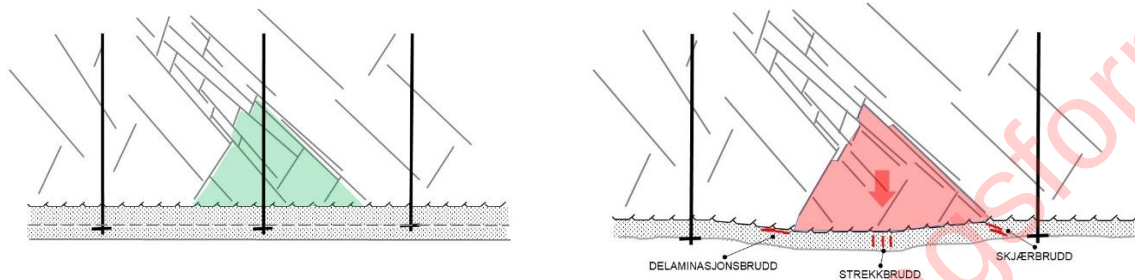
- Kile- og limeeffekt, som oppnås ved at betongen trenger inn i sprekker og jevner ut uregelmessigheter i bergoverflaten
- Sammenbinding og heft, som fungerer ved at betongen ved sin heft til bergoverflaten og sin bøyestrekfasthet hindrer blokker i å falle ut
- Forsegling, som hindrer vann i å vaske ut finstoff og småstein
- Hvelvvirkning, som kan oppnås ved tykke lag og/eller jevn overflate i bergrommet.
Sprøytede, armerte buer med jevn form gir god hvelvvirkning
- Bjelke-/platevirkning i en begrenset del av arealet, f.eks. rundt og mellom bolter, eller andre forankringspunkter

Prinsipielt vil belastning av sprøytebetongsikringen i hardt berg være forårsaket av bergmekaniske mekanismer og geologiske forhold.

- Tyngde av uinnspente løse bergblokker
- Trykk påført av svellende sprekke materiale
- Deformasjon ved skjærbevegelse på flere sprekkeflater i bergmassen
- Deformasjon ved høye bergtrykk (skvisning, avskalling og skjærbrudd)
- Vanntrykk i spesielle situasjoner

Dersom bergsikringen ikke gir den forsterkningen av bergmassen som tiltenkt, vil det kunne oppstå begynnende brudd i sprøytebetongen i form av enten delaminasjons-brudd, skjærbrudd, strekkbrudd eller en kombinasjon av disse.

Lastsituasjonene som kan forventes i selve sprøytebetongen i hard bergmasse med avløste blokker er illustrert i form av ulike bruddmekanismer i Figur 3-6.



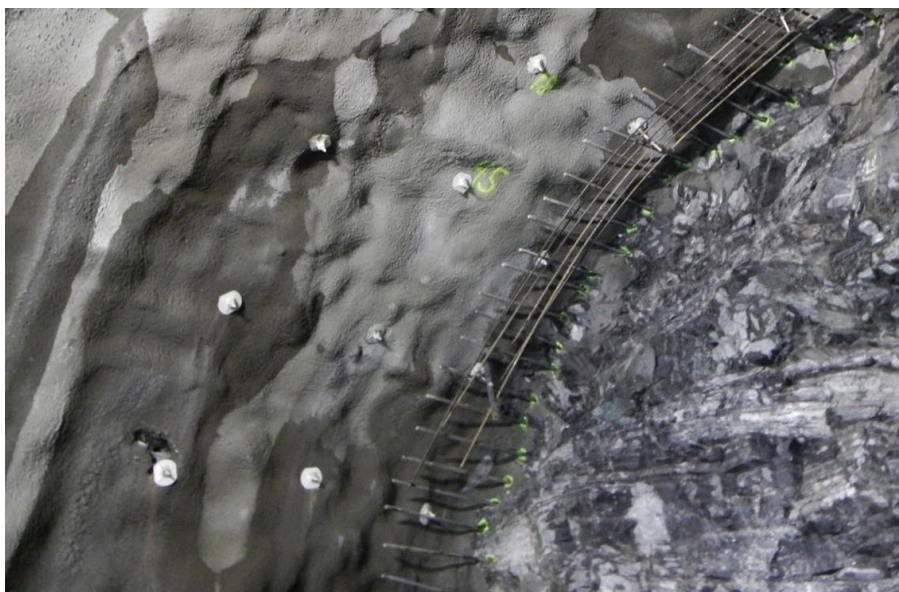
Figur 3-6: Prinsipiell skisse med mulige bruddmekanismer i sprøytebetong i bergsikring i hardt berg der stabiliteten av blokker og fragmenter i bergkonturen er bestemmende. Til venstre illustrasjon av stabil situasjon med tilstrekkelig sikring, til høyre ustabil situasjon med brudd i sprøytebetongsikringen

I bergmasse med betydelig oppsprekking og i svakhetssoner utgjør effekten som oppnås med forsterket overflatesikring med bolter og to lag med sprøytebetong et betydelig bidrag i sikringens lastbærende evne. Dette er illustrert i Figur 3-6.

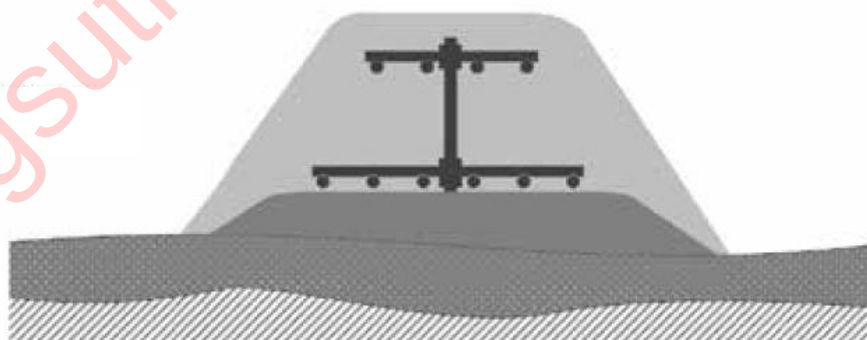
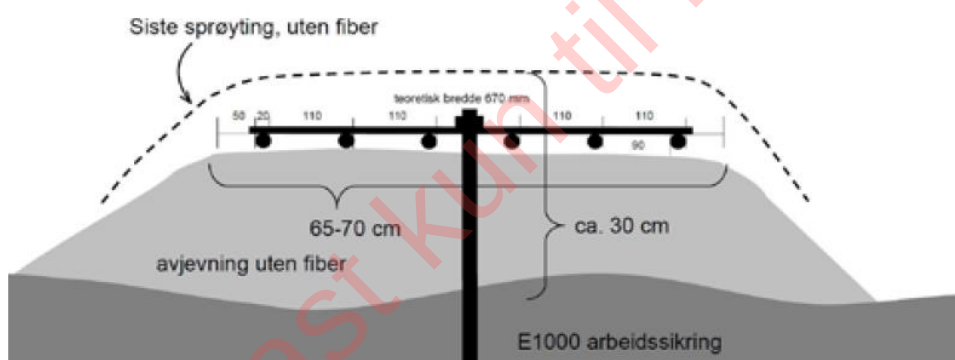
Ved bruk av forbolting (spiling) for å stabilisere bergmassen umiddelbart foran stuff er det vesentlig at forboltene bygges inn i en armert sprøytebetong bue. Dette er vist i Figur 3-7.

Armerte sprøytebetongbuer har vært utviklet som en metode for å sikre dårlig berg. Prinsipielt baserer denne metoden seg på å bygge en bue i kontakt med berget som består av armeringsjern, sprøytebetong og bergbolter, vist i Figur 3-7 og Figur 3-8. Buen er forankret i bergmassen med bergbolter, slik at det oppnås samvirke mellom berg, bolter og bue. Derved oppnås flere viktige virkninger med denne typen sikringskonstruksjon: umiddelbar forsterkning av bergmassen, umiddelbar kapasitet til å ta opp deformasjoner og påkjenne bergmassen med et radielt sikringstrykk når deformasjoner inntreffer. Et viktig poeng er at sikringen utføres nært stuff, med tettest mulig kontakt mellom armeringen og berget i form av fullstendig innsprøyting med betong. Sikringen vil da kunne ta opp de første små deformasjonene, og hindre ytterligere deformasjoner og reduksjon av stabiliteten av bergmassen.

Under spesielt krevende bergforhold der betydelige deformasjoner kan forventes, bør behovet for konstruksjonsmessig buevirkning av armerte sprøytebetongbuer vurderes. Dette er illustrert i Figur 3-4, Figur 3-5, samt høyre del av Figur 3-9.



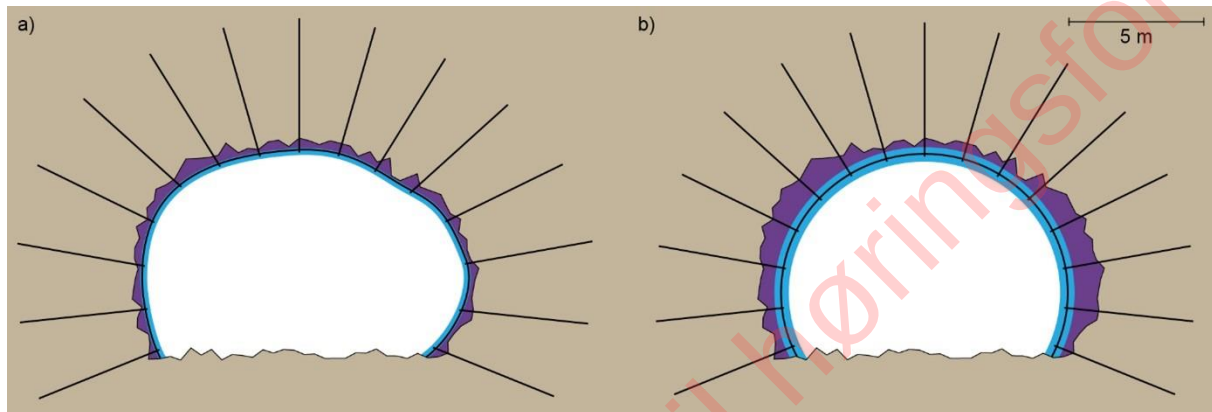
Figur 3-7: Samvirke av flere elementer i bergsikringen med riktig montering av armert sprøytebetongbue i kombinasjon med forbolter. En komplett bue innebygget i sprøytebetong og foregående etappe med forbolter vises til venstre på bildet. (Foto: Jessica Ka Yi Chiu)



Figur 3-8: Øverst: skjematisert snitt av enkeltarmert sprøytebetong og nederst: konfigurasjon av dobbeltarmert sprøytebetongbue (Statens Vegvesen, 2020).

Som alternativ til armert sprøytebetongbuer kan det også benyttes gitterbuer. Dette er ferdigvalsedde armeringsjern der jernene er montert med en konstant innbyrdes avstand. Som oftest består gitterbuer av tre armeringsjern, som er sveiset sammen med lik innbyrdes avstand.

Dersom det forventes bergforhold der betydelige deformasjoner kan oppstå, vil dette kunne medføre belastninger der sikringskonstruksjonen må dimensjoneres for tangentielt trykk, eller ringtrykk. I en slik situasjon vil en semisirkulær geometri av den armerte buen være påkrevet. I slike tilfeller vil det også være nødvendig å vurdere en semisirkulær sikringskonstruksjon i sålen. Undersøkelser i Norge av laster i armerte sprøytebetongbuer har imidlertid vist at selv i svakhetssoner med meget oppsprukket berg, forekommer det kun lokale laster på buene (Grimstad et al. 2008).



Figur 3-9: Armerte sprøytebetongbuer med to prinsipielt forskjellige lastopptaks-funksjoner. Til venstre armert sprøytebetongbue som følger bergoverflaten med permanent forsterkningseffekt av bergmassen og lokalt lastopptak. Til høyre armert sprøytebetongbue med semi-sirkulær geometri med konstruksjonsmessig buevirkning. En slik sikring vil være dimensjonert for svakt berg som gir en radiell lastoverføring til buen som medfører tangentielt trykk i sikringskonstruksjonen (etter Høien, 2018).

Sprøytebetongens heft til bergoverflaten er en viktig egenskap til bergsikring i hardt berg. Denne vil i stor grad avhenge av overflate-egenskapene til sprekkeflatene. Viktige geologiske parametere er typen bergart med tanke på kornstørrelse, ruhet, glimmermineraler og leirmineraler. Forekomst av leirbelegg med en viss tykkelse på sprekkeflater vil redusere heften mellom berg og sprøytebetong på disse flatene til et minimum. Eksempler på heftfasthet i ulike bergarter er vist i tabell 1. Se også punkt 1.3.8.

I tillegg til overflate-egenskapene så kan svinnet i sprøytebetongen under herding gi redusert heft. Bruk av svinnreduserende tilsetningsstoffer, heftforbedrende tilsetningsstoffer, samt redusere omfanget av uttørking så mye som mulig, vil ha en positiv effekt på heftfastheten (jf. punktene 1.5.4 og 4.2.4.4).

Tabell 3-1: Heftfasthet mellom sprøytebetong og ulike bergarter (Hahn, 1978)

Bergart	Mineral	Kornstørrelse	Heft (MPa)	
			Grovslipt	Bruddflate
Leirskifer	Leirmineral Kloritt	Meget finkornig	$0,24 \pm 0,18$	$0,28 \pm 0,11$
Glimmerskifer	Kvarts Feltspat Glimmer	Middelskornig	$0,58 \pm 0,19$	$0,85 \pm 0,35$
Gneis // foliasjon	Kvarts Plagioklas/Mikroklin Glimmer Hornblende	Middelskornig	$0,19 \pm 0,05$	$0,51 \pm 0,11$
Gneis $\perp$ foliasjon	Kvarts Plagioklas/Mikroklin Glimmer Hornblende	Middelskornig	$1,53 \pm 0,28$	1,8
Sandstein (porøs)	Kvarts (Feltspat)	Finkornig	(1,1) Brudd i bergmasse	(1,1) Brudd i bergmasse
Sandstein	Kvarts (Feltspat)	Finkornig	> 1,8	> 1,8
Mergel (uren kalkstein)	Kalsitt Leirmineral	Finkornig	1,49	1,84
Kalkstein (ren)	Kalsitt	Finkornig	$1,58 \pm 0,12$	$1,54 \pm 0,30$
Marmor	Kalsitt	Middelskornig	$1,38 \pm 0,30$	$1,52 \pm 0,28$
Granitt/ Dioritt	Kvarts Plagioklas/Mikroklin Biotitt	Grovporfyroblastisk (store feltspatøyne)	$0,34 \pm 0,12$	$1,12 \pm 0,20$
Granitt/ Dioritt	Kvarts Plagioklas/Mikroklin Biotitt	Middelskornig	$1,04 \pm 0,32$	$1,40 \pm 0,26$
Granitt/ Dioritt	--"	Fin-middelskornig	$1,48 \pm 0,45$	$1,71 \pm 0,14$
Gabbro Diabas	Plagioklas Pyroksen	Fin-middelskornig	$1,56 \pm 0,25$	1,7
Treplate			1,7	
Sprøytebetongflate			1,7	

Forskjellige bergarter har store variasjoner i heft mot sprøytebetong. Dette er vist i Tabell 3-1. Heften vil også variere med hvorvidt bergoverflaten ligger parallelt med skifriheten i bergarten eller ikke. Dette medfører at det er meget vanskelig å sette generelle krav til heftfasthet uten å referere til bestemte bergartstyper. Vanligvis ligger heftfastheten mellom 0,2 og 1,8 MPa når bergoverflaten er skikkelig rengjort og sprøytingen er utført fagmessig. Heften kan testes ved direkte in-situ strekkforsøk med overboring med kjerneborkrone av prøvestykket på den sprøytete bergveggen. Eventuelt kan heft testes ved hydraulisk splitting. På denne måten kan en dokumentere at heften har en viss minimumsverdi. Forsøk viser at ujevnheten spiller langt mindre rolle for heften enn bergartstypen (Hahn, 1978).

Hvis det opptrer leirmineraler eller annet sprekkebelegg på bergoverflaten, og dette ikke kan vaskes vekk, bør svak eller manglende heft kompenseres ved bruk av bolter med skivene på utsiden av sprøytebetongen samt eventuelt bånd.

3.5 Laster induisert av høye bergspenninger

Med høyt bergtrykk menes bergtrykk som overstiger bergmassens trykkstyrke eller deformasjonsmodul. Når et bergrom drives ut vil det forekomme en omlagring av bergspenningene rundt bergrommet. Dette vil medføre både høyere og lavere bergspenninger i bergmassen nært tunnelkonturen sammenliknet med den opprinnelige uforstyrrede bergspenningstilstanden.

I svært mange tilfeller vil slike omlagringer og lokal økning av bergspenninger i tunnelkonturen ha en gunstig og stabilitetsforbedrende effekt. Dette skyldes at berget som oftest har høy trykkstyrke og høy deformasjonsmodul og bergspenningen bidrar til økt in-situ skjærstyrke på sprekkeflatene.

Dersom bergspenningene overstiger trykkstyrken til berget, vil to hovedtyper av ytringsformer kunne forekomme:

- Sprakeberg, eller bergslag
- Skvising, eller duktil deformasjon av berg

Sprakeberg er et sprøtt og ofte spontant brudd i berg, der bergflak løsner. Slike brudd kan ofte høres som markerte knitre- eller bruddlyder, og når sprakeberg observeres som flak som avløses med kraft, kalles dette bergslag.

Skvising er duktil deformasjon av bergmassen, og forekommer som en langsom deformasjon over tid.

Sprakeberg og skvising er ytterpunktene i bergtrykksfenomener. Det kan også forekomme tilfeller imellom disse ytterpunktene, der f.eks. en skifrig bergmasse kan vise deformasjoner av skvising-karakter i et makroskopisk perspektiv, men bergarten er sprø og viser mange mindre enkeltbrudd av sprø type.

Sprakeberg er den vanligste formen for bergtrykksfenomen i Norge. Ved sprakeberg har det vist seg effektivt å bruke fiberarmert sprøytebetong kombinert med bolter for å hindre løse flak i å falle ned og for å lage en ny uoppsprukken og seigere overflate som tvinger deformasjonene innover i berget. Det vil være hensiktsmessig å utføre sprøytebetong også på selve stuff-flaten for hindre nedfall av løsnende bergflak. Ved sprakeberg er det som oftest hensiktsmessig å utføre sprøytebetongen helt ned til såle, for å hindre utfall av løsnende bergflak over tid.

Ved skvising vil deformasjonene opptre etter en viss tid og derfor tilta i omfang når tunnelen avanserer. Dette vil vises som økende og synlige deformasjoner i bergsikringen en viss avstand bak stuff.

Ved både sprakeberg og skvising er det nødvendig å benytte fiberarmering i sprøytebetongen, energiabsorpsjonsklasse E1000 anbefales, se punkt 1.3.6.

Ved både sprakeberg og skvising vil det være fordelaktig å bygge en bergsikring på stuff som er noe deformbar, og unngå å bygge en stiv bergsikringskonstruksjon, f.eks. i form av den tyngste kategorien armert sprøytebetongbue eller kontaktstøp helt inntil stuff. En deformbar bergsikring kan utføres i form av endeforankrede bolter (ikke fullt innstøpte), og høyere seighet på

sprøytebetongen i form av økt fiberdosering. Begrunnelsen for dette er at de største deformasjonene som oftest inntreffer en avstand tilsvarende ca. 1-3 tunneldiametere bak stuff når tunneldrivingen avanserer. Det finnes også eksempler på at sprakeberg og skvising utvikler seg over lang tid og kan vises en betydelig avstand bak stuff.

I slike situasjoner vil det være hensiktsmessig å utføre tilstrekkelig sikring på stuff til å dekke arbeidssikringsbehovet, og supplere med det fullstendige sikringsomfanget til permanent sikring i en avstand av 2-3 salvelenger bak stuff. Dette kan praktisk tilrettelegges som supplerende sprøytebetong og bergbolter ved sprakeberg, og bygging av armert sprøytebetongbuer ved moderat skvising

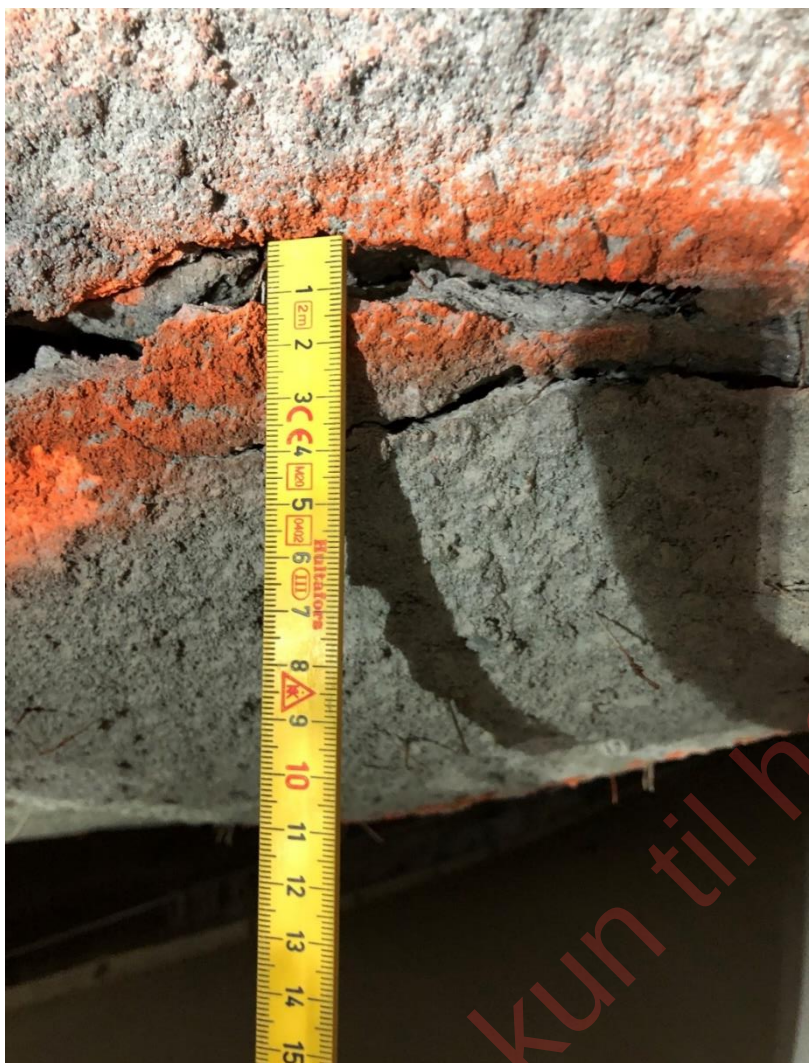
Dersom det er synlige brudd eller riss i sprøytebetongen, så bør sprøytebetongen så langt det er mulig sprøytes inn med supplerende sprøytebetong, og ikke fjernes eller meisles ned.

Sprøyting før bolting hindrer nedfall av flak under boring for bolter, der hvor det er sterk avskalling. Under høye bergtrykk, hvor deformasjoner alltid oppstår, er det viktig at betongen tilfredsstiller energiabsorpsjonsklasse E1000, se punkt 1.3.6. Ved store deformasjoner skal boltenes underlagsplater sitte på utsiden av sprøytebetongen (settes på etter sprøyting). Ved bolting på utsiden av betongen holder det å bruke runde skiver når betongen har tilstrekkelig tykkelse (> 8 cm). Dette gjelder ikke ved store deformasjoner med oppsprekking av sprøytebetongen. Da benyttes gjerne store trekant-plater, som tidligere også ble benyttet direkte på berg uten forutgående påføring av sprøytebetong.

Det er også viktig at tykkelsen på sprøytebetongen er jevn, da tynne partier (mindre enn 5-6 cm) lett kan gi skjærbrudd og avskalling på grunn av dårlig heft. Under disse forholdene er betongens energiabsorpsjon og evne til å ta opp plastisk deformasjon langt viktigere enn trykkfastheten. Ved moderate bergtrykk, som gir liten deformasjon har det tidligere vært vanlig å bolte først (noen ganger flere salver) og sprøyte etterpå. I de fleste tilfeller må det da settes inn tilleggsbolter med skivene utenpå sprøytebetongen for å kompensere for heftbrudd og hindre nedfall. Det er derfor best å sprøyte før bolting også ved moderate bergtrykk.



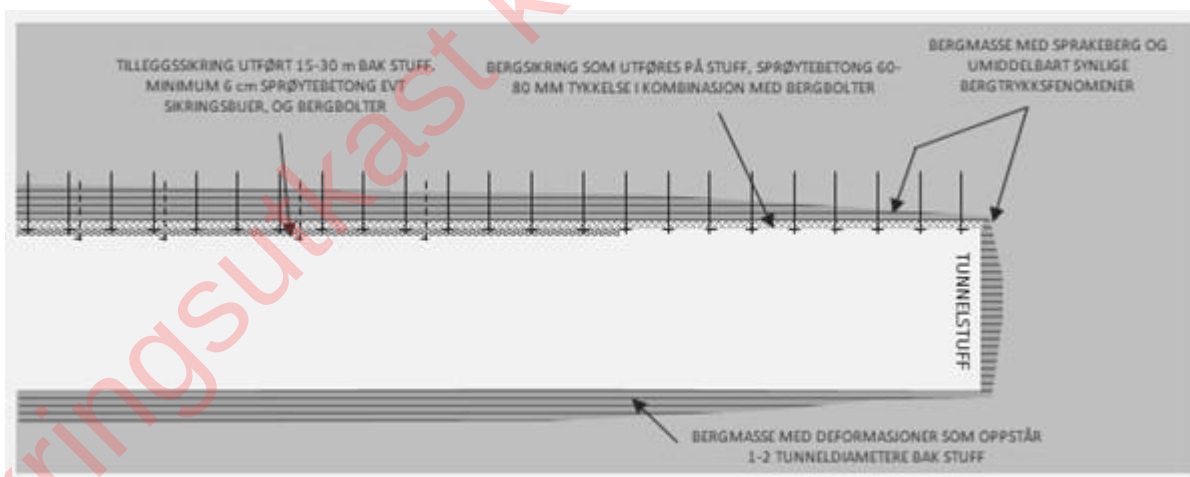
Figur 3-10: Effekter av høyt bergtrykk. Sprekkedannelse i stålfiberarmert sprøytebetong og deformerte bergbolter. Fra drivingen av Lærdalstunnelen. Foto: Eystein Grimstad.



Figur 3-11: Effekt av høyt bergtrykk kombinert med ugunstig sprekeorientering. Betydelig sprekkedannelse oppstått ca. 15-20 m bak stuff i stålfiberarmert sprøytebetong utført på stuff ved driving av en tunnel i hardt berg med tett oppsprekking med spenn ca. 13 m. Foto: Skanska Norge AS.



Figur 3-12: Effekt av bergtrykk i kombinasjon med tett oppsprekking. Betydelig deformasjoner og sprekke dannelse i armerte sikringsbuer og innstøpte bolter montert på stoff, forårsaket av bergspenningskonsentrasjoner og ugunstig subhorisontal sprekkeorientering. Deformasjonene nådde maksimum omfang ca. 8-10 m bak stoff ved driving av en tunnel med spenn ca. 13 m. Foto: Skanska Norge AS.



Figur 3-13: Prinsippskisse for sikring i berg påkjent av betydelige bergspenninger, der nødvendig umiddelbar stabilitetssikring utføres på stoff, og det komplette permanente sikringsbehovet tilpasses observerte deformasjoner og bygges enn viss avstand bak stoff.

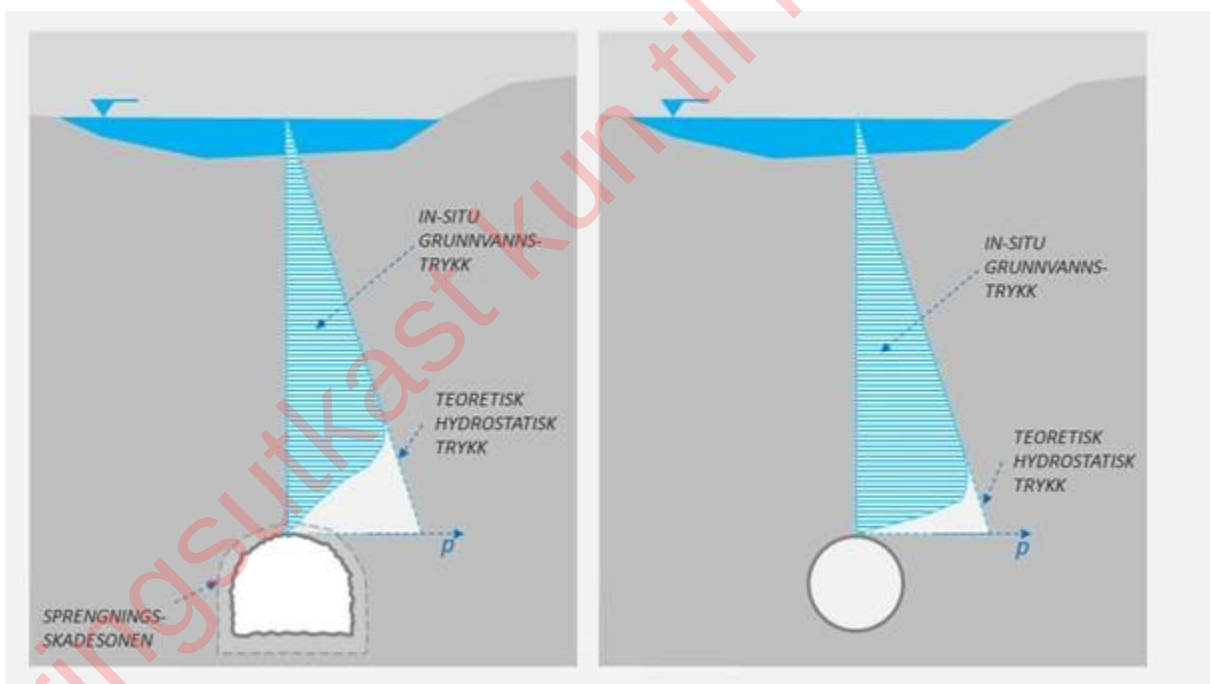
3.6 Laster induert av grunnvannstrykk

Intakt sprøytebetongmateriale av normalkvalitet til bergsikring som bygges i henhold til denne publikasjonen, har svært lav hydraulisk konduktivitet ($< 10^{-14}$ m/s) og er derfor praktisk sett

impermeabelt (Holter, 2015). En sprøytebetongkonstruksjon er derimot gjennomgått av riss og imperfeksjoner som oppstår av ulike årsaker. Rissvidden i sprøytebetong er som oftest stor nok til at vann kan lekke gjennom sprøytebetongen. En kledning av bergsikringssprøytebetong er ingen vanntetting og derfor en drenert konstruksjon. Sprøytebetong har imidlertid en noe tettende effekt siden det intakte betongmaterialet er tilnærmet vanntett. Omfanget av lekkasjer i bergkonturen vil derfor reduseres betydelig ved påføring av sprøytebetong, men ikke nok til at vannsikringstiltak kan ignoreres.

Siden vann kan lekke gjennom bergsikringskonstruksjonen vil bergmassen umiddelbart innenfor tunnelkonturen være drenert. Hvis bergrommet ligger under grunnvannstand, vil det være en trykkgradient med økende vanntrykk innover i bergmassen.

Dersom bergrommet eller tunnelen er drevet med sprenging, vil sprengingsskadesonen ha økt grad av oppsprekking og derved økt hydraulisk konduktivitet (Holter 2015, Nilsen og Holter 2020, Aas 2020). Dette gir en drenasjeeffekt av bergmassen nært konturen som påvirker vanntrykkssituasjonen i berget. Ved fullprofilboret tunnel har man ikke sprengningsskadesone. Derfor vil man ha tendens til å få et noe høyere vanntrykk i bergmassen i umiddelbar nærhet av bergkonturen i TBM-boret tunnel (Tveit, 2018). Vanntrykkssituasjonen rundt tunneler med drenert vanntetting er i illustrert i Figur 3-14. Det er svært sjelden at grunnvannstrykk utløser ras eller skaper alvorlige situasjoner i hardt berg, annet enn i krevende svakhetssoner (Palmstrøm og Stille 2011).



Figur 3-14: Prinsippskisse med grunnvannstrykk rundt sprengt tunnel og TBM boret tunnel

Vanntrykksinduserte ras har sjeldent forekommet i Norge (Palmstrøm og Stille, 2010).

Stabilitetsproblemene som har vært påtruffet i enkelte spesielt krevende svakhetssoner som eksempelvis under drivingen av Averøytunnelen (ref. Averøytunnelen, Bjørn Nilsen) og E6 Helltunnelen var sannsynligvis forårsaket av vanntrykk i vannmettede svakhetssoner.

Rennende vann og kraftige drypplekkasjer i bergkonturen kan skape utfordringer og representere begrensninger for den praktiske utførelsen av sprøytebetong

Ved store vannlekkasjer kan bergmassene forinjiseres slik at lekkasjene reduseres. Det kan også bores opp drenshull og settes inn slanger for føring av lekkasjevannet forbi sprøytebetonglaget. Dette bør fortrinnsvis gjøres før sprøytebetongen legges på. Sprøyting av dryppsoner uten dren, gir mye nedfall under sprøyting og fører som oftest til vanngjennomgang og utluting av sprøytebetongen gjennom lengre tid. Montering av dremskanaler for å føre lekkasjene ned til grøft, er også en mulig løsning, men det er en tidkrevende og kostbar metode. Det er til en viss grad mulig å redusere eller flytte vannlekkasjer ved å sprøyte dem inn.

3.7 Metoder for utforming og dimensjonering av bergsikring

3.7.1 Generelt

Tradisjonelt har sprøytebetong vært brukt på småfallen bergoverflate og i forvitrede partier. I de siste 30 år er det blitt mer vanlig også å benytte sprøytebetong til sikring av leirsoner og mot avskalling som følge av høye bergtrykk. Med avtagende kvalitet på bergmassen er det vanlig å legge på tykkere lag av sprøytebetong, og sette inn bolter med mindre innbyrdes avstand. I bergmasser av dårlig kvalitet benyttes armerte sprøytebetongbuer, beskrevet i punkt 3.4.

Dimensjonering av buer (tykkelse og avstand) i forhold til bergmassekvalitet er gitt i Figur 3-15. Bredden på sprøytede buer kan variere fra 0,5 m og oppover. Senteravstanden mellom buene varierer normalt mellom 1 og 2,5 m, avhengig av bergmassekvaliteten.

Ved bruk av fiberarmering bør betonglagets minstetykkelse være betydelig større enn fiberlengden. Generelt bør en unngå å sprøyte på lag med tykkelse mindre enn 5-6 cm, da betongen ellers lett blir lutet ut av vannlekkasjer, skjærbrudd oppstår lettere, og vi får en raskere uttørking som hindrer tilstrekkelig herding av betongen og nedsatt heft.

Ved avtagende kvalitet i bergmassen økes tykkelsen på sprøytebetonglaget til 25-30 cm, avhengig av hvor grensen går med hensyn til når det av økonomiske eller sikkerhetsmessige grunner lønner seg å gå over til sprøyting av armerte buer. Den detaljerte dimensjoneringen med beslutning om betongtykkelse og boltetetthet i buene på empirisk grunnlag, kan gjøres ved hjelp av Q-systemets sikringsdiagram som er vist i Figur 3-15. Bolteavstand i buen kan være den samme som for tilsvarende bergmassekvalitet i sprøytet område. Bakgrunn for bruk av dette sikringsdiagrammet er beskrevet i Grimstad og Barton (2014) og NGI (2015). Bolteavstanden i mellomrommet mellom buene bør være fleksibel og til en viss grad tilpasses avstanden mellom buene.

Bruk av armerte sprøytebetongbuer har tiltatt de siste årene, slik at terskelen for bruk av full utstøping har flyttet seg jevnt mot lavere bergmassekvaliteter. I motsetning til full utstøping har sprøytebetongbuer fordelen av samvirket med bergmassen gjennom boltene. Teknisk sett er det mulig å sikre selv de aller dårligste bergklassene med sprøytebetong og armerte buer. Det vil dermed være økonomi og tidsforbruk som bestemmer hvilken løsning som skal brukes.

Under driving skal bergmasseforholdene kartlegges på stuff før sprøytebetong legges på. I Norge er det vanlig å foreta bergmasseklassifisering etter Q-systemet. Det bør også foretas en detaljert registrering av ingeniørgeologiske forhold som ikke inngår direkte i parameterne i bergmasseklassifiseringen. Forhold som er spesielt viktige å registrere er de geometriske forholdene i bergets oppsprekking, leirmateriale på sprekkeplan, eventuelle utholdende og avløsende svakhetsplan, samt eventuelle indikasjoner på høye bergspenninger. På dette grunnlaget fastsettes den nødvendige sikringskategorien, samt detaljer i konfigurasjon og utførelse. Sikringsnivået er som

oftest prognostisert på forhånd. Kartlegging under driving tjener som grunnlag for endelig fastsetting av bergsikringen.

Installert sikring skal overvåkes både på kort og lang tidshorizont, for å vurdere om den fungerer som forventet. Denne overvåkningen eller observasjonen kan omfatte visuell observasjon, måling av deformasjoner, laster på utført sikring, vannlekkasjer etc. Hvis overvåkningen indikerer avvik på data fra beslutningsgrunnlaget, uønskede deformasjoner, skader på installert sikring, eller andre avvik, skal det installeres nødvendig tilleggssikring. Denne skal også overvåkes og observeres.

3.7.2 Bestemmelse av bergmassens kvalitet for bestemmelse av sikring

I Norge benyttes i dag Q-systemet (Barton et al 1974, Grimstad og Barton 2014, NGI 2022) til klassifisering av bergmasser under bygging av underjordsanlegg. Q-systemet gir anbefalinger om sikringskategorier for ulike bergmasseklasser. Sammenhengen mellom bergmasseklasse og sikringskategori er empirisk og basert på registrering av svært mange berganlegg siden Q-systemet ble publisert første gang i 1974. Siden Q-systemets anbefalinger om bergsikring er empirisk basert, vil denne metoden av natur være konservativ og eksempelvis ikke alltid ta hensyn til nyutvikling innen bergsikringsteknologi. Det er også nødvendig å anvende Q-systemet på riktig måte, ved at variasjonsområdet til de ulike parameterne vurderes. Den mest ugunstige forekommende geometrien på sprekkeseett skal legges til grunn for kalkulasjon av Q-verdien. Noen byggherrer fastsetter egne sikringsklasser og krav til minimumstykkelse av sprøytebetong ut ifra deres egne levetids- og funksjonskrav som alternativ til Q-systemets sikringskategorier.

I tillegg til registrering av bergmasseforhold etter Q-systemet så anbefales det å foreta bergmassevurderinger som omfatter kartlegging av sprekkeseettens og svakhetssoners geometriske utstrekning, detaljerte ingeniørgeologiske og bergmekaniske registreringer. Dette kan omfatte analyser av sleppe- og svakhetssonemateriale, samt trykkfasthetsmålinger i spesielle tilfeller. Det bør også foretas en vurdering av bergspenningsforholdene og om disse avviker fra det som er typisk normalt og gunstig. I spesielle tilfeller der det kan forventes ugunstige bergspenningsforhold, bør det utføres bergspenningsmålinger.

Bergmassevurdering etter Q-systemet består i en registrering av 6 bergtekniske parametere. Disse er:

- RQD: Oppsprekkingstall
- J_n : Sprekkeseett-tall
- J_r : Sprekkeruhetstall
- J_a : Sprekkefyllingstall
- J_w : Sprekkevanntall
- SRF: Spenningsreduksjonsfaktor

Hver av parameterne gis en tall verdi. Q-verdien bergetes etter følgende likning:

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

De 6 parameterne i Q-systemer representerer 3 grunnleggende egenskaper som har betydning for bergmassens stabilitet ved bygging av bergrom.

$$\frac{RQD}{J_n} = \text{oppsprekkingsgrad}$$

$$\frac{J_r}{J_a} = \text{bergmassens minimale skjærfasthet}$$

$$\frac{J_w}{SRF} = \text{aktiv spenning}$$

Sammenhengen mellom Q-verdier og anbefalt sikring, som gis detaljert i tabeller, er vist i Figur 3-15.

Den til enhver tid "normale" sikringsmengden i forhold til de ulike Q-verdier har endret seg betydelig siden Q-systemet ble publisert første gangen i 1974. Den ekvivalente dimensjonen er gitt ved at den virkelige dimensjonen (spennvidden eller høyden av bergrommet) divideres med ESR. ESR er et tall mellom 0,5 og 3 som sier noe om bergrommets bruksområde og dermed krav til sikkerhet.

Tabell 3-2: ESR for permanent sikring i de vanligste bruksområdene

Bruksområde	ESR
Midlertidige gruverom etc.	3-5
Vertikale sjakter, hhv. rektangulære og sirkulære.	2,0-2,5
Vanntunneler, permanente gruverom, tverrslag etc.	1,6
Lagerhaller, lite trafikkerte vegtunneler, atkomsttunneler etc.	1,3
Kraftstasjonshaller, sterkt trafikkerte veg- og jernbanetunneler, tilfluktsrom etc.	1,0
Kjernekraftverk, jernbanestasjoner, sportshaller etc.	0,8
Prosjekter med spesielle krav *	0,5

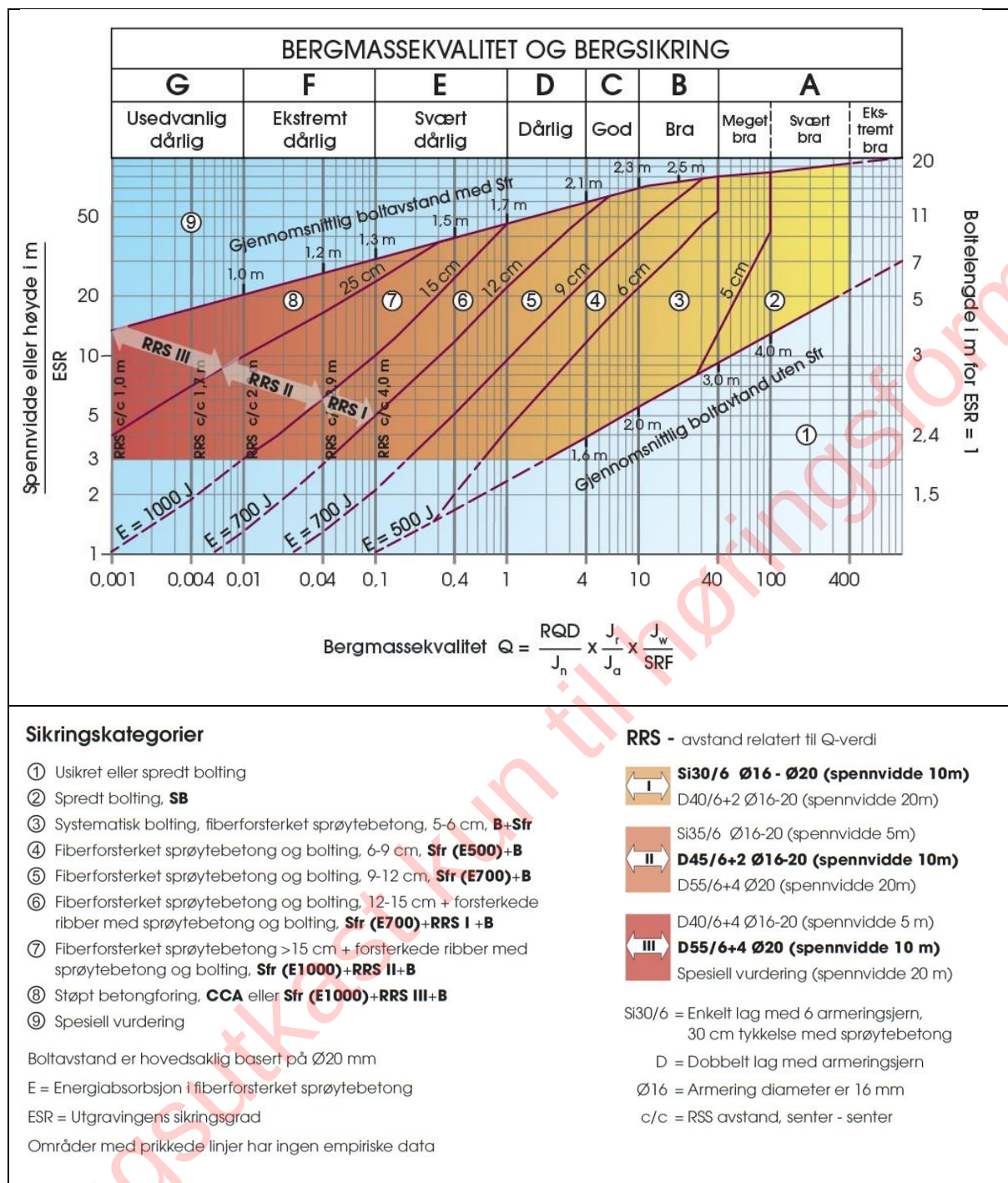
*For noen prosjekter er det satt helt spesielle krav til lang levetid, samtidig som det ikke er mulig å utføre inspeksjon eller vedlikehold uten ekstraordinært store omkostninger.

Bruk av klassifikasjonssystemer er vanlig i de aller fleste anlegg og prosjekter. Det er de siste årene blitt en mer kritisk holdning til kvaliteten og levetiden til de utførte arbeidene. Dette skaper behov for kvalitetskontroll gjennom en grundigere dokumentasjon av bergmassenes kvalitet, samt utført sikring.

Videre fører kravene til HMS i anleggsfasen i for eksempel vanntunneler til at arbeidssikringen ofte blir tyngre enn kravet til permanent sikring i middels til gode bergmasser (høy Q-verdi). For de laveste Q-verdiene er det i vanntunneler nødvendig med tung sikring for å hindre blokkeringsras.

I Figur 3-15 er det oppgitt både 20 mm og 25 mm diameter på bergboltene. Under normale forhold har det vært vanlig å bruke 20 mm bolter i Norge. Men i områder med skvisning eller spesielt sterkt oppsprukket bergmasse, hvor boltene blir sterkt belastet, kan det være nødvendig å gå opp til 25 mm diameter for å unngå brudd i boltene.

I de dårligste bergmassekvalitetene kan det være aktuelt å bruke selvborende ankere. Ved lave Q-verdier og ugunstig sprekkegeometri kan det være aktuelt å øke boltelengdene.



Figur 3-15: Sammenheng mellom bergmassekvalitet, Q og bergsikring. Dimensjonering av armerte sprøytebetongbuer er tatt med i sikringsdiagrammet (NGI, 2022).

3.7.3 Sprøyting i svakhetssoner

Mindre leirsoner kan sikres forsvarlig med fiberarmert sprøytebetong kombinert med bolter og bånd. Sprøytebetongen danner da en bru armert med bånd over leirsonen, forankret med bolter i intakt bergmasse på begge sider av sonen. Det bør da også vurderes å øke betongens seighet ved f.eks. å øke fibermengden. Særlig i soner som går i spiss vinkel til tunnelaksen og dermed krever et stort antall armert buer, er denne metoden fortsatt aktuell. Hvis leirsonen er bredere enn ca. 1 m eller går i spiss vinkel til tunnelen bør bergsikringen dimensjoneres spesielt.

Leirsoner bredere enn 0,5 m og med innhold av svelleleire kan ikke sikres med fjellbånd forankret i sidefjellet. Da må det sikres med stangarmerte buer av sprøytebetong, eller hvelv utstøpt mot forskaling. I slike tilfeller må svelletrykket måles. Det er viktig her å huske at svelletrykket målt i laboratorium normalt er ca. 5 ganger så høyt som svelletrykket i bergmassen i tunnelen. Store utfall fra hengen, som må erstattes med betong fører noen ganger til at utstøping mot forskaling er mer økonomisk enn sprøyting av armerte buer. Dersom der er store laster fra bergmassene må en også støpe eller sprøyte sålen for å unngå kollaps i støpen eller brudd i den armerte buen. En sluttet ring tåler mange ganger større last enn en støp eller bue som ender mot sålen.

3.8 Dokumentasjon og rapportering

Både bergforhold og utført bergsikring skal rapporteres. Bergforhold registreres på stuff etter nyskutt salve. Kartlegging av bergforhold skal omfatte alle ingeniørgeologiske og bergmekaniske parametere og forhold som er av betydning for sikringsbehovet. Disse omfatter:

- Bergartstype
- Detaljer om bergets oppsprekking
- Opplysninger om svakhetssoner, orientering og mektighet
- Bergarter med lav mekanisk styrke
- Vannlekkasjeforhold
- Forekomst av leirmineraler med spesielt fokus på svellende mineraler
- Ytringsformer av bergspenninger

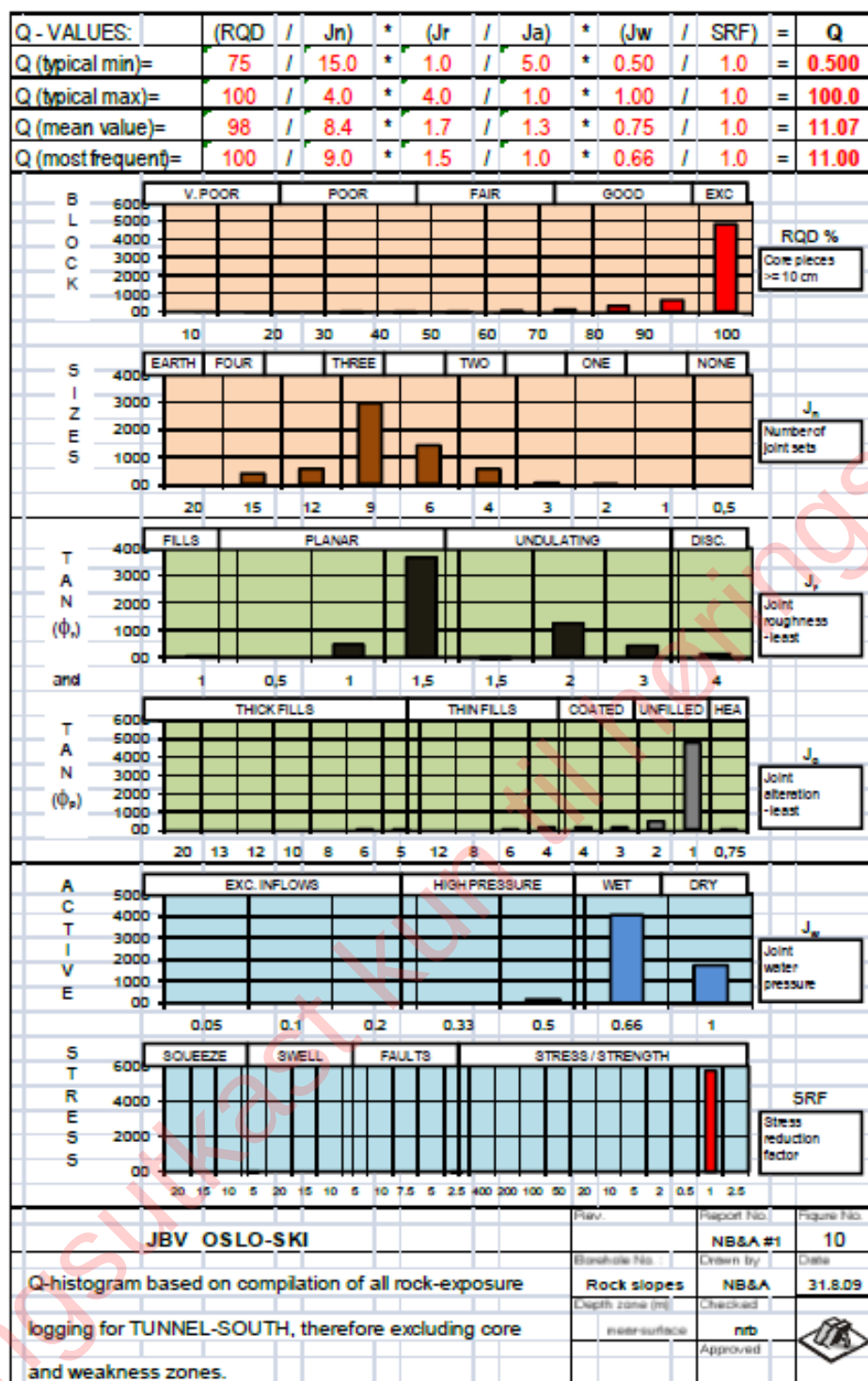
Parameterne i bergklassifiseringssystemet skal registreres og føres i rapportskjema. Det anbefales å registrere variasjonsområdet til de ulike parameterne, slik anbefalt av Grimstad og Barton (Grimstad og Barton, 2014). Eksempel på kartleggingsskjema for bergmasse parametere etter Q-systemet er vist i Figur 3-16.

3.8.1 Dokumentasjon av sprøytebetongtykkelse

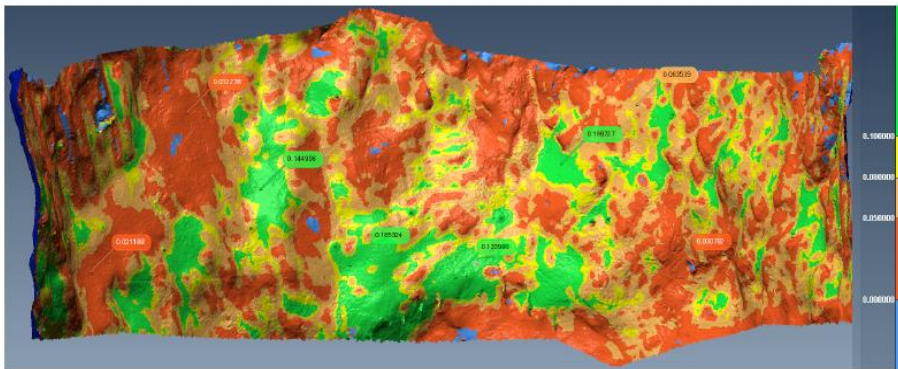
Den utførte tykkelsen av sprøytebetongen skal dokumenteres ved målinger. Ved beregning av mengden sprøytebetong som vil gå med basert på arealet av bergoverflate som skal sikres, vil det alltid være usikkerhet knyttet til det virkelige arealet, inkludert ujevnheter og ruhet. Prelletap for en god praktisk utførelse er på ca. 5 %. Overflateruheten kan variere betydelig, og er avhengig av bergartstype og sprengningsresultat. Den reelle ruhetsfaktorer ligger ofte på ca. 1,4-1,5 for bergflate, og noe lavere når man sprøyter på en eksisterende sprøytebetongflate.

Målinger av oppnådd tykkelse kan foretas ved direkte målinger i borhull med en viss tetthet og frekvens. Se også punkt 1.5.3.

Moderne skanningutrustning og programvare muliggjør en langt mer presis og fullstendig dokumentasjon av tykkelse på sprøytebetong. Ved bruk av farger kan intervaller med ulike tykkelser visualiseres meget tydelig. Grønne felter kan tilordnes akseptable tykkelse. Rød og blå farger kan brukes til hhv. for tynn eller for tykk sprøytebetong. Et eksempel på dette er vist i Figur 3-17.

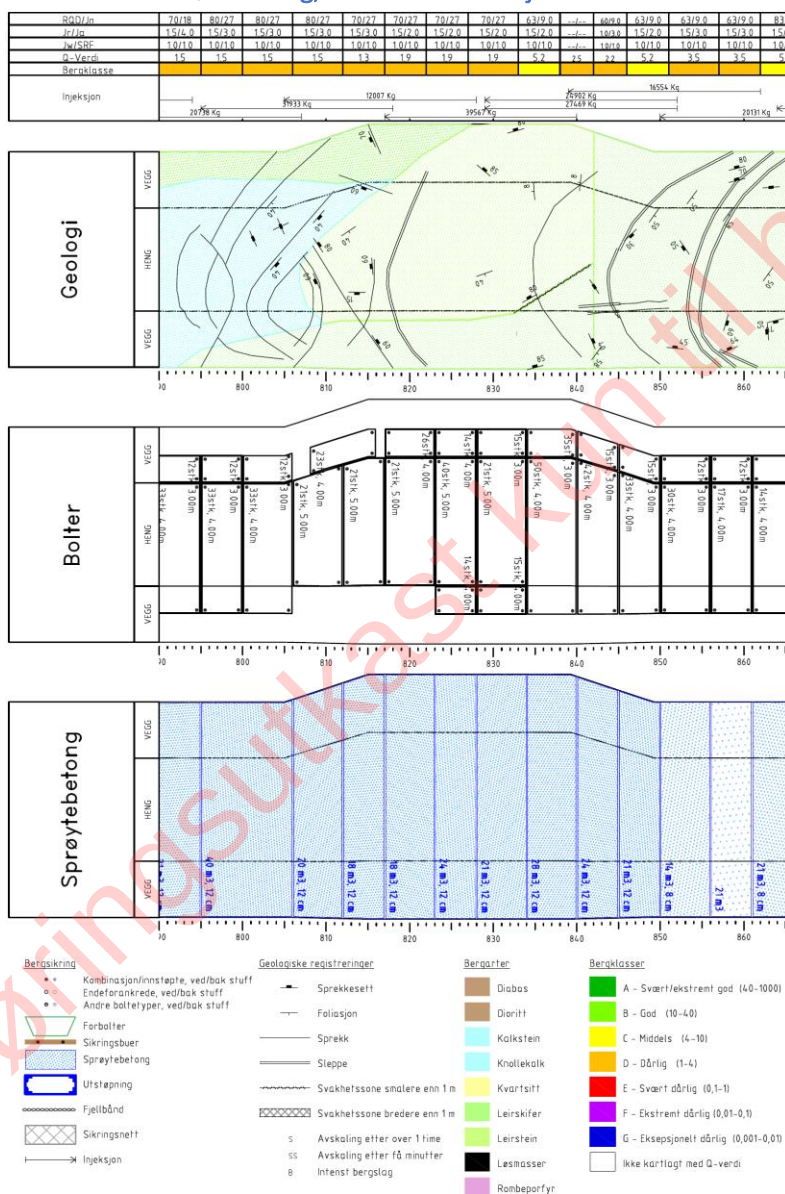


Figur 3-16: Registrering av parametere etter Q-systemet og angivelse av variasjonsområde for hver parameter, og variasjonsområde for Q-verdien



Figur 3-17: Tykkelse av sprøytebetong målt ved skanning før og etter sprøyting. Rød farge viser tynnere enn planlagt, og blått tykkere enn planlagt, mens grønn farge viser planlagt tykkelse.

3.8.2 Utført sikring, sluttokumentasjon



Figur 3-18: Sammenstilling i Novapoint med dokumentasjon av bergmassekvalitet, geologi og bergsikring

3.9 Referanser til kapittel 3

- [1] Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. (1974) Analysis of Rock Mass Quality and Support Practice in Tunnelling, and a Guide for estimating Support Requirements. NGI - rapport 54206 Oslo, s.1-74
- [2] Bieniawski, Z.T. (1973-74) Engineering Classification of Jointed Rock Masses. The Civil Engineer in South Africa, 1973, Des., s.239-254
- [3] Grimstad E & Barton (2014) Q-system. An Illustrated Guide Following Forty Years Tunnelling, www.nickbarton.com.
- [4] Grimstad, E., Tunbridge, L., Bhasin R., Aarset, A. Måling av krefter i armerte sprøytebetongbuer. Bergmekanikkdagen, november 2008
- [5] Hahn, T. (1978) Sprutbetongens vidhäftning mot ulike bergtyper. SveBeFo Bergmekanikkdag 1978.
- [6] Holter, K.G., Aagard, B., Johansen, E.D. (1995) Undersjøisk tunnel til Bjørøy: Bergmekaniske vurderinger og teknikker for injeksjon ved kryssing av sandstone. Bergmekanikkdagen, 1995, Tekna, Oslo
- [7] Holter, K.G. (2015). Properties of sprayed concrete linings. PhD-avhandling, NTNU 2015
- [8] Høyen, A.H. (2018) Applicability of reinforced ribs of sprayed concrete in sections of poor quality and swelling rock mass. PhD thesis NTNU, Trondheim
- [9] International Society for Rock Mechanics ISRM (1979) Suggested method for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. <https://isrm.net>
- [10] Myren, S.A og Bjøntegaard, Ø. 2014. Fiber reinforced sprayed concrete: mechanical properties and pore structure characteristics. In Proceeding of 7th international symposium on sprayed concrete. Sandefjord, Tekna/Norwegian Concrete association
- [11] Nilsen, E (2019) Groundwater Pressure on a Partially drained tunnel Lining. Simulation of the Rock Joint Water Pressure behind the Sprayed Concrete Lining in the Gevingåsen railway Tunnel, Norway, Using the Finite Element and Distinct element Methods. Master Thesis, NTNU, Department of Geoscience and Petroleum, Trondheim.
- [12] Nilsen, E og Holter K.G. (2020) Distinct element modelling of the water pressure on an undrained tunnel lining. In: Proceedings of the ISRM International Symposium Eurock 2020 – Hard Rock Engineering, Trondheim
- [13] NGI (2015) Bruk av Q-systemet, håndbok. Norges Geotekniske Institutt, 2015
- [14] NGI (2020) Bergsikring etter Q-systemet i jernbanetunneler. NGI-rapport 20180273-R01, NGI, Oslo
- [15] Norsk Bergmekanikkgruppe NBG (2011) Veileder for bruk av Eurocode 7 til bergteknisk prosjektering. Versjon 1, november 2011, Norsk Bergmekanikkgruppe, www.bergmekanikk.no
- [16] Palmstrøm A. og Stille, H. (2015) Rock Engineering in Underground Construction (Bok, ref forlag)
- [17] Tveit, M. (2018) Hydraulisk konduktivitet i skadesonen rundt sprengt og TBM boret tunnel. Feltnmålinger fra Ulrikentunnelen. Masteroppgave, NTNU, Institutt for Geologi og Bergteknikk, Trondheim
- [18] Aas, F.N. (2020) Feltnmålinger av hydrauliske egenskaper rundt sprengte tunneler. Hydrauliske, ingeniørgeologiske og bergmekaniske undersøkelser i adkomsttunnelene til Svorkmo og Bogna kraftverk, for vurdering av delvis drenerte tunnelkledninger: Masteroppgave, NTNU/Institutt for Geovitenskap og Petroleum, Trondheim

4 Veiledning til spesifikasjon av sprøytebetong

4.1 Generelt

4.1.1 Ansvar

De betonegenskapene som inngår i bestillingen av basisbetong for sprøytebetong har betongprodusenten ansvar for, mens utførelsen fram til det ferdige produktet har den utførende av sprøytebetong ansvaret for. Det er naturlig at sprøyteentreprenøren har ønskemål mht. basisbetongens bruksegenskaper utover de grunnleggende krav som er stilt fra byggherre. Samarbeid mellom betongprodusent og sprøyteentreprenør om betongsammensetning for basisbetong bør derfor som hovedregel finne sted.

Spesifikasjonen av sprøytebetong fra byggherre vil normalt inneholde energiabsorpsjonsklasse, dvs. krav til minimum energiabsorpsjon. Spesifikasjonen for fiberarmert sprøytebetong vil normalt ikke inneholde krav om bruk av en spesifikk fiber. Det er entreprenørens frihet å velge fiberprodukt og fiberdosering for å oppfylle det gitte kravet til energiabsorpsjon.

4.1.2 Spesifikasjon

Spesifikasjon av lavkarbonbetong er ikke uvanlig i dag for konstruksjonsbetong. Klassegrensene for lavkarbonbetong er beskrevet i NB37. Sprøytebetong benytter bare sand som tilslag og har derfor et betydelig større bindemiddelvolum enn konstruksjonsbetong, og vil dermed ha et større karbonavtrykk. Klassegrensene for lavkarbon konstruksjonsbetong er derfor ikke tiltenkt sprøytebetong. Lavkarbon sprøytebetong er definert i NB37, sammen med andre spesialbetonger. For å redusere klimagassutslippene fra sprøytebetong kan man bruke de samme virkemidlene som for konstruksjonsbetong.

4.2 Delmaterialer

Valg av delmaterialer er hovedsakelig basert på en teknisk/økonomisk vurdering. Absolutte materialkrav som ikke er gjenstand for teknisk/økonomisk vurdering er angitt i spesifikasjonen. Målsetning ved valg av delmaterialer er å oppnå problemfri utførelse med god pumpbarhet, god komprimerbarhet, gode heftegenskaper og lavt prelletap. Ekstra kostnader ved valg av spesialprodukter (tilslag, sement og tilsetningsstoffer) kan fort tjenes inn ved oppnåelse av problemfri utførelse.

4.2.1 Sement

Bindemiddelmengden i våtsprøytet betong ligger typisk i området 450-500 kg/m³. Betongens slutfasthet er avhengig av valg av sementtype og bindemiddelets sammensetning for øvrig.

4.2.2 Tilsetningsmaterialer av type II

Tilsetningsmaterialer av type II (silikastøv, flygeaske, slagg, og ev. nye pozzolane materialer) brukes i større eller mindre grad i all sprøytebetong. Det er en utvikling mot økt bruk av tilsetningsmaterialer for å kunne produsere betong med redusert karbonavtrykk.

Økt bruk av type II tilsetningsmaterialer påvirker også de tekniske egenskapene til sprøytebetong. For eksempel vil et høyt innhold av flygeaske forskyve fasthetsutviklingen i tid slik at fastheten frem til 28 døgn blir redusert mens fasthetstilveksten etter 28 døgn øker.

Når det gjelder tidligfastheten er det sement (bindemiddel), tilsetningsstoff, samt akselerator som i kombinasjon styrer denne, og ikke sementtypen alene. Sementer med store mengder flygeaske eller slagg vil i utgangspunktet gi en sprøytebetong med lavere tidligfasthet. Se også punkt 4.3.3.

I sprøytebetong er silikastøv et svært nyttig delmateriale som både forbedrer ferske egenskaper og bestandighetsegenskaper. Silikastøv har stor finhet med partikkelstørrelse ca. 1/100 av sementpartikler. Silikastøvet bedrer sprøytebetongens pumpbarhet og reduserer slitasjen på pumpe og slanger, samt reduserer faren for separasjon og propp i slangen ved pumping. Silikastøvet gjør betongen også mer klebrig, noe som er en fordel ved sprøyting fordi heftfastheten til underlag og fiber bedres, samtidig som prelletapet reduseres.

I herdet betong bidrar silikastøvet både til fasthet og tetthet, og sammen med økt heft bedrer dette bestandigheten. Den økte tettheten og heftfastheten er positiv for betongens frostbestandighet, kloridmotstand, motstand mot sulfatangrep, alkalireaksjoner etc.

4.2.3 Tilslag

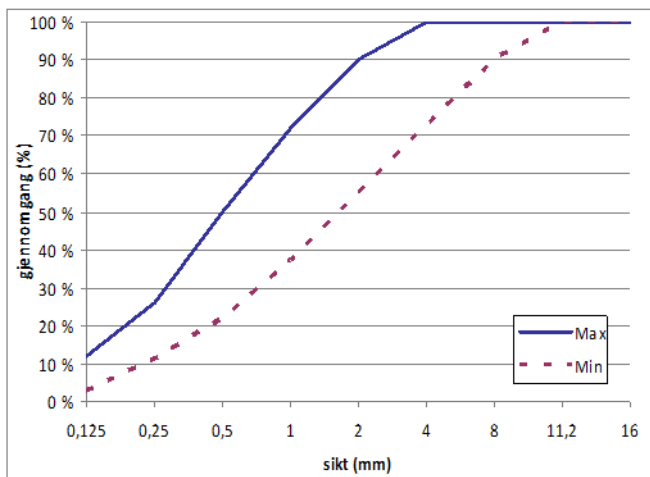
Som for all annen betong er tilslaget av vesentlig betydning også for sprøytebetongens egenskaper, både i fersk og herdet tilstand. Det er viktig at korngradering og andre karakteristika har små variasjoner.

Av spesiell betydning er tilslagets finstoff, slammengde, mineralogi og partikkelfasong. Dette er egenskaper som ikke undersøkes i en sikteanalyse.

Tabell 4-1 og Figur 4-1 gir anbefalte grenseverdier for korngradering.

Tabell 4-1: Tilslag – anbefalte grenseverdier (gjennomgang i %)

Sikt (mm)	Anbefalte grenseverdier	
	MIN	MAX
0,125	2,5	12,0
0,25	11,0	26,0
0,5	22,0	50,0
1	37,0	72,0
2	55,0	90,0
4	73,0	100,0
8	90,0	100,0
11,2	100,0	100,0
16	100,0	100,0



Figur 4-1: Tilslag – siktekurve. Anbefalte grenseverdier

Grove korn vil prelle av ved sprøyting mot hardt underlag (ved oppstart sprøyting), eller slå som prosjektiler inn i allerede påført sprøytebetong, og etterlate kratere. Ved sikting, lagring og håndtering av tilslag bør det gjennomføres tiltak som hindrer forurensning eller innblanding av grove materialer. Overkorn vil også kunne kile seg fast og blokkere slanger og munnstykke. Rengjøring etter slike blokkeringer vil være tidkrevende. Tilslaget bør være velgradert.

Frem til i dag har det vært normalt å foretrekke natursand fremfor knust sand. Det har sammenheng med at natursand typisk har hatt en mer avrundet kornform. Dette er fordelaktig ved pumping og det bidrar til et lavere vannbehov og bedre flyt i betongen, enn om kornformen er mer flisig. En knust sand som restprodukt fra pukkproduksjon, uten at den er foredlet videre, kjennetegnes i tillegg til flisige korn også med høyt finstoffinnhold, som bidrar til ytterligere økt vannbehov for betongen.

Det er imidlertid de senere årene flere pukkverk som har optimalisert produksjonen av knust sand, der kornform er vesentlig forbedret ved hjelp av VSI knuser (kubisator) og tilstrekkelig mengde av finstoffet er fjernet ved hjelp av vindsikt eller vasking. Dette har ført til at det i dag er knust sand i markedet med svært store forskjeller i bruksegenskaper, helt fra produkter som er fullstendig uegnet til betongproduksjon til produkter som vil være vel så godt egnet som en god natursand. Knust tilslag har typisk bedre mekaniske egenskaper enn naturtilslag.

Alkalireaktivt tilslag kan skape alkalireaksjoner i betongen, se NB21. Ved bruk av alkalireaktivt tilslag, må man påse at mengde alkalier (bidrag fra sement, silikastøv, tilsetningsstoffer og akselerator) ikke overstiger de til enhver tid gjeldende grenser angitt av NB21 Vedlegg C. Dagens sementmarked består av flere typer blandingssementer og flere vil komme. Grenseverdien for alkaliinnhold er forskjellig for ulike sementer og bindemiddelkombinasjoner.

4.2.4 Tilsetningsstoffer

Følgende tilsetningsstoffer er aktuelle for bruk i sprøytebetong:

- superplastiserende tilsetningsstoff
- luftinnførende tilsetningsstoff
- sprøytebetongretarder
- heftforbedrende tilsetningsstoff (interncur)
- alkalifrie akseleratorer

På grunn av finkornet sammensetning har sprøytebetong normalt høyere vannbehov enn konstruksjonsbetong. Superplastiserende tilsetningsstoff, og til en viss grad L-stoff, er derfor avgjørende for den ferske betongens egenskaper som flyt/konsistens og pumpbarhet. P-stoff (og enkelte SP-stoffer) vil ved høye doseringer ha negativ effekt på sprøytebetongens konsistens over tid (høyt synktap, spesielt ved lang transporttid) og retardere tidligfasthet. Normalt bør bruk av P-stoff (lignosulfonat) i sprøytebetong unngås.

4.2.4.1 *Superplastiserende tilsetningsstoff (SP-stoff)*

Dagens SP-stoff er nesten utelukkende basert på moderne polymerkjemi. Disse SP-stoffene gir også god dispergering av sement.

Det finnes mange varianter av SP-stoff basert på polymerer. Det er også forskjell på tørrstoffinnhold i forskjellige SP-stoffer. Noen gir god dispergering i tidlig fase, mens andre adsorberes saktere på sementoverflaten. Dette påvirker igjen hvor lang blandetid de forskjellige SP-stoff trenger. Dersom man benytter et SP-stoff som absorberes tregt på sementoverflaten og doserer dette for å gi en akseptabel konsistens på blanderiet, kan det oppstå fullstendig separasjon under transport. Det er viktig å ha kontroll på alle disse parameterne, og det gjelder både blandeoperatør og betongbilsjåfør. Etterdosering av SP-stoff kan gjøres med annet produkt enn det som man benytter på blanderiet.

4.2.4.2 *Luftinnførende tilsetningsstoff (L-stoff)*

L-stoff gir bedre smidighet, god pumpbarhet ved redusert synkmål, dermed bedre stabilitet og mykere pulsering ved pumping. Disse effektene medfører at SP-doseringen normalt kan reduseres noe.

L-stoff øker luftinnholdet og omdanner grove luftporer til finfordelte mikroporer i støpt betong. Økt luftinnhold reduserer generelt trykkfastheten i støpte terninger. Luftinnholdet kan øke eller avta under transport. Se produktspesifikasjonen punkt 1.2.4 og 1.2.5.

Under sprøyting blir betongen blandet med trykkluft (forstøvet) i sprøytemunnstykket, og en stor andel av luftporene forsvinner før, og idet, betongen treffer berget. L-stoff har derfor liten eller ingen effekt på fastheten i ferdig sprøytet betong.

4.2.4.3 *Sprøytebetongretarder*

Sprøytebetongretarder er en egen type tilsetningsstoff og er basert på en annen kjemi enn retarder for vanlig konstruksjonsbetong; R-stoff. Tidligere var R-stoff forbundet med fare for dårlig tildligfasthet i sprøytebetong, men dette har vist seg å ikke være konsekvent og er derfor ikke lenger forbundet med like stor fare. Sannsynligvis har dette med kjemien i akseleratorene å gjøre. I likhet med sprøytebetongretarder gir også R-stoff forlenget åpentid. Det finnes mange typer retardere på markedet, og det er viktig å verifisere at aktuell retarder er mulig å kombinere med aktuell sprøyteakselerator.

Sprøytebetongretarder tilsettes under betongblanding og utsetter sementreaksjon (hydratasjon) med en varighet avhengig av dosering. Sementreaksjonen aktiveres igjen ved tilsetting av akselerator i sprøyteprosessen. Sprøytebetongen blir dermed ikke lenger «for gammel», og rengjøring av utstyr ved pauser i betongleveringen er ikke nødvendig (forutsatt riktig dosering). Bruk av sprøytebetongretarder er meget aktuelt i forbindelse med bruk av hurtigherdende sementer.

Ved forhold som gjør at tiden fra blanding til sprøyting overskrider 1 time eller ved høy ferskbetongtemperatur og ved usikkerhet om sprøytetidspunkt, bør man vurdere bruk av sprøytebetongretarder. Et eksempel kan være ved lange transporttider. Ved uventet driftsavbrudd, kan åpentid forlenges ved ytterligere tilsetning av sprøyetbetongretarder, forutsatt at det allerede er tilsatt slik retarder på blanderiet. Etterdosering av sprøytebetongretarder bør likevel unngås, da det er vanskelig å forutse effektene fullt ut.

4.2.4.4 Heftforbedrende tilsetningsstoff (interncur)

Bruk av heftforbedrende tilsetningsstoff (tidligere benevnt internherdner/interncur) er et herdetiltak som reduserer avdamping fra sprøytebetongen og samtidig bidrar til god heft mot berget.

Avdamping (mot tunnelrommet) skaper fuktgradienter og uttørkingssvinn i betongen. Dette kan gi svinnriss (og «kantreising») og tap av heft. Ettervanning er et alternativ, men er arbeidskrevende og vanskelig å få utført i praksis. Bruk av sprøytbar herdemembran på overflaten er et annet alternativ, men frarådes da det medfører fare for innånding av herdemembran, samt at den må fjernes før ev. ny sprøytebetong kan påføres. Heftforbedrende tilsetningsstoff tilsettes allerede i blandeprosessen. Dette reduserer behovet for senere påføring av herdemembran eller ettervanning.

4.2.4.5 Pumpeforbedrende tilsetningsstoff

Pumpeforbedrende tilsetningsstoff gjør betongen smidig og klebrig, og gir betongen også en bedre evne til å holde på vannet slik at det ikke presses ut ved pumping.

Pumpeforbedrende tilsetningsstoff er i realiteten det samme som stabiliserende tilsetningsstoff til konstruksjonsbetong. Stoffet tilsettes i blandeprosessen og kan benyttes f.eks. når betongen skal pumpes langt eller ved høye pumpetrykk. Alternativer til pumpeforbedrende tilsetningsstoff er økt finstoffinnhold; sement, silikastøv, flygeaske og/eller filler.

4.2.4.6 Akselerator

Akselerator benyttes i sprøytebetong for å:

- oppnå hurtig avbinding og tidligfasthet
- kunne bygge større lagtykkelser

Temperaturen for basisbetong, akselerator og trykkluft er viktige for at betongen skal klebe til underlaget, størkingen starte og nedfall minimeres. Effekten av sprøytebetongakselerator er temperaturavhengig. Høyere akseleratortemperatur gir lavere viskositet (mer tyntflytende) og dermed bedre innblanding som igjen gir bedre effekt.

Produsenter av akseleratorer oppgir hvor stor tørrstoffandel det er i akseleratoren, gitt som %. Dette er basert på vekt-%, og det som ikke er tørrstoff er vann. Dette vanninnholdet skal tas med i beregning av masseforhold i ferdig sprøytet betong.

Regneeksempel:

Under sprøyting av et lass på 8 m³ betong måles forbruket av akselerator til 260 liter.

- Mengde akselerator per m³: 260 liter / 8 m³ = 32,5 liter/m³.

Akseleratorens densitet og tørrstoff på vektbasis er oppgitt av produsent: 1,40 kg/l og 48,0 %.

- Forbruk av akselerator i kg: 32,5 l/m³ * 1,40 kg/l = 45,5 kg/m³.

- *Vannbidrag fra akselerator: Vanninnhold i akselerator er $100 - 48 = 52 \%$. $45,5 \text{ kg} * 0,52 = 23,7$ liter vann/m³.*

Sementinnhold i betongen er oppgitt til å være 440 kg/m^3 .

- *Akseleratordosering er da: $45,5 \text{ kg/m}^3 / 440 \text{ kg/m}^3 = 0,1034 * 100 \% \approx 10,3 \%$.*

Alkalifri akselerator gjør sprøytebetong plastisk i sprøytefasen og gir følgelig god innstøping av armering og annet innstøpningsgods. Effekt av alkalifri akselerator må sees i sammenheng med dosering og med valgt type SP-stoff, som kan ha innvirkning på betongens tidligfasthetsutvikling.

Dosering av akselerator er i mange tilfeller enkelt å måle manuelt på sprøyterigger som har IBC-containerer som lagringstank. På en IBC-container tilsvarer nivå-forskjell på 1 cm i tanken 10,8 liter. Det er god rutine og måle akseleratorforbruk (i antall liter) pr. betonglass. Sprøyterigger er ofte utstyrt med «flow-målere» for både akselerator og betong og man kan få ut en %-dosering fra dette systemet. Dette fordrer imidlertid at alle data som er lagt inn i systemet er korrekt og at man klarer å måle flow av akselerator og betong som er korrekt.

Medgått mengde akselerator ligger typisk i området $25\text{--}30 \text{ l/m}^3$. Dette tallet er til å stole på, forutsatt at dette er manuelt målt på IBC-container. Det er også slik at lokale forhold, sprøyteutstyr/utførelse, betongresept, type akselerator, o.a. vil kunne påvirke herdeutviklingen. Det kan derfor være at mengde akselerator som medgår vil kunne variere og derfor avvike fra det typiske området.

Riktig doseringsnivå av alkalifri akselerator gir direkte utslag på varmeutvikling etter sprøyting. For å finne rett akseleratordosering iht. berg- og temperaturforhold, samt vannlekkasjer, er temperaturutvikling en god indikator for fasthetsutvikling. Det kan være hensiktsmessig å sprøyte et prøvefelt i vegg og måle temperaturen i dette feltet. Dersom temperaturen i sprøytebetongen ikke stiger i løpet av 2-5 minutter er dosering av akselerator for lav.

Fasthetsutviklingen blir bedre med økende temperatur i fersk betong, men høy temperatur er også forbundet med økt kostnad samt redusert åpentid.

Vannglassakselerator, basert på Na-silikat, ble tidligere utstrakt brukt som akselerator til sprøytebetong i Norge. Vannglass har imidlertid noen begrensninger i forhold til fasthetsutvikling og mulighet for å sprøyte ønsket tykkelse. I tillegg virker vannglass slik at sprøytebetongen ikke blir like plastisk som med alkalifri akselerator, og sprøytebetong som sprøytes med vannglass kan lettere bygge seg på armeringsnett o.l. og danne ugunstige tomrom/«sprøyteskygger» bak.

Vannglass gir ofte jevnere og penere overflater og kan med fordel benyttes til brannbeskyttelse av vann- og frostsikring. I disse tilfellene vil dosering av akselerator uansett være lav og man forventer da intet tap av slutfasthet.

4.2.5 Fiber

Bruk av fiber gir sprøytebetong bruddseighet. Ulike fibertyper har forskjellig potensiale for å gi bruddseighet. For en og samme fibertype øker seigheten med økende fiberdosering inntil en grense hvorpå bruddseigheten reduseres pga. komprimeringsproblemer. Maksimalt mulig fiberdosering øker med avtagende fiberlengde. For høy synk (separasjonsfare) er erfart å gi risiko for dårlig fiberfordeling.

4.2.5.1 Stålfiber

Stålfibere kan ha mange forskjellige geometriske utforminger. Utformingen av stålfiber skal øke forankringskapasiteten i betongen. Noen fibere leveres limt og forekommer da i «flak». Limet løses raskt opp når fiberen kommer i kontakt med vann. Stålfiber leveres i ulike stålkvaliteter med strekkfasthet varierende fra normal kvalitet på drøyt 1000 MPa i strekkstyrke til høystyrke kvalitet med strekkstyrke på godt over 2000 MPa.

Med hensyn til galvanisert stålfiber skal man være oppmerksom på risikoen for gassutvikling som følge av reaksjon mellom sink og sementvann ved bruk av dekromatisert sement (dekromatisering er påbudt i EU/EØS). Det finnes galvaniserte, limte fibere, der limet inneholder stoffer som forhindrer gassutvikling.

4.2.5.2 Polymer makrofiber

Polymer makrofiber er plastfibere som vanligvis er laget av polypropylen. Beskrivelsen makro henspeiler fiberens lengde og tykkelse som ligner stålfiber. Makrofibere kommer også med mange forskjellige utforminger for å øke forankringskapasitet i betong. Makrofibere leveres i løs eller buntet form.

Merk at polymer *mikrofiber* benyttes i sprøytebetong for å øke betongens motstand mot avskalling ved brann. Den har ingen effekt på energiabsorpsjon.

4.3 Materialeegenskaper

4.3.1 Bestandighetsklasser, materialsammensetning

Bestandighetsklasse velges avhengig av eksponering, se anbefalinger i Tabell 4-2.

Tabell 4-2: Anbefalt bruksområde for sprøytebetong avhengig av eksponeringsklasse

Bestandighets- klasse	Anbefalt bruksområde	Aktuelle eksponeringsklasser i NS-EN 206+NA ¹⁾
M40	Bergsikring i undersjøiske tunneler der lekkasjevann er saltholdig. Bergsikring i tunneler i soner med alunskifer.	XF1, XD1-XD3, XS1-XS3, XA1-XA3 ²⁾ , XSA ²⁾
M45	Bergsikring hvor lekkasjevann er ferskvann.	XF1, XA1-XA2 ²⁾ , XD1, XS1
M60	Sprøytebetong uten armering (fiber, nett, stenger).	XC1-XC4, XF1

1) XF2, XF3 og XF4 er utelatt, jf. punkt 4.3.6

2) For XA2, XA3 og XSA er det i NS-EN 206+NA satt krav til sulfatresistent bindemiddelsammensetning iht. «SuR»-klassene. For XSA må i tillegg ytterligere tiltak vurderes.

Når det gjelder bestandighetsklasser poengteres det at vannbidrag fra akselerator skal medberegnes i masseforholdet. Akseleratordosering og vannbidrag fra denne kan variere og må dokumenteres. Se beregningseksempel gitt i punkt 4.2.4.6.

Sprøytebetongens endelige masseforhold "m" beregnes som $m = v / (c + \sum k \cdot p)$ hvor

v = effektivt vanninnhold i basisblandingen, pluss vann i akselerator og ev. andre tilsetningsstoffer tilsatt på sprøytestedet

$(c + \sum k \cdot p)$ = sement pluss summen av tilsetningsmaterialer av type II multiplisert med sin virkningsfaktor (k-faktor) i henhold til NS-EN 206+NA.

4.3.2 Fasthet

Fastheten til sprøytebetong bestemmes i all vesentlig grad av betongens masseforhold og bindemiddelsammensetning, samt kompaktering ved sprøyting.

For sprøytebetongarbeider stilles det krav om at betongen skal tilfredsstille fasthetskravene både på utstøpte terninger av basisbetong (betongprodusent), og på utborede sylindere av ferdig sprøytet betong (entreprenør). For begge er det 28-døgns fasthet som legges til grunn.

Fasthet av utborede sylindre fra ferdig utført sprøytebetong inngår som del av den løpende utførelseskontrollen og er den fasthetskontrollen som kreves av entreprenøren (tidligere inngikk også terningtrykkfasthet av basisbetong). Det optimale er prøving ved 28 døgn for disse sylindrene slik at man ev. fanger opp avvik så tidlig som mulig etter 28 døgn. Organiseringen av denne prøvningen krever imidlertid mer planlegging og logistikk (oppstilling, utboring, transport, tildanning, prøvning) enn standard terningprøving og det tillates derfor et tidsspenn for prøvningen av utborede sylindre (prøving 28 døgn etter sprøyting tilstrebes, men opptil 56 døgn etter sprøyting tillates).

Fasthet; eksempler for fasthetsklasse B35:

For blandeverkets støpte prøver av basisbetong (NS-EN 206+NA):

Støpte terninger: Krav til karakteristisk fasthet målt på terning er minst 45 MPa.

For ev. støpte sylindre: Krav til karakteristisk fasthet målt på sylinder (med høyde/diameterforhold = 2,0) er minst 35 MPa. Støpte sylindre benyttes i liten grad i Norge.

For entreprenørens utborede sylindre fra ferdig sprøytet betong:

Krav til fasthet for prøver tatt fra ferdig sprøytet betong er 85 % av krevd fasthetsklasse.

Krav til sylinderfasthet (B35) med høyde/diameterforhold = 2,0 og med korreksjonsfaktor 0,85 blir dermed:

$$35 \text{ MPa} \cdot 0,85 = 29,8 \text{ MPa}$$

Prøveresultatet for hver utboret sylinder skal korrigeres for aktuelt høyde/diameterforhold til den fastheten som tilsvarer et høyde/diameterforhold = 2,0. Omregningsfaktorene er gitt i Tabell 4-3:

Tabell 4-3: Omregningsfaktor for utborede sylindere fra aktuell H/D til H/D = 2,0

Høyde/diameter	Omregningsfaktor
2	1
1,75	0,97
1,50	0,95
1,25	0,93
1,1	0,89
1	0,87

Prøvefastheten er lik gjennomsnittet av de omregnede fasthetene for de kjerneprøvene som utgjør prøven. Eksempel på en slik beregning er vist i Tabell 4-4.

Tabell 4-4: Behandling av prøveresultater. Eks.: Trykkfasthet ved prøving er 32,5, 30,7 og 36,1 MPa

Prøve-stykke	Diameter, D [mm]	Høyde, H [mm]	Aktuell H/D	Omregnings-faktor	Målt fasthet ¹⁾ [MPa]	Omregnet fasthet, H/D=2,0 [MPa]
A	60	90	1,5	0,95	32,5	0,95 x 32,5 = 30,9
B	60	75	1,25	0,93	30,7	0,93 x 30,7 = 28,6
C	60	75	1,25	0,93	36,1	0,93 x 36,1 = 33,6
Prøvefasthet, sylinder H/D = 2,0 [(30,9 + 28,6 + 33,6) / 3] = 31,1 ²⁾						

1) Den trykkfasthet den aktuelle kjernen har vist ved trykkprøving

2) Prøvefastheten 31,1 MPa er høyere enn kravet 29,8 MPa, altså ok

For støpte og armerte konstruksjoner bores det ut sylindre normalt bare når det er mistanke om eller er registrert avvik ved den ordinære fasthetskontrollen, dvs. som del av en avviksbehandling. I slike tilfeller kan den prosjekterende gjøre en vurdering av hvor i den aktuelle konstruksjonsdelen underfasthet kan være mest kritisk. Man tar da ut kjerner i henhold til en plan, helst et større antall kjerner, og gjerne fra et begrenset området av konstruksjonen; f.eks. fra en spesifikk støpedag/konstruksjonsdel. NS-EN 13791 er utarbeidet for støpte/armerte konstruksjoner og standarden beskriver hvordan resultatene fra en slik granskning, basert på alle kjernene samlet, skal behandles statistisk for å beregne såkalt «karakteristisk konstruksjonsfasthet». Kravet til konstruksjonsfasthet er 85% av beskrevet fasthetsklasse.

For sprøytebetong, som del av en bergsikring (oftest kombinert med bolter), har løpende kvalitetskontroll av utborede sylindere en annen funksjon enn beskrevet ovenfor. Utførelse ved sprøyting er også noe helt annet enn tradisjonell støping, og det må forventes noe mer inhomogenitet og større spredning i sprøytebetong. Utboring skjer gjennom hele tunnelen, etter angitt frekvens, tre sylindere (minimum) ved hver prøveserie. Hver serie vurderes isolert ettersom den representerer det tidsrommet betongen ble sprøytet på. Ulike serier bør ikke samles til en stor statistisk vurdering fordi et påvist problem, f.eks. i en spesifikk serie (ett begrenset område), da vil medføre at hele tunnelen blir problematisert. Beregnet konstruksjonsfasthet i henhold til NS-EN 13791 sin beregningsmetode blir hardt straffet selv bare med en enkeltvis undermåler og metoden anses derfor ikke relevant å bruke for løpende fasthetskontroll av utborede sylindere fra sprøytebetong i tunnel.

Dersom det på utborede sylindere fra sprøytebetong observeres undermålere og større variasjon i fasthet enn normalt, undersøkes bakenforliggende årsak. Unormalt høy fasthet kan ha negativ innvirkning på energiabsorpsjonskapasiteten, se punkt 4.3.7.3.

4.3.3 Tidligfasthet

Tidligfasthet er en viktig parameter og er knyttet til HMS og sikkerhet for de som arbeider på stuff. I mange tilfeller er høy tidligfasthet påkrevet for å drive i dårlig bergmasse. Nødvendig tidligfasthet spesifiseres normalt av utførende hovedentreprenør, inklusive rutiner for justering av arbeidsopplegget og ivaretagelse av HMS dersom den spesifiserte tidligfasthet ikke skulle være oppnådd.

Det bør sprøytes et prøvefelt nederst i vegg ved oppstart av sprøyting hvor fasthet kan følges opp med penetrasjonsnål og/eller spikerpistol, samt eventuelt supplert med enklere indikasjonsmetoder som:

- Kjenne med hånden at varmeutviklingen i betongen kommer i gang
- Stikke med kniv, skrujern eller lignende for å kjenne at betongen har blitt hard

Tidligere var «tidligfasthetskasse» (klasse J1, J2 og J3 iht. NS-EN 14487-1) inkludert i denne publikasjonen som alternativ for beskrivelse av tidligfasthet. Disse kan benyttes, men klassene beskriver imidlertid krav til fasthetsutviklingen mellom 6 og 24 timene etter sprøyting. Normalt er det akseleratorens funksjon og betongens herding de aller første timene som er sentral for HMS og videre framdrift i tunnelen. Med tidligfasthet menes derfor normalt at sprøytebetongen får fasthet mye før 6 timer.

4.3.4 Heftfasthet

Sprøytebetongens heft til underlaget er en viktig egenskap for alle typer anvendelser. Heftfastheten er svært avhengig av underlagets beskaffenhet og ev. av sprøyteutførelsen. Bomlyd kan også skyldes sprekker i berget eller at bergarten ikke gir tilfredsstillende heft. Slike forhold er like viktig å avdekke som bom pga. utførelsen eller andre forhold. Ved bomlyd bør det vurderes om dårlig heft kan kompenseres med bolting. Se også Tabell 3-1.

Viktige momenter for å oppnå god heft mellom sprøytebetong og underlag er:

- rensk av sprengt bergoverflate, at alt som er mer eller mindre løst er rensket bort, se punkt 1.5.1.1
- rengjøring av underlaget før sprøyting, se punkt 1.5.1.4
- at berget ikke er for kaldt, se punkt 1.5.1.6
- egnet betongsammensetning, se punkt 1.3.1
- bruk av fiberarmering, se punkt 1.3.6
- riktig sprøyteteknikk, se punkt 4.5.4
- herdetiltak, se punkt 1.5.4

4.3.5 Bøyestrekfasthet

Bøyestrekfastheten er den bøyestrekspenningen betongen har i det den risser opp (ved risslasten). Bøyestrekfastheten påvirkes i liten grad av fibertilsetning. Etter opprissing aktiviseres fiberene og overfører krefter i disse og sørger for momentkapasitet og seighet i sprøytebetongen ved videre

deformasjoner i berget. Fiberarmeringens funksjon i sprøytebetong måles derfor normalt ved prøving av energiabsorpsjon, også kalt seighetsprøving.

4.3.6 Bestandighet

De viktigste nedbrytningsmekanismer for sprøytebetong til bergsikring er:

- Utluting
- Magnesiumangrep pga. salt grunnvann i undersjøiske tunneler
- Sulfatangrep (thaumasittreaksjon, ettringittreaksjon)
- Korrosjon på grunn av kloridinntrengning, ev. karbonatisering
- Alkalireaksjoner
- Syreangrep knyttet til bakteriebelegg i undersjøiske tunneler (jern- og manganoksiderende bakterier)

Hovedmomenter for å oppnå bestandig sprøytebetong er:

- At masseforholdet og bindemiddelsammensetningen er riktig med hensyn til miljøet/eksponeringen. Masseforholdet tas vare på av bestandighetsklassene (M40, M45, M60); dess mer aggressivt miljø dess lavere masseforhold kreves for å gi tilstrekkelig tett semenlim og bestandighet.
- At sprøytebetongstykkelsen er tilstrekkelig (som spesifisert). Tynne lag sprøytebetong er svært utførelsesømfintlig og påvirkes i større grad av uttørkingssvinn (som kan gi hefttap), samt nedbrytning generelt. Tykkere lag er tettere overfor vanngjennomtrengning og mindre utsatt for tørke-/fuktesykler som kan ødelegge heften.
- God, homogen utførelse av sprøytebetongen. homogenitet dokumenteres først og fremst fra fasthetsskontrollen av sylindre tatt fra ferdig sprøytet betong
- God heft mellom sprøytebetong og underlaget. Ved mangel på heft kan aggressivt vann fra sprekker i berget bre seg ut i bomsoner, lekkasjer kan oppstå og man får større områder med nedbrytning både i heftsonen, i betongen og på overflaten mot trafikkisiden. Silikastøv i sprøytebetongen er positivt for å skape heft til underlaget (samt for semenlimets tetthet) og er derfor krevd i sprøytebetong. God rengjøring før sprøyting er også sentralt for å oppnå heft.

Til tross for at sprøytebetong ikke utføres med et kontrollert luftinnhold hører det til sjeldenhetene at sprøytebetong (M40, M45) får frostskafer.

Erfaringer med bestandighet i vegtunneler:

Statens vegvesen har 100 års brukstid som krav til permanent sikring av tunneler (som oftest betyr sprøytebetong kombinert med bolter). Det ble i 2012-2015 gjennomført tilstandsundersøkelser og tilstandsvurderinger i lys av tidligere rapporter av opptil 25 år gamle tunneler utført med sprøytebetong med masseforhold 0,40-0,50 [1][2]. Nedbrytingsfenomener er i hovedsak begrenset til områder med tunnellekkasjer. For aggressivt miljø der lekkasjevann er saltholdig (undersjøiske tunneler i eksponeringsklassene XA2-XA3, XS3, XC2-XC4, XD1-XD3) ble det sett at hovedutfordringen er en kombinasjon av kalsium utluting, magnesium- og sulfatangrep (thaumasitt), karbonatisering, kloridinntrengning og vekslende innslag av syredannende biofilm. Biofilm har i noen tilfeller ført til en lokal reduksjon av sprøytebetongens tverrsnitt etter få år. Sprøytebetong i sulfidførende grunn (alunskifer m.m. i eksponeringsklassene XSA, XC2-XC4, XD1-XD3) viste lokal nedbrytning pga. thaumasitt sulfatangrep, syreangrep, kalsium utluting og karbonatisering. Det ble konkludert med at sprøytebetongtykkelsen bør være minimum 100 mm hvor det forekommer aggressivt lekkasjevann.

Sprøytebetongens tykkelse samt heftegenskap mot bergmassen ble erfart å være de klart viktigste faktorene for bestandighet. Typen armeringsfiber brukt i sprøytebetongen har mindre innflytelse. For landtunneler der lekkasjevann ikke er aggressivt kreves det minimum 80 mm sprøytebetongtykkelse for å sikre kravet til brukstid. Statens vegvesens krav til sprøytebetongtykkelser (sikringsomfang), materialer og utførelse bygger på klassifisering av bergmassen ved Q-verdier, og er gitt i vegnormal N500 Vegtunneler.

4.3.7 Energiabsorpsjon

4.3.7.1 Intern spredning i prøveserier

Hvert prøveresultat på energiabsorpsjonskapasitet er gjennomsnittresultatet fra en serie på (minst) 3 prøveplater som er sprøytet på samme sted og rett etter hverandre av samme betonglass. Ulike undersøkelser [3][4][5] har vist at intern spredning (variasjonskoeffisienten) i en prøveserie på tre plater ligger oftest i området 8-12 %, men den kan være både lavere og høyere enn dette i enkeltserier.

Naturlig spredning fører dermed til at hvis man legger seg for nære kravet vil faren for å få undermålere i et prosjekt være stor. Helt analogt med for eksempel trykkfasthet bør man derfor legge seg over krevd nivå for å ta høyde for spredningen.

4.3.7.2 Interpolasjonsmetoden

Interpolasjonsmetoden gir større fleksibilitet i bruken av prøvningsresultatene og anbefales brukt.

Forhåndsdokumentasjon – Alternativ A:

Ved bruk av interpolasjonsmetoden må eksisterende forhåndsdokumentasjon være basert på to (eller flere) fiberdoseringsnivåer med den aktuelle fiberen som ønskes brukt. Interpolasjon kan så gjøres mellom resultatene (ikke ekstrapolering) for valg av fibermengde ved oppstart i prosjektet.

Det anbefales at man legger inn god margin til energiabsorpsjonsklassene for å redusere risikoen for undermåler ved første prøving i prosjektet. Bortsett fra fiberen vil resultater fra tidligere prøving sannsynligvis være basert på betongresepter med andre delmaterialer enn det som skal benyttes i prosjektet. Anbefalte marginer avhengig av antall tilgjengelige prøvningsresultater er gitt i Tabell 4-5.

Figur 4-2 viser et eksempel hvor det er gjort prøving ved to fiberdoseringsnivåer; dette er markert med «høy» og «lav» fiberdosering. Her er det 3 stk. prøvningsresultater ved hvert doseringsnivå, og det er brukt den anbefalte 20 %-marginen fra Tabell 4-5. Gjennomsnittresultatet ved hvert doseringsnivå er beregnet og det er tegnet en rett linje mellom gjennomsnittresultatene. Estimert fiberdosering for E700 (1) og E1000 (2) er da der den rette linjen krysser 20 % margin-nivået for den respektive E-klassen.

Tabell 4-5: Anbefalt margin (overhøyde avhengig av antall tilgjengelige prøvningsresultater) til spesifisert energiabsorpsjonsklasse i prosjektet ved bruk av resultater fra tidligere plateprøving

Antall dokumenterte prøvningsresultater*)	Energiabsorpsjonsklasse			Margin, %
	E500	E700	E1000	
1-2	625	875	1250	25
3-4	600	840	1200	20
≥5	575	805	1150	15

*) Ett prøvningsresultat er gjennomsnittet fra minimum tre prøveplater

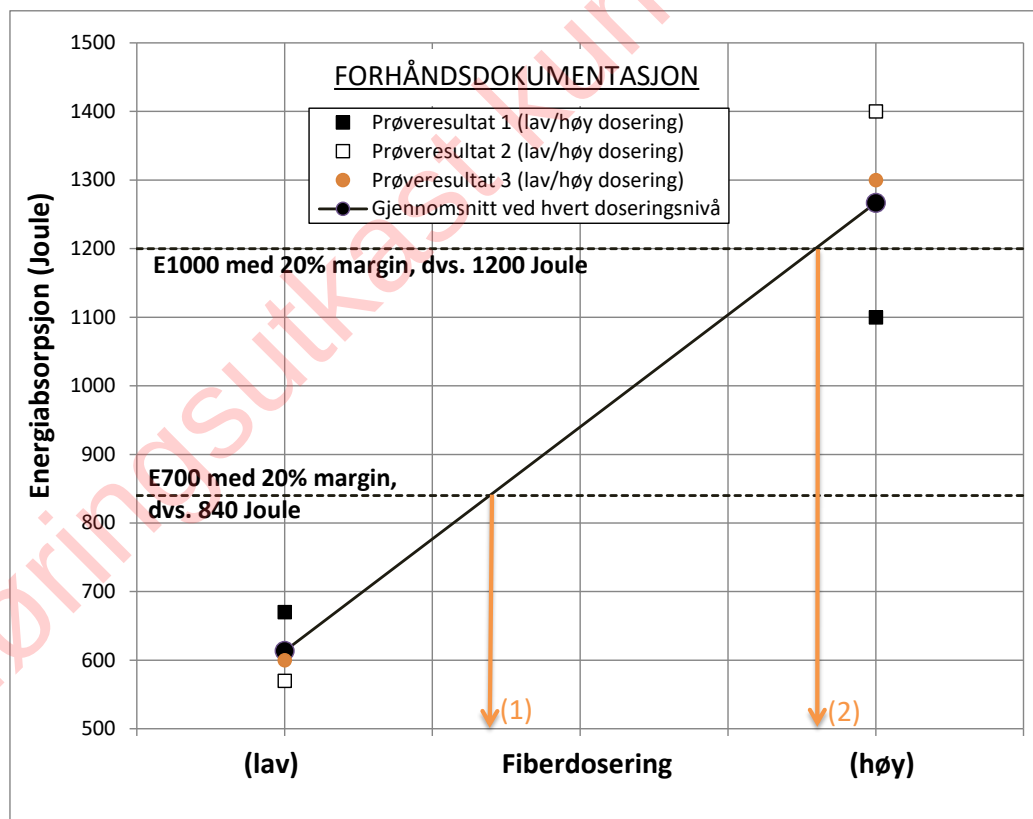
Dokumentasjon i prosjekt; ved forprøving (Alternativ B) eller ved løpende kontroll:

Her benyttes aktuelt blandeverk, aktuell sprøytebetongresept, og aktuelt transport- og sprøyteutstyr. Forprøving krever at det sprøytes plateprøver i prosjektet i god tid før selve sikringsarbeidene er planlagt å starte, og benyttes derfor i svært liten grad i praksis.

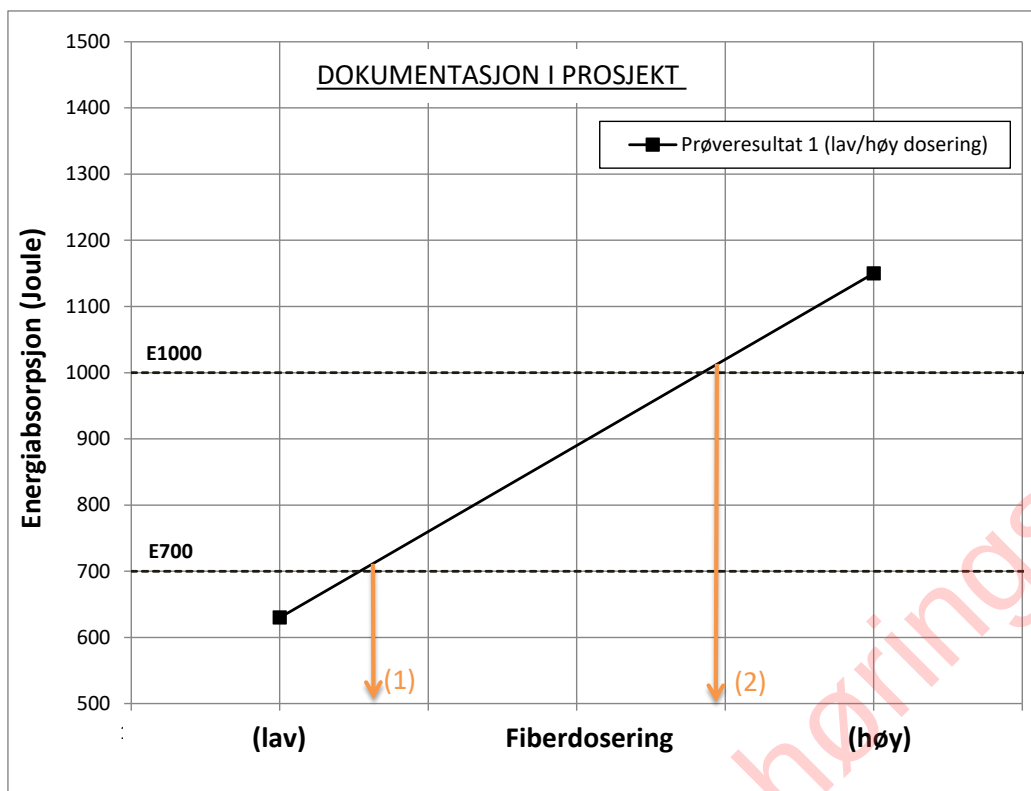
Figur 4-3 viser et eksempel hvor det er gjort prøving i prosjektet ved to fiberdoseringsnivåer; dette er markert med «høy» og «lav» fiberdosering, og det er tegnet en rett linje mellom resultatene. Nødvendig dosering for E700 (1) og E1000 (2) er da der linjen krysser henholdsvis energinivået 700 Joule og 1000 Joule.

Jamfør naturlig spredning i resultatene, som diskutert i forrige avsnitt, vil det være svært fornuftig å velge en fiberdosering som er noe høyere enn «krysningspunktet» (1) eller (2) for hhv. E700 og E1000. Neste gang man gjør prøvning, som del av den løpende kontrollen, kan energiabsorpsjonen bli noe lavere, noe som kan medføre avvik som er større enn akseptgrensen og ekstra prøving.

Ved bruk av interpolasjonsmetoden i den løpende kontrollen i prosjektet vil det være behov for å sprøyte prøveplater fra en leveranse som har lavere fiberdosering enn det som benyttes i den daglige sprøytebetongproduksjonen (se Figur 4-3 «lav fiberdosering»). Utover det volumet som benyttes til å sprøyte disse platene vil det være et ønske om å benytte det resterende volumet fra dette lasset. Etter avtale med byggherre/geolog er det mange eksempler på at aksept for bruk av slike enkeltlass er gitt (f.eks. område med god bergkvalitet, nede ved såle, etc), ev. så har man funnet annen fornuftig stedlig anvendelse. Avtalte prosedyrer innarbeides med fordel i prosjektets kontrollplan.



Figur 4-2: Eksempel på forhåndsdokumentasjon av nødvendig fiberdosering ved bruk av 2 doseringsnivåer og 3 prøvningsresultater ved hvert doseringsnivå. Her er det brukt den anbefalte 20 %-marginen til E-klassen iht. Tabell 4-5



Figur 4-3 Eksempel på dokumentasjon i prosjekt (forprøving eller løpende kontroll) av nødvendig fiberdosering (dvs. ingen margin til E-klassen iht. Tabell 1-2).

4.3.7.3 Energiabsorpsjon og overfasthet

I plateforsøk på stålfiberarmert sprøytebetong er det vist at for høy sluttfasthet kan være negativt for sprøytebetongens energiabsorpsjonsevne [6].

Seig bruddutvikling/høy energiabsorpsjonsevne er knyttet til fiberenes heft, glidning og friksjon i betongen etter dannelsen av riss. Under plateprøvingen, og gradvis økende nedbøyning og rissutvikling, overfører fiberene da krefter over riss basert på friksjonsforankring i betongen.

Det er en sammenheng mellom fiberenes heft til betongen og betongfastheten. Høy fasthet kan medføre at fiberens heft til betongen blir så stor at man i stedet for gliding/heft oppnår fiberbrudd i risset og dermed mer sprø bruddutvikling og redusert energiabsorpsjonskapasitet. I denne situasjonen er det fiberens strekkfasthet som er begrensningen. Ved å velge riktig stålkvalitet på fiberen kan man imidlertid unngå denne potensielle følsomheten for høy betongfasthet. Tilstrekkelig strekkfasthet på fiberen vil sikre at fiberbrudd i liten grad skjer og at bruddutviklingen styres av heft og glidning mellom fiber og betong.

4.3.7.4 Energiabsorpsjonsklassen E500

Norsk sprøytebetong har, i europeisk målestokk, lavt masseforhold, mye sement og silika og derfor høy sluttfasthet. Dette er grunnen til at det i stor grad benyttes stålfiber av høy kvalitet (høy strekkfasthet). Energiabsorpsjonsklassen E700 oppnås derfor tradisjonelt med relativt lav fiberdosering, gjerne ned mot 15 kg/m³. Produsenter av fiber kan ha 15 kg/m³ som minimum anbefalt fiberdosering.

Energiabsorpsjonsklassen E500 har i Norge inntil nå vært en ubenyttet klasse. Det har imidlertid i noen tunnelprosjekter vært noen beskrivelser av energiabsorpsjonsklasse E500. Med høykvalitets stålfiber vil E500 kunne oppnås med svært lav fiberdosering, lavere enn minimum anbefalt dosering. Bruk av svært lav fiberdosering vil kunne føre til økt risiko for mindre fiber i området der riss og sprekker opptrer under plateprøving av energiabsorpsjon – og derfor økt variasjon i resultatene og fare for undermålere.

Ved å beskrive E500 vil man derfor kunne oppleve enten at fiberleverandøren anbefaler at man ikke legger seg under minimum anbefalt fiberdosering, og at man får levert en sprøytebetong som i virkeligheten er en E700.

Et alternativ for E500 kan være å benytte en fiber med lavere strekkfasthet, noe som fører til at E500 oppnås med en høyere fiberdosering - og som da er høyere enn minimum anbefalt dosering.

4.4 Produksjon av basisbetong

4.4.1 Blandeanlegg

Før blanding av basisbetongen starter bør så vel blandemaskin som betongbil vaskes, for å unngå at stein eller lignende større enn $D_{\max}$ blandes inn i sprøytebetong. Fylling av siloer, samt renhold av blandeanlegg og transportutstyr bør også legges opp med henblikk på å unngå grove partikler. Grove partikler kan medføre propp i sprøyteutstyret og dårligere overflate.

4.4.2 Blanding

Fiberinnhold og jevn fordeling er en hovedegenskap for fiberarmert betong, og et av de viktigste kravene som stilles til basisbetongen.

Fiberne bør ved tilsetning på trommel på bil drysses forsiktig oppi for å unngå fiberball. Ved tilsetning i blandemaskin bør fibre aldri tilsettes som første delmateriale. Fiberleverandørene kan gi nærmere råd om innblanding av de respektive fibre.

Dersom fiber tilsettes direkte i trommel på bil er det viktig at innblandingsprosedyre fra leverandør/produsent av fiber følges. Blandetiden skal være så lang at massen blir homogen og fibre jevnt fordelt. Groing og skovleslitasje i automikseren kan ha betydelig innvirkning på blandeeffektiviteten.

Jevn konsistens er viktig for et jevnt godt resultat. Det anbefales at betongprodusent og entreprenør sammen tar synkmål og utbredelse på byggeplass ved oppstart av prosjektet for å bli enig om hvilken konsistens som gir det beste resultatet.

Vær klar over at økt fiberinnhold vil redusere synkmålet for fersk betong med mindre det gjøres nødvendige justeringer av betongresepten.

Ved høye fersk betongtemperaturer kan man oppleve problemer med lav synk i basisbetongen, endrede sprøyteegenskaper, samt økt prell og forstøvning.

4.4.3 Transport

Sprøytebetong skal transporteres i automikser. Benyttes de samme bilene for hele leveransen, reduseres faren for å forurense med grovt tilslag i betongen. Transportkapasiteten må avpasses etter kapasiteten på sprøytearbeidet.

Lang transportavstand/-tid til sprøytestedet, sammen med hurtigherdende sement og vannkrevende tilslag setter ekstra store krav til betongkonsistens og valg av tilsetningsstoffer. Lange transportavstander kan være en utfordring, men dersom sprøytebetongen proporsjoneres riktig, og med for eksempel bruk av sprøytebetongretarder, kan den transporteres over store avstander.

All sprøytebetong remikses etter transport ved at automikser kjøres på full hastighet, umiddelbart før levering i pumpe. Ved etterdosering av tilsetningsstoff bør det foreligge en prosedyre for dette. Lengre remiksing og innblandingstid kan være nødvendig for store betonglass (større enn 6 m³).

Prosedyrene for transport og ev. etterdosering av tilsetningsstoff, bør minst inneholde følgende punkter:

- remiksing før levering og før vurdering av etterdoseringsbehov for tilsetningsstoff
- tidspunkt for etterdosering og utført etter utarbeidet prosedyre
- produktnavn, type tilsetningsstoff og mengde
- blandetid etter tilsetting
- trommelhastighet

4.5 Utførelse av sprøytebetong

4.5.1 Utstyr

4.5.1.1 Generelt

Utstyr for sprøyting av betong har som hovedoppgave å:

- tilføre betong til sprøytemunnstykket med ønsket kapasitet
- sørge for en jevn tilførsel av luft og akselerator, samt å sikre en homogen innblanding av akselerator i sprøytebetongen
- kunne føre sprøytemunnstykket kontrollert og i rett posisjon i forhold til de flater som det skal sprøytes mot

Sprøyteutstyrets utforming og kapasitet er viktig for å oppnå et godt resultat og opprettholde god produksjon ved sprøytebetongarbeider. I dag benyttes håndsprøyting kun for mindre arbeider hvor det ikke er adkomstmulighet for robotrigg. En typisk sprøyterigg i Norge har integrert betongpumpe, robotarm med sprøytemunnstykke, akseleratortank, doseringspumpe og fullt integrert prosesstyringssystem, eventuelt også med datalogging av alle parametere, se eksempel i Figur 4-4. Gjennomsnittlig produksjonskapasitet for robotsprøyting med stempelpumpe ligger i området 10-20 m³ pr. time. Med monopumpe er kapasiteten ca. halvparten av dette. Monopumpen er lite brukt pga. lavere kapasitet og høyere driftskostnader enn stempelpumpe.

Sprøyteriggen bør ha utstyr som har til hensikt å minimalisere pulseringen, for eksempel akkumulator. Akseleratordosering er i mange tilfeller integrert i betongpumpenes leveringsfrekvens for å sikre jevn og kontrollerbar dosering. Kalibrering og periodisk kontroll av akseleratordosering gjøres likevel jevnlig.

Sprøytespissen er gjerne utstyrt med en oscillator som roterer spissen og forenkler jevn fordeling på jevnt underlag. På ujevnt underlag, ved gropfylling, og ved innsprøyting av armering og sikringsbuer bør oscillator koples ut.



Figur 4-4: Robotrigg (AMV) med operatørhytte på bommen.

De ulike sprøyteriggene har varierende rekkevidde, normalt 12-15 m. Sprøyteoperatørens arbeidsplass er i lukket hytte plassert på sprøytearmen eller stående på bakken med fjernkontroll. Sprøytearmen kan ha innebygget automatikk som sikrer jevne bevegelser, og bevegelser i konstant avstand til, og parallelt med bergoverflatene som skal sikres.

Det finnes tilgjengelig utstyr som skanner bergoverflaten og bruker denne informasjonen til automatisk føring av sprøytespissen med konstant avstand til bergoverflaten og jevn tykkelse og i tillegg sørger for at sprøytemunnstykket føres vinkelrett på flaten det sprøytes mot. Skanning og profilering før og etter sprøyting gir informasjon om lagtykke og virkelig profil når den er koblet opp mot en totalstasjon.

Våtsprøytemetoden baseres på at ferdig blandet betong fra automikser pumpes til et sprøytemunnstykke hvor trykkluft og størkningsakselerator tilsettes. Utformingen av et bom-system bør være slik at sprøytemunnstykket kan føres rolig og kontrollert av operatøren i ønsket avstand og retning til alle aktuelle flater som skal sprøyte mot. Vekt av betongslange og rekyl fra betongstråle må ikke medføre problemer med å plassere betongen på ønsket sted.

Sprøyteriggen bør kunne benyttes ved rengjøring av berget før påsprøyting av betong. Det må være tilgang på effektivt vaskeutstyr og anvist vaskeplass for renhold av sprøyterigg.

4.5.1.2 Betongpumpe

Betongpumper til våtsprøyting kan være av forskjellige varianter av stempelpumpe, se Figur 4-5. Pumpens betongmottak skal sikres med rist mot uønskede grove partikler. Den skal være tilpasset for å kunne levere betong med aktuell konsistens, kornstørrelse og eventuelt fibertilsetning fram til munnstykket. Kapasiteten skal kunne reguleres av sprøyteoperatøren. Utstyret må avpasses etter ønsket sprøytekapasitet, $D_{\max}$ og fibertype/-mengde.

Stempelpumpen kan gi noe uheldig pulsering av betongstrålen pga. forsinkelse i forbindelse med vekslingen på pumpa. Dette kan reduseres ved:

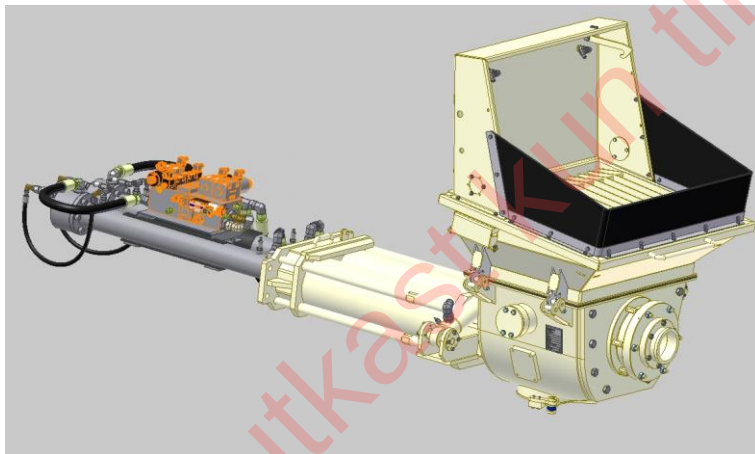
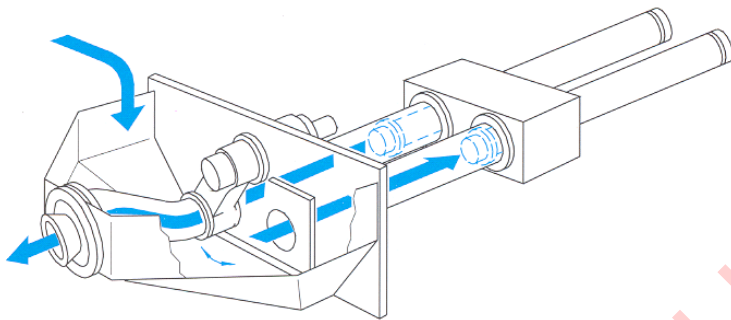
- økt diameter på rørgate/betongslange
- raskere veksling mellom stempelslagene

- lengre betongslange (25-30 m)
- bruk av trykkakkumulator eller lignende
- større diameter på betongstempel som gir større betongvolum pr. stempelslag

4.5.1.3 Betongslange

Rørgate og betongslange med koblinger utformes for formålet, der følgende tas hensyn til:

- innvendig dekkgummi mot cord-skade
- sprengtrykk, ca 3 ganger pumpens maksimale arbeidstrykk
- eventuell tverrsnittsendring bør utføres med overgang som er så lange at man unngår propp i innsnevringen
- slangediameter 65 mm eller mer for robotsprøyter (35 mm for håndsprøyting)



Figur 4-5: Stempelpumpe



Figur 4-6: Eksempel på munnstykke med innerrør, blandekammer og sprøytespiss

4.5.1.4 Munnstykke

Munnstykke består normalt av innerrør, luftdyse og sprøytespiss, se Figur 4-6. Det er mange varianter av utforming av munnstykker. Sprøytespissen er normalt produsert i gummi materiale slik at den løsner fra munnstykket om det oppstår propp i sprøytespissen. Munnstykket har som hovedoppgave å tilføre betongen:

- trykkluft (for å gi betongen hastighet for påkast og komprimering)
- akselerator

Akselerator blandes med trykkluften i et eget kammer i munnstykket eller i luftslangen før munnstykket. Sprøytespissen på munnstykket må være lang nok til å kunne utnytte energien i trykkluften. Spissen på munnstykket skal holde betongstrålen rolig styrt mot ønsket flate (ikke blafre eller vibrere). Munnstykket skal være konstruert slik at akseleratoren blir jevnt fordelt i betongstrømmen.

4.5.1.5 Trykkluft

Oljefri trykkluft må kunne tilføres munnstykket kontinuerlig. Kompressoren bør ha en minimumskapasitet på 10-16 m³/min og 7 bar trykk. Trykkluftbehovet er avhengig av munnstykket. For lite trykkluft gir lav betonghastighet og dårlig komprimering, eventuelt også for dårlig innblanding av akselerator.

Avhengig av trykkluftmengden må følgende tilpasses:

- Pumpekapasitet
- Utforming av blandekammer
- Utforming av sprøytespiss
- Sprøyteavstand

4.5.1.6 Akseleratordosering

Alt utstyr som er i kontakt med akseleratorvæske må tåle dens kjemiske sammensetning (pH-verdi). Det kan ikke uten videre brukes alkalifri akselerator i samme system som brukes til vannglassakselerator.

Alkalifri akselerator har en pH-verdi på 2-4 (sterk syre) og akseleratorens lave pH-verdi kan medføre at det oppstår korrosjon på utstyr av metall dersom utstyret ikke omgående rengjøres omhyggelig etter bruk. Akseleratortanken bør ved bruk av alkalifri akselerator være laget av syrefast stål eller plast, der plast anbefales. Akseleratorpumpe bør også være laget av syrefast stål. Slikt utstyr kan også brukes med vannglassakselerator. Vannglassakselerator har en pH-verdi på 11-13 (sterk base) og virker sånn sett beskyttende på utstyr laget av jern/stål mot korrosjon.

Der samme utstyr brukes til forskjellige typer akselerator, må utstyret rengjøres grundig før ev. skifte av akseleratortype. Det skjer en kraftig kjemisk reaksjon når vannglass og alkalifri akselerator blandes. Maskindeler og sprøyteutstyr som ikke er omhyggelig rengjort før akselerator skiftes, går øyeblikkelig tett i det vannglass (høy pH-verdi) og alkalifri akselerator (lav pH-verdi) kommer i kontakt med hverandre.

Dersom en sprøyterigg skal bruke forskjellige typer akselerator bør det enten være separate tanker og separate systemer frem til munnstykket, eller det må brukes eksterne systemer. Bruk av eksterne systemer anbefales imidlertid ikke på grunn av dårlig kontroll med akseleratorforbruk, tungvint ved flytting og problemer ved pumping (sugehøyde).

Dersom det ikke er installert flowmeter som måler løpende akseleratorforbruk, bør forbruket måles på tank for hver oppstilling. 1 cm på en IBC-kontainer tilsvarer 10,8 liter.

4.5.1.7 Utstyr til tørrsprøyting

Det henvises til EFNARC "European specification for sprayed concrete – Guidelines for specifiers and contractors" (www.efnarc.org).

4.5.2 Tykkelse

Utført tykkelse er en av de viktigste kvalitetsparametere for sprøytebetong. Dette påvirker både bæreevne og bestandighet. Ved sprøyting fylles groper og sprekker først, før videre påslag med jevn tykkelse legges (se punkt 4.5.4). Nødvendig volum (jf. punkt 1.5.3) for å oppnå en bestilt gjennomsnittstykkelse må beregnes ved bruk av en anslått ujevnhetsfaktor og en preletapsfaktor. Ujevnhetsfaktoren anslås på bakgrunn av bergets ujevne og grove kontur, og tar da med seg at virkelig overflateareal er større enn teoretisk areal.

Ujevnhetsfaktoren er basert på erfaring, og i praksis er en derfor henvist til først å anslå en faktor og sprøyte et betongvolum tilsvarende denne faktoren og deretter kontrollmåle og ev. påføre mer sprøytebetong. Virkelig ujevnhetsfaktor beregnes ut fra det betongvolum som viste seg nødvendig for å oppnå den målte gjennomsnittstykkelsen. Prøvesprøyting med kontroll av tykkelse og revurdering av ujevnhetsfaktoren, bør utføres ved produksjonsstart og senere om bergkonturens karakter endres.

Ut fra areal, bergoverflatens beskaffenhet etc. bestemmes nødvendig volum. Ujevnhetsfaktoren kan variere fra ned mot 1,0 for TBM-drevne tunneler til mellom 1,3 og 1,8 for sprengte tunneler. Videre vil ujevnhetsfaktoren kunne nyanseres etter sprøytebetongtykkelsen med høyeste faktor ved tynne sjikt. Preletap er avhengig av en rekke faktorer, som for eksempel tykkelse, valg av akselerator, korngradering i tilslag, betongsammensetning etc. Preletapet er lavere ved bruk av alkalifri akselerator enn ved bruk av vannglassakselerator.

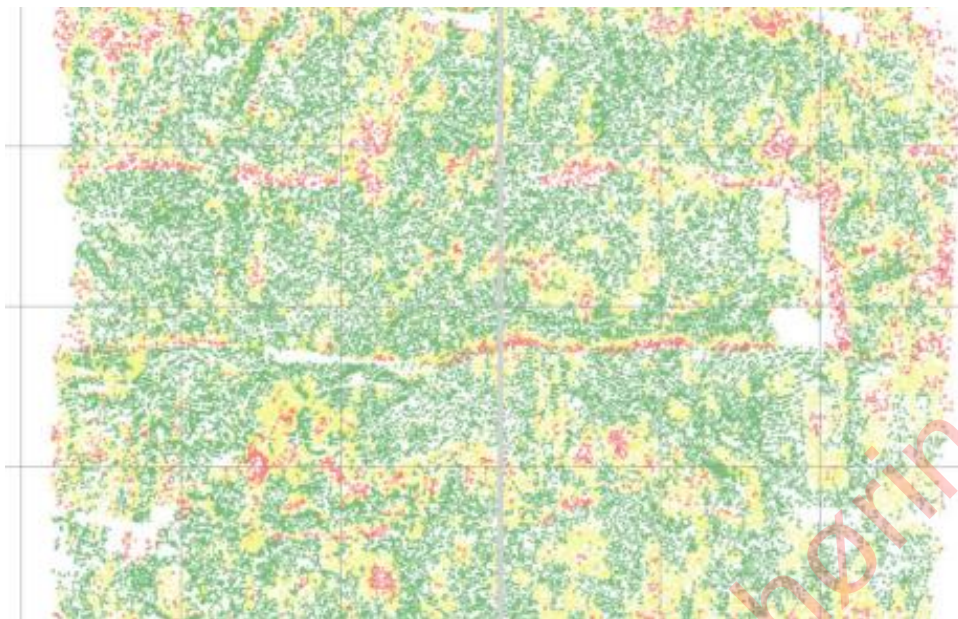
Scanning er en teknologi som er forholdsvis ny og som stadig utvikler seg. Scanning gir et finmasket bilde/kart av bergoverflaten. Kartet kan vise forskjellige farger ut ifra tykkelsen som måles. Eksempel på scannerbilde er gitt i Figur 4-7.

Scanning har normalt høy oppløsning og gir fargepunkter som representerer felter i tunnelprofilen som kan ha et areal på så lite areal som 1 x 1 mm. Det er derfor ikke unormalt at man kan få små og enkeltvis røde felter som informerer at det lokalt er for tynt lag med sprøytebetong.

Sprøytebetong vil alltid ha en ujevn overflate med små groper og kratere, se Figur 4-8. Ujevnheterne i overflaten av sprøytebetongen kan bety at det lokalt, og på veldig små arealer, er en tykkelse som kan være 1-2 cm mindre enn gjennomsnittet rundt det enkelte punktet.

Derfor kan det være hensiktsmessig å be leverandør av programvare til behandling av data fra scanning, om å presentere data i form av fargekart med et grovere arealnettverk. Ved å slå sammen data fra tusenvis av små målepunkter til felter som viser gjennomsnittlig tykkelse for f.eks. 10x10 cm eller 25x25 cm, så vil man få et mer praktisk fornuftig vurderingsgrunnlag for tykkelse. I de tilfellene der det fortsatt er røde felter på et mer grovmasket fargekart, vil det være grunn til å si at det faktisk er for lav tykkelse og tiltak må utføres.

En annen stor fordel er også at sprøyteoperatører kan få opp og se fargekartet før de avslutter sprøyting og flytter sprøyteriggen. Da kan det være at de oppdager noen områder med litt for lite betongtykkelse og kan rette dette umiddelbart, ved å sprøyte på 1-2 cm mer betong.



Figur 4-7: Scanner og dennes programvare kan programmeres til å gi farger som indikerer bestemte tykkelser. I dette eksempelet er det felter med grønn, gul og rød farge. Kilde: BaneNor



Figur 4-8: Bilde av fersk sprøytet betong, med sine karakteristiske ujevnheter i overflaten.

4.5.3 Forberedelser

4.5.3.1 Rengjøring av underlag

Dersom overflaten er forurensset av fett/olje (eksempelvis fra dieseleksos i eksisterende tunnel) eller annet som reduserer heftfastheten, skal forurensningen fjernes på egnet måte. Forurensningen fjernes mekanisk og/eller kjemisk avhengig av forurensningens art og HMS-hensyn. Dette utføres normalt ikke med sprøyteriggen.

Rengjøring med sprøyterigg: Det benyttes samme munnstykke som til sprøytebetongen. Normale kapasiteter er:

- vannmengde 300 l/min
- kompressorkapasitet 7 bar
- luftmengde 10 m³/min

4.5.3.2 *Drenering av underlaget*

Der det lekker inn vann vil det normalt bli mer nedfall under utførelsen av sprøytearbeidene. Vannlekkasjer kan dreneres ved hjelp av an boring eller legging av «takrenner», dreneringsrør, knottepapp eller lignende.

Rennende vann vil kunne svekke konstruksjonen ved utvasking og eventuell frysing/tining. Spesielt i frostsatte partier må derfor lekkasjer lokaliseres, og dreneres ut av konstruksjonen.

4.5.3.3 *Tildekking*

Entreprenøren sparer mye arbeid med rengjøring av utstyr ved enten å dekke til og/eller påføre sprøyteutstyret midler som hindrer betongslam og prell i å feste seg.

4.5.3.4 *Sjekk av utstyr*

Før sprøyting bør det utføres funksjonstest av sprøyterigg. Funksjonstest innebærer kontroll av at alle funksjoner fungerer som de skal. Særlig viktig er det å kontrollere at det ikke er blokkeringer i akselerator- og luftsystem samt at luft- og betongslanger, koblinger og bolter kontrolleres før sprøyting starter.

4.5.4 *Sprøyting*

Oppstart av sprøyting: Etter rengjøring skal fritt vann ha rent av flaten det skal sprøytes mot. Til smøring av betongpumpe og slange/rør benyttes om nødvendig sementvelling eller fet mørtel, ev. pumpeforbedrende middel som ikke forringer betongkvaliteten. Oljeprodukter benyttes ikke.

Innstilling og justering av strålen: Ved innstilling av strålen ved oppstart og eventuelle justeringer eller driftsforstyrrelser under arbeidets gang, skal strålen vendes bort fra området som skal påføres sprøytebetong.

Føring av sprøytemunnstykket: Sprøytemunnstykkets avstand til overflaten tilpasses utstyret, dets kapasitet, forbruk av trykkluft, akselerator etc. Munnstykket rettes mest mulig vinkelrett mot flaten det sprøytes mot. Ved oppstart av sprøyting på sprengt bergoverflate fylles groper og sprekker først med et avjevningsslag. Sprøytemunnstykket rettes mest mulig rett inn mot groper og sprekker, slik at skrens av strålen mot berget og skyggevirkninger reduseres til et minimum. Dette er vesentlig for å oppnå god heft. I praksis innebærer det at sprøyteutstyrets bevegelse utnyttes til å rette munnstykket nedenfra, ovenfra, forfra og bakfra. Sprøyteutstyrets maksimale pumpekapasitet kan sjelden utnyttes. Etter avjevningsslaget påføres et jevnt lag over det hele.

Ved sprøyting på dårlig berg og/eller bygging av tykke lag, bør sprøytingen utføres i flere omganger.

4.5.4.1 *Armering og sprøyting mot armering*

I Norge er armeringsnett i kombinasjon med sprøytebetong sjeldent benyttet til sikring av berg. Stangarmering brukes imidlertid i forbindelse med sprøyting av buer.

I forbindelse med sprøyting mot armering bør det tas en del spesielle forholdsregler:

- Før montering av armering, bør groper i underlaget fylles opp
- For å unngå dårlig innsprøyting, bør armeringen utformes og monteres i en mest mulig «sprøytevennlig», dvs. «åpen» konstruksjon der ikke alle skjøter legges i samme område
- Dersom det skal armeres i flere lag, kan det være fornuftig å sprøyte og armere opp lag for lag
- Armeringen bør festes og avstives godt for å hindre at den vibrerer under sprøytingen, og derved skaper dårlig heft og lommer rundt armeringen
- For i størst mulig grad å unngå at betongen bygger seg opp på armeringen, bør det tilstrebes en plastisk betong ved at alkalifri akselerator benyttes, ev. også at akseleratorforbruket reduseres, trykkluftmengden økes og sprøyteavstanden reduseres
- Det bør sprøytes vekselvis på skrå, innunder armering, og med liten avstand, for å unngå skygger (manglende utfylling) bak armeringen.

Generelt er sprøytebetong med alkalifri akselerator mer plastisk enn med vannglass når den treffer berget (den «lever» etter at den treffer underlaget). Denne plastiske egenskapen gjør at sprøytebetongen glir forbi og bak armeringsnett og fester/ komprimerer seg på underlaget uten å sette seg fast og bygge seg på armering, buer eller bolteskiver, men lar seg komprimere innunder og bak, med redusert fare for skyggeeffekt (skyggeeffekt er meget vanlig ved vannglassakselerator). For høy dosering med alkaliefri akselerator vil kunne medføre dårlig komprimering bak armeringen.

4.5.5 Herdetiltak

Herdetiltak består i å sørge for tilstrekkelig temperatur og tilstrekkelig fuktighet til at herdingen av bindemidlet utvikles som forutsatt og uttørkingssvinn i tidlig fase minimaliseres. Tilstrekkelig fuktighet kan sikres ved:

- innblanding av heftforbedrende tilsetningsstoff (interncur) i betongens blandeoppsatt, eller
- vanning av ferdigsprøytet betongoverflate, eller
- påføring av herdemembran på ferdigsprøytet betongoverflate

Ved dårlige herdevilkår vil betongfasthet, tetthet og heft til berg kunne bli skadelidende.

Sprøytebetong er særlig eksponert for uttørking i tidlig fase fordi:

- den legges i tynne lag
- overflaten har stor ruhet
- det er en finsats med høyt vanninnhold/høy bindemiddelmengde
- tunneler og bergrom har kraftig ventilasjon.

Vanning er den beste metoden dersom dette er mulig. Arealer som skal påføres mer betong, bør holdes fuktige ved vanning (ev. tåkedusj). Vanning kan starte tidligst etter endt sprøyting og etter at noe fasthet er oppnådd. Herdemembran kan påføres umiddelbart etter avsluttet sprøyting, men anbefales ikke av HMS-grunner. Hvis det senere skal påføres mer sprøytebetong på samme areal så fjernes herdemembranen med påvist effektiv rengjøringsmetode.

4.5.6 Arbeidsmiljø og sikkerhet (HMS)

Operatøren bør på en sikker måte (beskyttet mot nedfall) kunne oppholde seg så nær sprøytemunnstykket at han til enhver tid har oversikt over oppgaven og produksjonen.

Det er viktig at arbeidsstedet er godt opplyst slik at operatøren kan se detaljer i bergforhold for korrekt påføring av sprøytebetong. Ventilasjonen dimensjoneres tilstrekkelig slik at arbeidsstedet

sikres tilfredsstillende luftkvalitet og sikt for operatøren. Ved fare for innånding ved påføring av forskalings-/slippolje, skal det brukes åndedrettsvern.

Det er en forutsetning for en sikker utførelse at sprøytemannskapet behersker teknikken og sprøyteutstyret og har grundig kunnskap om de materialer og kjemikalier som benyttes.

Man bør ikke oppholde seg under nysprøytet betong før denne har oppnådd tilstrekkelig fasthet. Hva som er tilstrekkelig tid må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Det er de som skal inn under nysprøytet betong som har ansvaret for å sjekke at sprøytebetongen har tilstrekkelig fasthet. Som en tommelfingerregel gjelder at betongen bør ha en fasthet på minimum 0,7 MPa, og at fastheten er økende.

Ved propp i utstyret tas trykket av betong- og akseleratorslange før det forsøkes å åpne koblingen. Ved rengjøring tas riggen bort fra området med nysprøytet betong.

Anbefalt minimum verneutstyr for operatøren er:

- hjelm med lykt
- vernebriller
- støvmaske
- klær og fottøy som normalt for arbeider med fersk betong
- hansker

Hjelm, vernebriller og støvmaske er ikke nødvendig når operatøren sitter i innelukket hytte med støvfilter og overtrykk.

4.5.7 Sikringsarbeider i tunneler i drift

For bergsikring i forbindelse med driving av tunneler er tidligfasthet først og fremst en HMS-sak i prosjektet. Videre arbeid i tunnelen (bolting, endelig sikring), oppfølging og kontroll foregår med verneutstyr og anleggsmaskiner, og arbeider pågår i timer, dager og uker etter sprøyting. Denne publikasjonen er først og fremst tiltenkt bergsikring i forbindelse med driving.

For eksisterende tunneler kan stenging og trafikkomlegging være komplisert, og det kan også føre til lang omkjøring og stor trafikk på lokale veier. For nattestengning og sikringssprøyting i forbindelse med vedlikehold og oppgradering av tunneler i drift vil påvisning av tidligfasthet før trafikkåpning være helt sentralt. For tunneler i drift bør kontroll av tidligfasthet (f.eks. med kniv, penetrasjonsnål, spikerpistol, m.m.) beskrives og følges opp spesielt. I tillegg til sikringsprøyting er det ofte mange andre aktiviteter som også pågår ved nattestenging, og som bør koordineres og planlegges spesielt.

Et alternativ til full stenging av tunnelen kan være sprøyting i ett kjørefelt og trafikk i det andre feltet med trafikkstyring.

For tunneler i drift kan eksisterende overflate (gammel sprøytebetong eller berg) være forurenset av støv, fett og olje, eksempelvis fra dieseleksos, som kan gi dårlig heft til sprøytebetongen. Dette bør hensyntas ved beskrivelse og utførelse av rengjøring før sprøyting. Ved bergsikring brukes normalt sprøyteriggen til rengjøring av bergoverflaten. For tunneler i drift bør det vurderes bruk av spesialutstyr, høytrykkspyling og ev. kjemikalier for å oppnå ren overflate. Rengjøring og sprøyting bør planlegges slik at sprøytingen ikke skjer for lenge etter slik at ev. trafikk i tiden mellom igjen kan forurense overflaten.

4.5.8 Brannsikring av vann- og frostsikring

4.5.8.1 Generelt

Her gis en kort oversikt over bruk av sprøytebetong til brannsikring av vann-/frostsikringskonstruksjoner. Tunneler sikres normalt mot vannlekkasje/frost ved først å montere matter av polyetylen(PE)-skum (isolasjonsmatter) eller membranduk, som inngår i konstruksjonstypen kalt nettarmerte sprøytebetonghvelv (til venstre på Figur 4-9). Både PE-skum og membranduk utgjør en brannfare i tunnelen og brannsikres med sprøytebetong. Sprøytebetongen fungerer, i tillegg til brannsikring, også som avstivning av vann- og frostsikringskonstruksjonen, samt som beskyttelse mot mindre nedfall.



Figur 4-9: Venstre: Montasje av armert sprøytebetonghvelv-konstruksjon. Høyre: Tilgjengelig brannsluknings-apparat ved montering. Foto: Veidekke Entreprenør AS

4.5.8.2 Brannfare i anleggsfasen

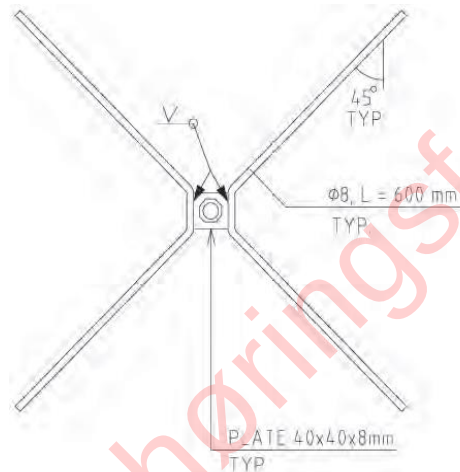
Montasje av vann-/frostsikring medfører at man må utføre arbeid ved brennbart PE-skum/membranduk før den permanente brannsikring er etablert. Bruk av maskiner og utstyr i anleggsfasen (f.eks. gnist fra vinkelsliper) kan antenne de lettantennelige materialene noe som kan få fatale følger. Det er viktig å utarbeide sikkerhetsrutiner ved lagring og montering av brannfarlige materialer i anleggsperioden. Ved utførelse av brannsikring bør sprøyteriggen ha slukkeanlegg i tillegg til tradisjonelle brannslukningsapparat (til høyre på Figur 4-9).

4.5.8.3 Oppbyggingsprinsipper sprøytebetonghvelv

Vann- og frostsikringen monteres til bolter som er montert vinkelrett på profil og med sikker forankring i berg. I de fleste tilfeller i styrt normalprofil, kun unntaksvis med teoretisk sprengningsprofil på knøll).

PE-platetykkelse dimensjoneres avhengig av frostmengde på stedet. PE-platene legges butt i butt, og sikres mot vannlekkasje i fallretning ved påsveist overlapp/skjørt og etablert drens-spør. Platene/duk festes til monteringsboltene med bakskive og tettningspropp og framskive. Plateskjøtene klemmes godt inntil ved bruk av skjøteplugg og overdekningsstoler montert på bolt.

Viktige momenter ved montering av armeringsnett (til venstre på Figur 4-10) er oppnåelse av en stiv og stabil konstruksjon. Lastoverføring mellom sprøytebetonghvelv og bolt sikres ved at det festes en korrosjonsbeskyttet blekksprut (som er en stålplate med påsveiste armeringsjern, til høyre på Figur 4-10) utenpå armeringsnettet ved hver bolt. Dette bidrar til ytterligere avstivning av nettet og sikrer mot vibrasjon og forskyvning under sprøyting.



Figur 4-10: Venstre: Montasje av armeringsnett på bolt, foto: Veidekke Entreprenør AS. Høyre: Korrosjonsbeskyttet blekksprut [7]

Nettarmering monteres med overlapp. Nett monteres og festes mot PE-plate med spesielle armeringsstoler som skrues inn i PE-platene, dog uten å blokkere dreussporet i plateskjøt, se Figur 4-11. Høyde på armeringsstoler og skjøte/festeplugg tilpasses PE-platetykkelsen. Spioner på armeringsstoler viser tykkelse av brannsikringsbetongen under sprøyteprosessen. Konstruksjonen påføres sprøytebetong vanligvis i betongklasse B35 M45 og tilsatt brannsikringsfiber.



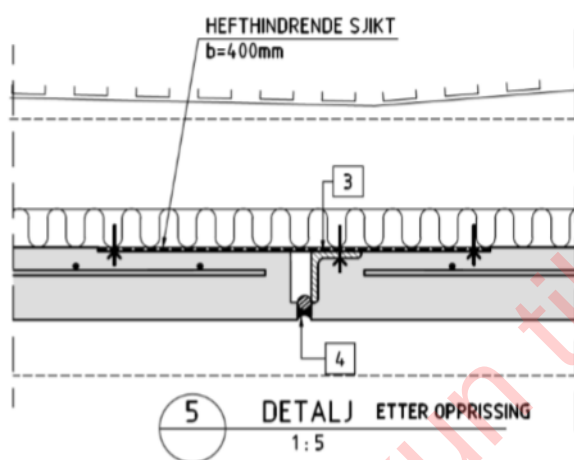
Figur 4-11: Venstre: Festeplugg med spion, foto: Veidekke Entreprenør AS. Midten: Montasjearbeid, foto: Veidekke Entreprenør AS. Høyre: Skjøte/festeplugg ved blekksprut/plateskjøt

4.5.8.4 Detaljplanlegging av fuger

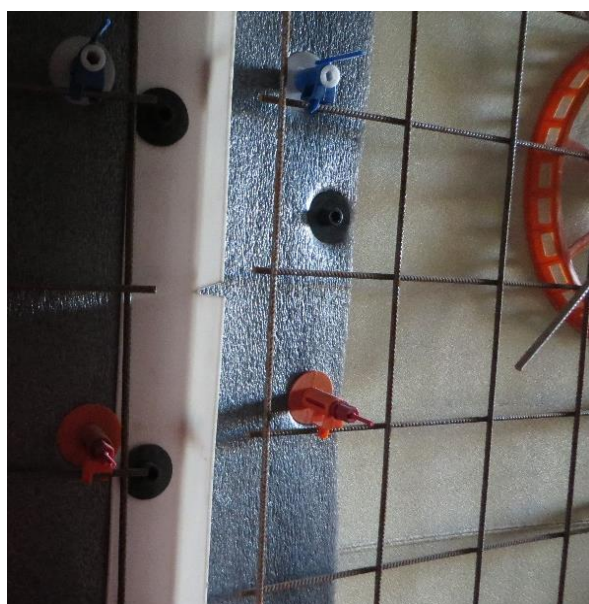
Nettarmert sprøytebetonghvelv for vann- og frostsikring er en fastholdt konstruksjon innenfor bolte- og sprøytebetongsikret berg. Sprøytebetong har et ikke ubetydelig uttørkingssvinn, hvilket betyr at betongen vil kunne risse opp. For å styre sprøytebetongens rissutvikling inn i kontrollerte avsnitt etableres dilatasjonsfuger på tvers i konstruksjonen, sentrisk mellom to bolterader, se Figur 4-12 og Figur 4-13. I praksis betyr dette, at det skapes planlagte svakhetssoner, der sprøytebetongen får en kontrollert opprissing.

Dette utføres ved at armeringsnett kappes/fjernes og en rissanviser inkludert et glidesjikt med lav rivemotstand festes direkte inn i PE-platen, i en utbredelse ca. 50 mm til hver side av fugen.

Glidesjiktet som monteres sentrisk om rissanviseren vil fordele glidning mot fugen over en større lengde av PE-platen og derved hindre brudd i platen ved opprissing.

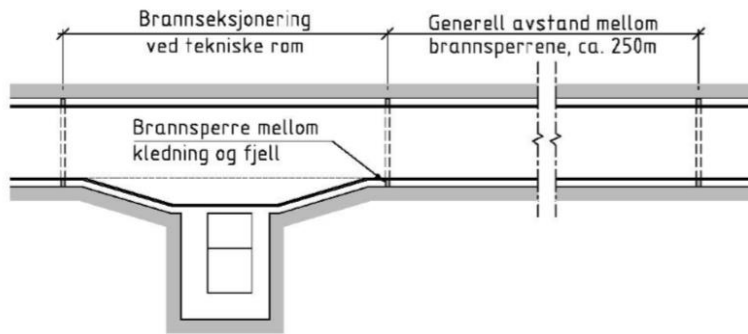


Figur 4-12: Eksempel på utførelse av dilatasjonsfuge i sprøytebetonghvelv-konstruksjon [7]



Figur 4-13: Venstre: Etablering av dilatasjonsfuge. Høyre: Nærbilde dilatasjonsfuge. Foto: Veidekke Entreprenør AS

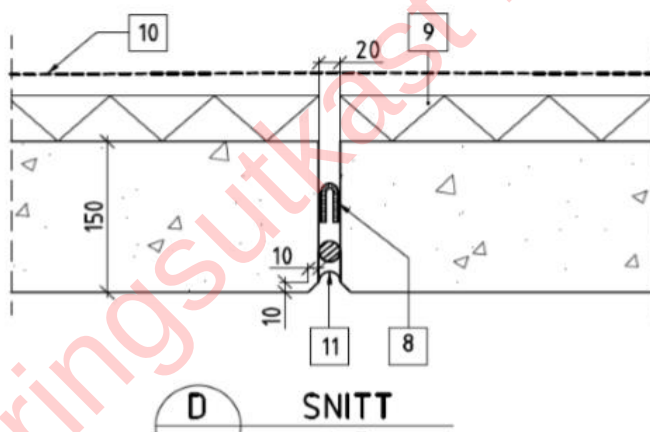
Dilatasjonsfuger i sprøytebetonghvelvet etableres generelt med senteravstand 30-40 m. Første fuge etableres nær tilslutning til kontaktstøp/portaler eller ev. andre støpte konstruksjoner i normalprofilen i tunnelen. Ved plassering av fuger tas hensyn til fastholdning f.eks. ved lange sprøyte lengder og breddeutvidelser ved inn- og utgang til nisjer. Ved brannseksjonering vil hvelvet bli fastholdt mot berget. Fuger må da plasseres nær brannseksjoneringen, se Figur 4-14.



Figur 4-14: Skisse av brannseksjonering [7]

Rissene som oppstår i dilatasjonsfugene forsegles med fugemasse med elastisk, brannhemmende egenskap. For øvrig bør fuging generelt avventes så lenge som praktisk mulig slik at mesteparten av svinnet i sprøytebetongen er unnagjort. Fuger med fugeåpning < ca. 5 mm fuges ikke.

For tunneler med veggelementer plasseres dilatasjonsfugene i hvelvet slik at de flukter med en veggelementfuge. Det skal sikres fri bevegelse mellom hvelv av sprøytebetong og nærmeste veggelementfuge. Utførelse og tetting av fuge mellom betongelementer er vist i Figur 4-15. Fugen er tettet med mineralull (tall 8 i figuren) og fugeforsegling med fugemasse (tall 11), inkl. bakfyllingslist.



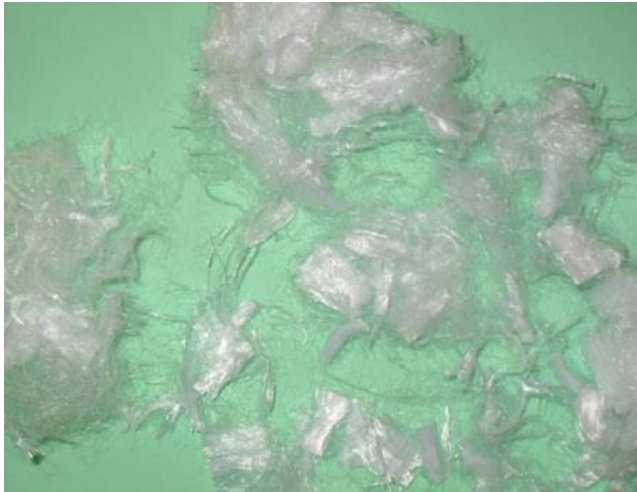
Figur 4-15: Tetting av fuge mellom betongelementer (8= mineralull, 11=fugemasse og bakfyllingslist) [7]

4.5.8.5 Sprøytebetongsammensetning

Hvelvkonstruksjonen brannsikres med sprøytebetong og tilsatt monofilament mikropolypropylenfiber se Figur 4-16. Det inngår normalt de samme delmaterialene som for sprøytebetong til bergsikring.

Ved brannsikring er det ikke samme behovet for tidligfasthet slik at akseleratordoseringen er normalt lavere enn i sprøytebetong som benyttes til bergsikring. Dette betyr også at man kan benytte andre sementtyper i brannsikringsbetong enn de man normalt velger i sprøytebetong til bergsikring.

Oppnår man god og jevn pumpbar sprøytebetong vil dette bidra til jevnt sprøytestrykk og gi et godt grunnlag for å oppnå fine overflater. Det var tidligere vanlig å benytte vannglass akselerator i siste påslag for få finere overflate, men i dag er bruk av alkalifri akselerator i alle påslag mest vanlig. Ved et eventuelt bytte fra alkalifri til vannglass akselerator underveis kreves nøye rengjøring av akseleratorslanger og øvrig utstyr før et slikt bytte.



Figur 4-16: Typisk utseende av polypropylen PP-brannsikringsfiber

Mye overkorn i sandfraksjonen (korn > 8 mm) vil kunne gi krater i brannsikringsbetongens overflate under siste påslag, noe som gjør senere driftsfase/vasking mer utfordrende. Det er erfart at synk rundt 200 mm i basisbetongen er gunstig. Blir synk for høy kan den sprøytede overflaten bli ujevn, og gi type «månelandskap».

For å ivareta herdetiltak etter sprøyting tilsettes det normalt heftforbedrende tilsetningsstoff (interncur) i basisbetong (på samme måte som for sprøytebetong til bergsikring). Eventuelt bruk av herdemembran fjernes igjen før eventuell supplerende sprøyting for å sikre heft. Herdemembraner benyttes i dag i liten grad pga HMS-hensyn.

4.5.8.6 Utstyr og sprøyteutførelse

For sprøyteunderlag slik som PE- matter og membranduk er det viktig å ha rett sprøyteutstyr og rett sprøyteknikk, slik at god sprøyteutførelse oppnås. Et viktig moment ved valg av sprøyterigg er oppnåelse av lav pulsering. Sprøyterigger har enten stempelpumper eller S8-pumpe. S8-pumper er skruepumper og har ingen pulsering. Av stempelpumpene som er på markedet kan det være stor variasjon i pulsering. Bruk av akkumulator reduserer trykkendringen ved hvert stempelslag og reduserer dermed betongstrålens pulsering. Dette bidrar til økt jevnhet på ferdig sprøytet flate. Her er det også viktig å påse at betongbilene er ordentlig rengjort slik at ikke grovere tilslag fra tidligere transportert betong blandes inn i sprøytebetongen. Dette kan medføre uønskede «krater» i sprøytebetongoverflaten. Et annet viktig moment er størrelse og rekkevidde på utstyr.

Forberedende tiltak for å oppnå god heft mot nymonterte PE-matter/duk er som regel ikke nødvendig. Nymonterte PE-matter/duk har normalt ikke behov for vask før sprøyting. Hvis mattene/duk har stått montert i lengre tid før sprøyting bør overflatene vaskes/ renses.

God forberedelse før sprøyting og et godt ettersyn av riggene er et utgangspunkt for vellykket oppstart av sprøyting. Innstilling av sprøytestrålen og god sprøyteteknikk er tilsvarende som beskrevet for bergsikring, og gjentas ikke her.

Ved oppstart sprøyting startes påføring i full tykkelse ned mot øvre endeflate på veggelementene. Dette for å forhindre ansamling av prelltap på denne flaten ved etterfølgende påføring av sprøytebetong på øvrig del av hvelvet. Sprøytebetonglagtykkelsen ned mot øvre endeflate på veggelementet vil dermed være noe større enn i hvelvet for øvrig, etter første påslag.

Pga. svinn i sprøytebetongen vil det med tiden oppstå en åpning på ca. 5-8 mm mellom overkant veggelement og sprøytebetonghvelvet. Åpningen vil også påvirkes av temperaturbevegelser. Det er ikke vanlig å brannsikre eller fuge denne åpningen. Fugeåpningen vil normalt også være for liten til at det kan etableres en normal fugeforsegling. Erfaring fra ulike branner i tunneler med denne hvelvtypen har vist at det ved brann og oppvarming vil sprøytebetongen utvide seg i lengde- og tverretningen slik at åpningen mellom veggelementene og sprøytebetonghvelvet lukker seg og ikke åpner for luftinnsug og trekk bak elementene.

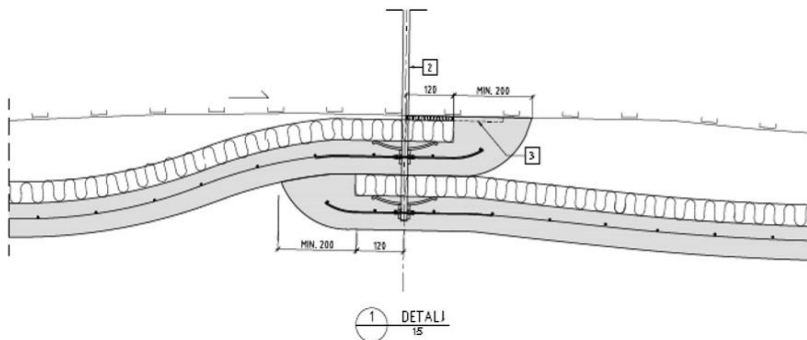
Sprøytebetonghvelvet påføres normalt med total tykkelse 85 mm, og påføres vanligvis i 2-3 påslag. Tykkelsen på hvert påslag avhenger både av sprøyteunderlaget og av sprøytebetongresepten som benyttes, da man ser store variasjoner i hvor tykt man kan legge forskjellige resepter. Første lag sprøytes da tynt for å oppnå god heft og et stivt skall. Om det legges for tykt på første påslag kan det oppstå nedbøyning eller heftproblemer. Etterfølgende sprøyting med resterende tykkelse påføres gjerne i to lag, ett opp mot armeringsnett og siste lag til full tykkelse der sprøytebetongen dekker spionene, begge lag med tilnærmet lik lagtykkelse. Figur 4-17 viser 2. lag sprøyting til underkant nett. Ved lengre pauser mellom sprøyting av lagene bør det utføres re-fukting/vanning av overflaten før påføring av neste lag.

Det kan benyttes noe høyere akseleratordosering på siste påslag for å få en finere overflate på sprøytebetongen.



Figur 4-17: Eksempel på sprøyting av 2. lag (2. av 3), til underkant nett. Foto: Veidekke Entreprenør AS

Sprøyting av brannsperre er vist i Figur 4-18. Hver seksjon avsluttes med tetting mot berg, for å hindre brann å spre seg bak tunnelkledningen. I overlappsonen vil det oppstå et merforbruk av materialer og sprøytebetong.



Figur 4-18: Detaljtegning av brannsperre ved overlappende PE-skumplater [7]

Krav til vann- og frostsikring i vegtunneler er gitt i Statens vegvesens vegnormal N500 Vegtunneler. For mer detaljering av oppbygning av hvelvkonstruksjon, se [7].

4.5.9 Feilsøking ved problemer

4.5.9.1 Generelt

Sprøytebetong er en sammensatt og komplisert arbeidsprosess. For at prosessen skal fungere optimalt, må alle parametere være i orden. Det hele starter i planleggingsfasen, der det fastsettes spesifikasjoner og sammensetning for sprøytebetongen. Produksjon av basisbetong er det første leddet, og videre er det transport, pumping, innblanding av akselerator og sprøyteutførelse. Til slutt utgjør herdebetingelsene siste fase. Sprøytebetongprosessen kan godt sees på som en slags samlebandproduksjon hvor alle delprosesser må være under kontroll og i orden. Dersom noe svikter i et av leddene, kan det få negative konsekvenser for sluttresultatet. Det som gjør denne prosessen så utfordrende er at den ikke foregår inne i en fabrikk, men skjer både på blandeverk, ute og i en tunnel der det alle steder er påvirkningsfaktorer.

Når et problem oppstår er det viktig å beskrive problemet korrekt, og det er den som utfører selve sprøytingen som gjerne opplever problemet. Problemer som kan oppstå er typisk knyttet til avbinding, tidligfasthet og/eller herding. I det videre er det gitt noen innspill til hvordan man kan gå frem for å søke etter årsaker til problemer i sprøytebetongprosessen. Det er imidlertid en umulig oppgave å gi en eksakt oppskrift på løsning og vi må innse at enkelte problemer er mer kompliserte og sammensatte enn andre. Enkelte problemer kan skyldes en kombinasjon av flere faktorer. Det er derfor viktig å arbeide systematisk og ha forståelse for alle delprosesser for å kunne nøste seg frem til en løsning.

4.5.9.2 Viktige faktorer

Beskrivelsen av situasjonen bør inneholde følgende:

- Fullstendig betongsammensetning inklusive siktekurve for tilslaget. Endringer i tilslaget, spesielt i de fine siktene, er sett å kunne innvirke på sprøytbarheten og sprøytebetongens tidligfasthet
- Hvordan oppleves den ferske betongen?
 - Temperatur, konsistens, fiberballer/stein. Er ferskbetonegenskapene jevne eller varierer noen parametere?

- Hvordan oppleves sprøyteakseleratoren?
 - Hva slags akselerator benyttes?
 - Akseleratortemperatur
 - Faktisk forbruk i kg/m³ eller liter/m³
 - Er akseleratoren homogen?
- Hvordan oppleves selve sprøyteprosessen?
 - Virker akselerator å fordele seg jevnt i sprøytebetongen?
 - Kommer det mye akselerator i pulsering?
 - Er akseleratorpumpe, kompressor og akkumulator i orden?
 - Pumpetrykk?
 - Er det åpent i blandekammer og munnstykke?
 - Blir det temperaturøkning i betongen kort tid etter sprøyting?
 - Er det problemer med avbinding (størkning) og/eller herding?
 - Er det klager på at betongen er for myk ved bolting etter noen timer?
- Hvordan er omgivelsene i tunnelen (temperatur, fukt, trekk...)?
- Eventuelt andre forhold som kan være av betydning

Når det er et problem er det viktig at det formidles så korrekt informasjon som mulig. Det er også viktig å delta under sprøyting, være til stede, observere, foreta målinger og sammenstille data. Når et problem må løses får man en mye enklere oppgave dersom mest mulig data og korrekt informasjon om prosessen er tilgjengelig, også når prosessen har gått normalt/godt.

I startfasen av et problem påpekes det ofte at det må være noe galt med sement, tilsetningsstoff eller akselerator. Dette er en helt naturlig tanke. Det er jo nettopp sementen og akseleratoren som i all hovedsak skal reagere og sørge for at betongen henger, avbinder og herder. Men i mange tilfeller kan også problemene relateres til andre parametere. Dette vitner om at en må angripe problemet med åpent sinn, ha fokus på alle faktorer og jobbe systematisk med årsakssammenhenger.

Det er to stikkord som bør fremheves når man jobber med feilsøking i en sprøytebetongprosess:

1. Tålmodighet til å prøve/varierte en parameter av gangen.
2. Ærlighet fra alle involverte parter om hva de faktisk leverer og gjør. Dette gjelder både betongleverandør, tilsetningsstoff- og akseleratorleverandør og sprøyteentreprenør. Dersom sprøyteentreprenøren ikke har målt sitt faktiske akseleratorforbruk, så bør det komme frem.

4.5.9.3 *Produksjon av basisbetong for sprøyting*

Basisbetong er en finsats og har i de aller fleste tilfeller kun en tilslagsfraksjon, 0-8 mm. Basisbetong er rik på bindemiddel (sement og silikastøv) og har lavt masseforhold. Tilslaget, samt fibertype og -mengde påvirker vannbehovet til betongen.

Dersom basisbetongen har variasjoner i temperatur, konsistens eller masseforhold vil ikke sprøyteprosessen kunne fungere optimalt. Å ha kontroll på fukt i sand er derfor meget sentralt. Svært ofte har blandevann i form av fukt i tilslag en annen effekt på konsistens enn tilsvarende mengde vann tilsatt som blandevann. Variasjoner i tilslagets fukttinnhold gir med andre ord varierende mengde tilsatt blandevann, som igjen kan gi variasjoner i konsistensen.

Viktige parametere for betongprodusent er:

- Gode rutiner for rengjøring av blander ved skifte av betongkvalitet, for å unngå forurensning av stein i basisbetongen. Stein kan kile seg fast i munnstykke og forårsake propp
- Fiber må gis tilstrekkelig blandetid hvis den tilsettes på betongbilen. Fiberballer vil kunne forårsake propp og andre problemer og er tegn på ujevn fordeling av fiber
- Ved produksjon av lengre serier basisbetong, er det god praksis å ta ut en prøve av den første bilen og sjekke konsistens og temperatur, før neste lass. Etterdosering av tilsetningsstoff på anlegget er mulig, men bør unngås
- Sprøyteentreprenøren bør gi tilbakemelding til betongprodusenten ved jevne mellomrom, også når alt fungerer godt. Betongprodusent kan også ta kontakt med sprøyteentreprenør dersom det er lenge siden noen tilbakemelding er gitt
- Et godt råd kan være å ta ut en liten prøve av hver sementleveranse som benyttes i sprøytebetongproduksjon. Ved plutselig problem kan sement fra tiden med problemer sammenlignes med sement fra en god periode. Leverandør av akselerator kan ev. være behjelpelig med å kontrollere reaksjon mellom sement og akselerator.
- Ved problemer med avbinding, tidligfasthet eller fasthetsutvikling i sprøytebetong bør betongprodusenten sjekke følgende:
 - o Fukt i tilslag (sjekk også historiske data for trykkfasthet på terningprøver)
 - o Vektkontroll i betongfabrikk
 - o Temperatur i betongen
 - o Variasjon i konsistens
 - o Innmatning av delmaterialer i blandemaskin. Tilsetningsstoffer bør ikke komme i kontakt med tørr sement

4.5.9.4 *Kjemi og reaksjon mellom sement og akselerator*

I støpt betong reagerer sement og vann på «normal» måte. I sprøytebetong endres kjemien i bindemiddelsystemet i tidlig fase pga. tilsetningen av akselerator. Det opptrer da andre kjemiske reaksjoner i tidlig fase i sprøytebetong.

Akseleratorvalg: De fleste produsenter av akselerator har flere varianter å velge mellom. Felles for dem alle er at de er høykonsentrerte, vannbaserte løsninger av diverse salter og/eller faststoffsuspensjoner. Hovedkomponenten i de fleste er aluminiumsulfat. Aluminiumioner (Al^{3+}) som er løst i vann er stabile ved pH-verdier opp til ca. 3. Dette er grunnen til at alle alkalifrie akseleratorer er sure (lav pH). Når akseleratoren blandes inn i sementpasta (sement og vann) vil aluminiumsulfat umiddelbart reagere med C_3A -fasen i sementen, samt gips og vann, og danne store mengder av en nåleformet mineralsk fase som kalles ettringitt, se Figur 4-19. Ettringitt binder mye vann og gjør at sprøytebetongen stivner til umiddelbart.

I tillegg inneholder akseleratorer forskjellige andre kjemiske komponenter som virker positivt på avbinding og herdeutvikling i sprøytebetong. Dette kan være aminer, fluoridsalter, salter av organiske syrer og andre aluminiumsforbindelser. Alle disse forekommer som regel i mye mindre konsentrasjoner enn aluminiumsulfat. Akseleratorer blir mer tyktflytende når temperaturen synker. Forstøving og innblanding av akselerator i sprøytebetong kan dermed endres i negativ retning. Dette fenomenet kan variere med sprøyteutstyr. Dersom sprøyteakselerator ikke blandes jevnt inn i sprøytebetongen, men forekommer i konsentrerte områder virker den ikke slik den skal. Denne ujevne fordelingen av akselerator vil kunne øke faren for at store områder av sprøytebetongen blir underdosert.

Lagingsstabilitet: Akseleratorer er høykonsentrerte løsninger. I motsetning til andre akseleratorer er ikke de alkalifrie basert på en type kjemikalie. I løpet av uker og måneder vil det kunne oppstå reaksjoner mellom de aktive kjemiske komponentene og det kan oppstå utfellinger. Det som i praksis skjer er at komponentene som i utgangspunktet er løst i vann, felles ut og danner partikler (salter). Akselerator som har felt ut vil virke dårligere, da væskefasen som er igjen vil inneholde mer vann og mindre av de kjemikaliene som skal virke akselererende. Det er viktig å ha god orden og gode rutiner for rengjøring av akseleratordoseringsystem, samt lagertanker. Ikke la små og tilsynelatende ubetydelige mengder partikler få akkumulere i en lagertank, men spyl lagertanker rene med vann regelmessig (for eksempel før fylling av nye varer). Dette krever litt innsats, men kan gjøre at man unngår større problemer.



Figur 4-19: Nåleformet ettringitt i sementpasta, 4 timer etter blanding med akselerator. Bildet er tatt i elektronmikroskop. Målestaven er 2 μm

4.5.9.5 Sprøyteutstyr

Innblandingsprosessen i sprøytemunnstykket er avgjørende for et godt resultat. Innblandingen påvirkes først og fremst av:

- Munnstykkets utforming
- Betongpumpens hastighet (volum betong pr. tidsenhet)
- Trykkluftmengde og trykkets størrelse
- Pumpetrykk
- Akseleratorpumpens kapasitet
- Betongens konsistens, deriblant seighet

Trykkluftmengden må være tilstrekkelig til å forstøve den betongmengden som strømmer gjennom munnstykket, slik munnstykket er utformet. Dersom basisbetongen er stiv eller seig, kreves større trykkluftmengde eller at betongstrømmen reduseres. Betong med høy dosering av SP-stoff og lav

vann dosering (i forhold til betongens vannbehov) får en spesiell seighet som kan påvirke evnen til å forstøves. Akseleratorpumpens kapasitet må også være tilpasset betongstrømmen.

Akseleratoren forstøves i munnstykket og blandes homogent inn i betongstrømmen. I motsatt fall vil deler av betongen sprøytes underdosert eller i verste fall uten akselerator.

Pumpetrykket i betongpumpa er også av avgjørende betydning. Dersom basisbetongen er feil proporsjonert, kan dette medføre økt pumpetrykk. Økt pumpetrykk vil gjøre det mer utfordrende å blande inn akselerator i betongen. Det er lurt å følge med på pumpetrykk og samtidig ha en klar formening om hva som er normalt nivå for pumpetrykk. Dermed vil man raskere kunne oppdage problemet.

Overdosering av akselerator kan også være negativt. Ofte vises dette ved at betongen blir brunfarget eller brunprikket i overflaten. Ved overdosering oppleves ofte at betongen avbinder og henger, men herdeutviklingen har en tendens til å stoppe opp etter noen timer. Hvor grensen for dette fenomenet går, er ikke konstant. Dette er avhengig av type akselerator, innblanding, sementtype, herdetemperatur, akseleratortemperatur, osv. I tillegg til problemer med herdeutvikling, er det også dårlig økonomi å overdosere.

I en feilsøkingssprosess må medgått mengde akselerator måles direkte på tank. En må forsikre seg om at munnstykket og alle hull for trykkluft- og akseleratortilførsel er rene og åpne. Det er god rutine å alltid rengjøre munnstykket etter ferdig utført sprøyting og kontrollere at alle hull for akselerator- og trykklufttilførsel er åpne før oppstart. Dette kan også gjøres mellom lass dersom det er ledig tid. En må studere sprøytestrålen ut fra munnstykket og se om det blåses ut mye akselerator i pulseringen. At akseleratoren blir jevnt fordelt, kan også sjekkes ved å sprøyte prøvefelter. Ved ujevn innblanding vil som regel dette gjøre utslag på temperaturøkning og fasthetstilvekst lokalt i feltet. En slitt sprøytespiss vil også kreve mer lufttrykk enn en ny.

De fleste sprøyterigger har et doseringssystem for akselerator der operatøren skal fastsette ønsket mengde akselerator. Operatøren bør kjenne systemet og vite hvilke parameter som er lagt til grunn. Dersom det ligger en grunnresept med 450 kg sement vil 10 % akselerator bli 45 kg, hvilket tilsvarer ca. 32 liter akselerator (når akseleratorens densitet er 1,41). Er grunnresepten 500 kg sement, vil 10 % gi 50 kg eller 36 liter akselerator. Uansett hvilket system som benyttes, så kan det være hensiktsmessig å fysisk måle virkelig forbruk i løpet av et skift eller i løpet av et betonglass. Dette måles på tank og ev. feil i doseringssystemet kan avdekkes. Det er ofte stor forskjell i nøyaktigheten i doseringssystem for akselerator. En konstant feil i doseringssystemet kan man leve med, så lenge man kjenner systemet og følger med på det faktiske forbruket. Ved problemer, kan det være lurt å kontrollere at doseringssystemet fungerer som det skal, og da må man ha erfart og kanskje notert seg hva som er normalt forbruk i gode perioder. Uansett kalibrering av doseringsutstyret vil mengde medgått akselerator variere med pumpekapasitet og betongkonsistens.

4.5.9.6 Omgivelsenes innvirkning

Sprøytebetong som benyttes i en tunnel blir alltid påvirket av omgivelsene som er i tunnelen.

Vannlekkasjer: Enkelte akseleratorer muliggjør sprøyting i områder med moderate vannlekkasjer. I praksis er det observert at ulike alkalifrie akseleratorer har forskjellig toleranse overfor vannlekkasjer og gir ulik risiko for kakenedfall. Man skal likevel være klar over at sprøytebetong som blir konstant

utsatt for rennende vann med lav temperatur vil bli nedkjølt, og følgelig størkne og herde seinere. Et mulig tiltak er å drenere vekk vannet på forhånd.

Kjølende lufttrekk: Kald ventilasjonsluft som blåses inn på stuff og gjennomtrekk etter gjennomslag vil påvirke herdebetingelsene negativt. Dette slår kraftigere ut på tynne sjikt av sprøytebetong. Trekk og ventilasjon vil også påvirke uttørkingssvinn og rissdannelse i overflaten. Standard herdetiltak benyttes som et minimum (bruk av heftforbedrende tilsetningsstoff og/eller ettervanning).

Betongtemperaturen påvirker herdehastigheten: Dersom temperaturen dobles eller halveres, vil dette øke og redusere reaksjonshastigheten omtrent tilsvarende.

Sprøyting på frostsone: Dette kan forekomme der man fryser inn løsmasser eller i geografiske områder der permafrost forekommer. Herdebetingelsene i slike tunneler er langt fra optimal. Under slike forhold vil sjikt av sprøytebetong på for eksempel 10 cm raskt bli nedkjølt og en betydelig økning i herdetid må forventes.

Utendørs sprøyting om vinteren: Dersom et tunnelprosjekt startes opp i vinterhalvåret vil påhugget og de første salvene som sprøytes foregå i områder der temperaturen i luft og bergoverflaten er lik utetemperaturen. Da blir målet å få sprøytebetongen til å avbinde og herde så mye at den tåler å fryse. Er det kaldt nok vil herdeutviklingen mer eller mindre utebli, og man må beregne mye lenger herdetid og betydelig større risiko for bom.

4.5.9.7 Kommunikasjon

I alle prosesser der flere mennesker deltar, er kommunikasjon viktig. Dette tror de fleste er enkelt å få til. Det er kanskje nettopp i vanskelige perioder med problemer at man tjener på å ha etablert gode rutiner for kommunikasjon.

Det finnes dessverre mange eksempler fra anleggsbransjen på at kommunikasjonen mellom sprøyteoperatør, anleggsledelse, byggherre, betongprodusent og tilsetningsstoff-/akseleratorleverandør har vært for dårlig. Det kan for eksempel ha vært misnøye med kvalitet eller for stor variasjon i kvalitet på basisbetong i lengre perioder uten at betongprodusenten har fått tilbakemelding om dette.

Det er derfor hensiktsmessig å etablere en jevnlig kontakt og dialog mellom alle parter. Dette kan være jevnlig møter, telefonkontakt eller e-post. Når alt er i orden og fungerer som det skal, tar ikke kommunikasjonen mye tid. Gode observasjoner og faktakunnskap fra gode perioder er verdifulle for å kunne løse problemer dersom slike skulle oppstå. Da vil det kunne være lettere å se hvilke faktorer som har endret seg.

4.6 Kvalitetskontroll og dokumentasjon

4.6.1 Praktisk kvalitetskontroll

Hovedhensikten med kontroll er:

- Å avdekke forhold som må korrigeres mht. den videre produksjonen
- Å skaffe dokumentasjon av kvalitet i henhold til spesifikasjonen

Kontroll er en nødvendig og integrert del av kvalitetssikringen. For at kontrollen skal fylle sin hensikt, er det av største betydning at kontrollresultatene vurderes og tolkes fortløpende og så raskt som mulig. Avvik fra spesifiserte krav må behandles uten unødig opphold. All erfaring tilsier at avvik vil kunne forekomme, og at rutiner for rask avviksbehandling derfor må være lagt opp på forhånd.

Forutsetningene for vellykket gjennomført kvalitetssikring er blant annet at bestilling og kvalitetskrav er entydige. Eksempel på kontrolldokument er gitt på egen side nedenfor.

Følgende hovedmomenter bør danne grunnlaget for kvalitetskontrollen:

1. At sprøytebetongen er spesifisert som beskrevet i punkt 1.1.2.
2. Hvert enkelt sprøyteavsnitt bestilles eller spesifiseres, for eksempel som angitt med skjemaet på neste side.
3. Betongkontroll dokumenteres iht. en kontrollplan (jf. utførelsesklasser i punkt 1.6.1). Dokumentasjon utarbeides og rapporteres som angitt i punkt 1.6.1.
4. Hvert enkelt sprøyteavsnitt dokumenteres med sprøyterapport, se eksempel på neste side.

Sjekklistene for hele sprøytebetongprosessen er gitt nedenfor. Tiltak i tilfelle avvik er gitt pkt 4.7.

4.6.2 Sjekklistene

Betongsammensetning

- Betongsammensetning godkjent
- Margin for trykkfasthet (se punkt 4.3.2)
- Margin for masseforhold (se bl.a. punkt 1.3.1)
- Korngradering for tilslag (se punkt 1.2.3 og 4.2.3)
- Alkalireaktivitet (se punkt 1.3.3 og 4.2.3)
- Silikadosering (se punkt 1.2.2 og 4.2.2)
- Fiberdosering (se punkt 1.3.6)
- Akseleratordosering (se punkt 1.2.5 og 4.2.4.6)
- Volumkontroll (se punkt 1.8.1)

Betongproduksjon

- Fukt i tilslag
- Oppmålingsnøyaktighet
- Fiberinnhold og -fordeling ved tilsetning på bil
- Konsistens (wattmeter)
- Fersk betongtemperatur
- Sprøytebarhet

Forarbeid/forberedelser

- Bergrensk (se punkt 1.5.1.1)
- Bergmasse registrering (se punkt 1.5.1.2)
- Utfylling av bestillingsskjema (se eksempel på skjema over)
- Ev. drenering av lekkasjer (se punkt 1.5.1.3)
- Ujevnhetsfaktor, bestilt betongvolum
- Rengjøring av underlag (se punkt 1.5.1.4)
- Tildekking av konstruksjoner/installasjoner (se punkt 1.5.1.5)
- Temperatur på underlag (se punkt 1.5.1.6)

Utførelse

- Sjekk av sprøyteutstyr
- Avrenning av fritt vann fra underlag (se punkt 1.5.1 og 4.5.4)
- Temperatur på akselerator (se punkt 1.4.2 og 4.2.4.6)
- Sprøyteavstand og -vinkel (se punkt 4.5.4)
- Akseleratorforbruk
- Erstatning av nedfall «kaker» (se punkt 1.8)
- Herdetiltak (se punkt 1.5.4 og 4.5.5)
- Ev. prøveuttak

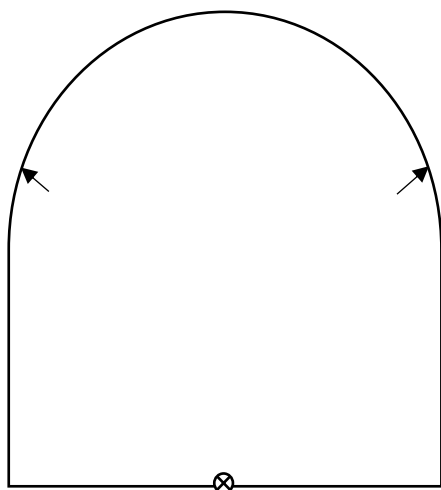
Høringsutkast kun til høringssformål

Kontrolldokument

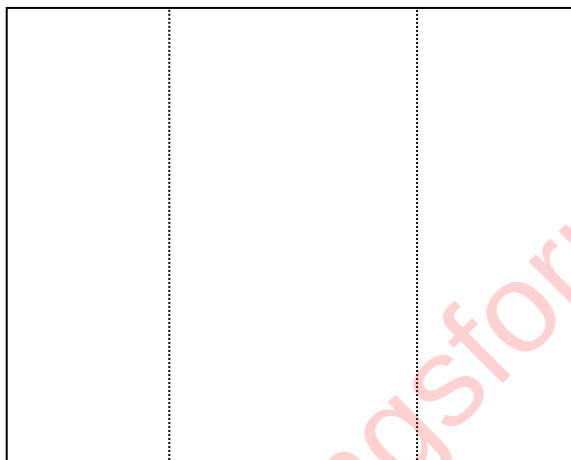
Bestillings-/rapportskjema sprøytebetong

Dato: _____ Tunnel: _____

Fra:



Til:



Bestilt / utført

(A) Lengde:

(B) Del av omkrets

(C) Areal (A x B):

(D) Tykkelse:

(E) Ujevnhetsfaktor (1,3-1,8):

(F) Prelletap (1,05- 1,1)

Mengde betong (C x D x E x F):

Mengde betong med fiber:

Mengde betong uten fiber:

Type/mengde fiber:

Merknader:

Underskrift:

Arbeidsleder

Kontroll

m Fjellflate: Våt/tørr

m Utført dato: kl. fra til

m² Rengjøring av bergoverflate:

cm Temperatur (min 2°C)

Tilsetningsstoff tilsatt på stedet:

- Type (SP)/ mengde: / l/m³

m³ - Aks type/mengde: / %

m³ Gj.snittlig tykkelse: cm

m³ Betongtemperatur / slump °C cm

Kg/m³ Målt tidligfasthet etter: Min MPa

Herdetiltak:

Utført betongprøving/
kontroll:

Mengdekontroll:

Identifikasjon

Verifisert av: Godkjent av: Rev / Dato: Side

Sprøyteoperatør

4.7 Tiltak i tilfelle avvik

NS-EN 13670 har regler for behandling av eventuelle avvik under utførelse av betongkonstruksjoner generelt. For sprøytebetong spesielt vil avvikshåndteringen omfatte:

1. Hvilke konsekvenser har avviket for det/de kontrollavsnitt der avviket ble konstatert?
2. Kan avviket berøre flere kontrollavsnitt?
3. Vil det være behov for utbedring/forsterkning?

Avviksbehandlingen må også omfatte hva som er den direkte, tekniske årsaken til avviket, samt en vurdering av om avviket kan ha en indirekte årsak, for eksempel om det er knyttet til organisasjonsmessige forhold eller en svakhet i rutiner/prosedyrer. I tilfelle avvik skal korrigerende tiltak gjennomføres umiddelbart.

Avvik må i de fleste tilfeller vurderes hver for seg, men sprøytebetong som ikke tilfredsstiller spesifiserte krav skal som hovedregel suppleres til fullgod sikring. Ulike alternativer for utbedring/forsterkning bør vurderes av geolog.

4.8 Grunnlag for oppgjør, måleregul

Måleregul for sprøytebetong er angitt i f.eks. NS 3420 og Statens vegvesens retningslinje R761 Prosesskode-1. Avregning skjer normalt etter utført sprøytet volum uten fratrekk for prelltap inntil 10 %, målenhet m³. «Kakenedfall» regnes ikke som prelltap, men skal erstattes med ny betong.

Eksakt måling av utført mengde sprøytebetong er forbundet med en del usikkerhet. Når basisbetong tilsatt luftinnførende tilsetningsstoff blandes, piskes et relativt stort volum luftporer inn i massen. Når basisbetongen sprøytes, kollapser og forsvinner det meste av luftporene, og volumet reduseres. Samtidig tilsettes akselerator med et visst volum, og det dannes en del kompakteringsporer (porer pga. ufullstendig kompaktering) i ferdig sprøytet masse.

For å ha et felles grunnlag for avregningen av både basisbetongen og den ferdig sprøytete betongen, settes følgende regel: Basisbetongvolum og ferdig sprøytet volum regnes lik 1 m³ dersom summen av fastvolumene (vekt av faste materialer og væsker dividert med materialenes fastdensitet) for alle delmaterialer tilsatt i betongblanderen, dvs. før sprøyting og tilsetting av akselerator, utgjør minst 960 liter. Det regnes ikke med volumøkning pga. akseleratortilsetning eller luftporer i sprøytebetongen.

Sprøytebetong og andre sikringsmidler kan i enkelte tilfeller også gjøres opp etter ferdig sikret flate med henvisning til sikringsklasse og minimumstykkelse på betongen. Dette overfører risiko til entreprenøren.

4.9 Referanser til kapittel 4

- [1] Hagelia P. (2016) Miljøbelastningar i vegtunnelar: Etatsprogrammet Varige konstruksjonar 2012-2015. Statens vegvesen rapport nr. 577
- [2] Hagelia P. (2018) Durability of sprayed concrete for rock support – A tale from the tunnels. Proc. of the 8th Int. Symp. on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Trondheim, Norway, June 11-14, pp.172-187
- [3] Bjøntegaard Ø. and Myren S.A. (2011) The accuracy of FRS concrete panel tests. Tunneling Journal, Oct/Nov 2011, pp. 44-50

- [4] Bjøntegaard Ø. and Myren S.A. (2011) Fibre Reinforced Sprayed Concrete Panel Tests: Main results from a methodology study performed by the Norwegian sprayed concrete committee. Sixth International Symposium on Sprayed Concrete, 12.-15. September 2011, Tromsø, Norway
- [5] Bjøntegaard Ø., Myren S.A. and Skjølsvold O. (2013) Round Robin Test program on Energy Absorption Capacity of Round Panels according to Norwegian Concrete Association's Publication no 7:2011. COIN Project report 48 – 2013, SINTEF Building and Infrastructure, ISSN 1891–1978 (online), ISBN 978-82-536-1349-9 (pdf), p.52
- [6] Bjøntegaard Ø., Myren S.A. and Beck T. (2018) Quality control of fibre reinforced sprayed concrete: Norwegian requirements and experiences from laboratory studies and tunnel projects, Proc. of the 8th Int. Symp. on Sprayed Concrete – Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Trondheim, Norway, June 11-14, pp. 97-107
- [7] Statens vegvesen Rapport 510 (2016) Gode løsninger for vann- og frostsikring i tunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

Høringsutkast kun til høringstformål



Kontaktinformasjon:
nb@tekna.no
www.betong.net

Copyright Norsk Betongforening