

Forståelse og bruk av håndbok R762, prosess 84

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 451



Tittel

Forståelse og bruk av Håndbok R762,
Prosess 84

Undertittel**Forfatter**

Øyvind Bjøntegaard, Bård Pedersen,
Gaute Nordbotten, Lise Bathen

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

601599

Rapportnummer

Nr. 451

Prosjektleder

Lise Bathen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Prosess 84 Betong, støpearbeider,
konstruksjon, betongegenskaper,
herdetiltak

Sammendrag

Denne rapporten inneholder orienterings- og bakgrunnsinformasjon om de nye bestemmelsene i prosess 84 "Betong" i revidert Håndbok R762 Prosesskode-2, Standard beskrivelse for bruer og kaier, 2015-utgaven (inklusive justeringer forventet publisert i 2018).

Rapportens hensikt er å bidra til bevissthet om kompleksiteten i betongarbeider og hvor lang tid som må medregnes til planlegging før de faktiske arbeidene igangsettes.

Rapporten vil være nyttig i forbindelse med opplæring, prosjektering og utførelse av betongarbeid.

Title

How to use and understand Manual R762,
Principal Specification 84

Subtitle**Author**

Øyvind Bjøntegaard, Bård Pedersen,
Gaute Nordbotten, Lise Bathen

Department

Road department

Section

Tunnel and Materials Technology

Project number

601599

Report number

No. 451

Project manager

Lise Bathen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Principal Specification 84 Concrete, cast
in place, structures, properties, curing

Summary

This report describes how to use and understand new regulations in principal specification 84 "Concrete" in Manual R762, General Specifications 2, Standard specification texts for bridges and quays (2015-edition and adjustments expected 2018)

The purpose of the report is to contribute to awareness of complexity of concrete work and time needed in planning before different type of execution starts in different types of concrete structures.

The report will be useful in connection with training, engineering and execution.

Innhold

1	Bakgrunn.....	2
2	Formål.....	2
3	Endringer av generell karakter	3
4	Endringer i Prosess 84 – generelt.....	3
5	Forståelse og bruk av prosesser under Prosess 84	3
5.1	Generelt.....	3
5.2	Stillas, forskaling og armering (prosess 84.1–84.3).....	4
5.3	Betongstøp (prosess 84.4).....	6
5.4	Bearbeiding av fersk betong, fri (uforskalt) flate (prosess 84.45).....	17
5.5	Herdetiltak (prosess 84.46)	19
5.6	Spesielle herdetiltak (prosess 84.5)	21
5.7	Mekanisk behandling av herdnet betong (prosess 84.6)	28
5.8	Monteringsferdige betongelementer (prosess 84.7)	28
5.9	Liming, overflatebehandling og hjelpeprodukter (prosess 84.8)	28
	VEDLEGG 1; BETONGPROPORSJONERING OG KONTROLL AV BETONGRESEPT	30

Sammendrag

Denne rapporten inneholder orienterings- og bakgrunnsinformasjon om de nye bestemmelsene i prosess 84 i revidert *Håndbok R762 Prosesskode-2, Standard beskrivelse for bruer og kaier*, 2015-utgaven (inklusive justeringer forventet publisert i 2018).

Rapporten går grundig inn i prosess 84.4 (Betongstøp) og 84.5 (Spesielle herdetiltak), mens øvrige prosesser i prosess 84 behandles lettere.

Rapportens hensikt er å bidra til bevissthet om kompleksiteten i betongarbeider og hvor lang tid som må medregnes til planlegging før de faktiske arbeidene igangsettes.

Det presiseres at denne rapportens innhold **ikke** skal betraktes som tilleggsbestemmelser til regler i *håndbok R762*, og at veiledninger og eksempler heller ikke skal oppfattes som de eneste mulige løsninger eller tiltak.

Rapporten er utarbeidet av Tunnel- og betongseksjonen, Statens vegvesen Vegdirektoratet.

1 Bakgrunn

Håndbok R762 *Prosesskode 2, Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier* er en av de viktigste håndbøkene i Statens vegvesen. Den gir tekniske standard- og minimumskrav for utførelse av bygge- og vedlikeholdsarbeider, regler for avregning, og ved selve prosessinndelingen også regler for hvordan ulike arbeider skal beskrives. *Håndbok R762* er et teknisk-juridisk dokument som i utgangspunktet gjelder bygging og vedlikehold av bruer og kaier.

Håndbok R762 er et selvstendig dokument hvor alle tekster i prinsippet er selvforklarende. Målgruppen er både prosjekterende ingeniør og utførende entreprenør.

I 2015 ble *håndbok R762* revidert. Hovedformålet med revisjonen var å implementere gjeldende norske standarder og ajourføre dokumentet med hensyn på teknologisk utvikling og terminologi. Innholdet er samkjørt med blant annet *håndbok R761*, *håndbok N400* og *Norsk Betongforenings publikasjon 14* [2016].

Det var også en målsetning å redusere behovet for spesielle beskrivelsestekster og egendefinerte, prosjektspesifikke prosesser. En viktig endring i betongkapittelet, prosess 84, er innføring av nye bestemmelser for betongtyper (definert i *HB N400 Bruprosjektering*) og for bruk av sementer og bindemidler. Revisjonen som er gjennomført i 2017 har primært vært å rette opp feil i utgaven fra 2015.

Forhold mellom håndbok R762 og annet regelverk

Håndbok R762 er å betrakte som et supplement til det regelverket som forøvrig eksisterer i bransjen. Betongkapittelet (prosess 84) bygger direkte på normalen *Håndbok N400 Bruprosjektering*, NS-EN 206+NA *Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar (NS-EN 206+NA)* og NS-EN 13670+NA *Utførelse av betongkonstruksjoner (NS-EN 13670+NA)*, samt norske standarder referert til i disse. Dette er presisert under b-d) i prosess 84.

Under enkelte prosesser er det henvist til andre dokumenter. Dette kan for eksempel være andre av Statens vegvesens håndbøker eller publikasjoner utgitt av Norsk Betongforening. Slike henvisninger betyr at de angitte dokumentene er å betrakte som tilleggsbestemmelser for vedkommende prosess.

2 Formål

Denne rapporten redegjør for endringer i *håndbok R762* som har betydning ved beskrivelse av betongarbeider, det vil si endringer i prosess 84. Formålet med rapporten er å:

- Gi en oversikt over og forklare bakgrunnen for de viktigste endringer som er gjennomført
- Gi veiledning på tiltak som vil kunne tilfredsstillte bestemte krav i enkelte underprosesser

Rapportens hensikt er også å bidra til bevissthet om kompleksiteten i betongarbeider og hvor lang tid som må medregnes til planlegging før de faktiske arbeidene igangsettes.

3 Endringer av generell karakter

Det er en del endringer i *håndbok R762* som er av generell karakter, men som også er viktig ved beskrivelse av betongarbeider i henhold til prosess 84.

Ordlyd som «Dersom ikke annet er angitt» er nå tatt ut av prosesskoden, det samme er tekst som «utbedring på entreprenørens kostnad». *Håndbok R762* er ett beskrivende kontraktsdokument, en bestilling av konkret levering. Det bestilles ikke mangler, og med det som bakgrunn er det valgt å ta slik ordlyd ut av prosessteksten. Entreprenøren er ansvarlig for å levere med den kvalitet som er bestilt gjennom *håndbok R762*.

I hovedsak er prosessinndelingen i den foregående utgaven beholdt uendret. Det er ryddet i prosessstruktur noen steder, for å gi større klarhet. En del nye prosesser er kommet til, og noen er slettet. Som følge av dette er flere prosesser omnummerert uten at innholdet er endret.

4 Endringer i Prosess 84 – generelt

Det er færre samleposter a–x). Der hvor det er gjeldende tekst vil denne i all hovedsak stå under det enkelte underpunkt. Arbeid skal utføres med henblikk på å oppnå de nominelle mål som er oppgitt i produksjonsunderlaget. Tillatte avvik skal dekke tilfeldige variasjoner og de skal ikke utnyttes systematisk.

Henvvisning til gjeldende standarder er endret til *NS-EN 13670+NA* og *NS-EN 206+NA*, det vil si årstall for utgivelse er utelatt og det er til enhver tid gjeldende standard ved kontraktsinngåelse som gjelder.

Overflatekravene gjelder alle konstruksjoner unntatt konstruksjoner under vann. Der gjelder toleranser gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 5, *Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann (NB5)*.

Tabell 84–2 er endret slik at det for *Dekker, overflate* er innført én og samme toleranseklasse, klasse 2, for nøyaktighetsklassene A, B og C. Det skilles ikke på type avslutning på dekker, hvorvidt de skal asfalteres eller avsluttes med betongstøp.

5 Forståelse og bruk av prosesser under Prosess 84

5.1 Generelt

I dette kapittelet forklares et utvalg av prosesser hvor det anses nyttig med utfyllende tekst, forklaringer og informasjon.

5.2 Stillas, forskaling og armering (prosess 84.1–84.3)

Stillas, provisoriske avstivninger og overbygg (prosess 84.1)

Prosessene for stillas og provisoriske avstivninger er helt omarbeidet mens prosessen for provisoriske overbygg bare har mindre endringer.

Stillaser og provisoriske avstivninger er noe som entreprenørene både prosjekterer, utfører, vedlikeholder og fjerner og har i praksis vært det i lang tid. Dette gjenspeiles nå i prosessene 84.11 *Prosjektering* og 84.12 *Oppsetting, vedlikehold og fjerning*. Ettersom det bygges få fritt frambyggbruer, er tillegg for denne brutypen skilt ut som egen prosess 84.13 *Tillegg for fritt frambyggvogner*. Bakgrunnen for dette er at det er mange krav til fritt frambyggbruer som bare ville gjort teksten i 84.11 og 84.12 uryddig for andre brutyper.

Ved utarbeidelse av konkurransegrunnlag er det meningen at både prosess 84.11 og 84.12 innarbeides i beskrivelsen. Unntaket kan være konstruksjoner der det ikke er behov for vertikal bæring eller noen form for avstivning som for eksempel støttemurer. Det anbefales at prosessene tas med for kulverter, miljøtunneler og tunnelportaler.

Stillaser for adkomst er ikke en del av prosessen, se punkt 4.3 i innledningen av *håndbok R762*.

I forbindelse med prosjektering av et stillas/provisorium er det noen forutsetninger som det er viktig at entreprenøren er klar over. Det er derfor nødvendig med spesiell beskrivelse i prosess 84.11, og beskrivelsen skal svare på henvisninger i prosessteksten. For eksempel: Hvis det er forutsatt reis fra bakken, kan ikke entreprenøren uten videre benytte forskalingsvogn, og skrå rammebein som ikke bærer sin egen vekt før bruoverbygningen er på plass, må stives av midlertidig.

I en del tilfeller setter *håndbok N400 Bruprosjektering* krav til at Vegdirektoratet skal kontrollere og godkjenne prosjektering av reis. Dette er omtalt i prosess 84.11. For øvrig reis må byggherreorganisasjonen sørge for denne kontrollen for eksempel ved å bestille dette som et tilleggsoppdrag fra prosjekterende. Det vil da være krav i norske standarder som avgjør kontrollomfanget.

Kontroll av utførelse skal følge norske standarder, og det er derfor ikke satt spesielle krav da det er vurdert at dette er godt nok.

Forskaling (prosess 84.2)

Prosess 84.2 med sine underprosesser er i all hovedsak beholdt uendret.

Erfaring har vist noen uheldige utslag ved gjenglemt ekspandert polystyren. Ekspandert polystyren tillates derfor ikke som forskalingsmateriale noe sted. Det tillates heller ikke å benytte strekkmetall i overdekningssonen.

Det er noe endret ordlyd i prosess 84.264 *Fortannede støpeskjøter*. Det er spesifisert at retningen på fortanning skal relateres til skjærkraftpåkjenning.

I prosess 84.265 *Utsparinger* er det innført bestemmelser om materialbruk til forskaling av sirkulære utsparinger under 200 mm. Her skal det benyttes tynnveggede spiralfalsete

stålrør, og disse skal fjernes etter utstøping. Det er innarbeidet prosesser med typiske utsparinger, for eksempel utsparinger for spennkabelforankringer.

Armering (prosess 84.3)

Skjøtarmering skal plasseres slik at det for begge konstruksjonsdeler og støpeavsnitt ikke er konflikt med toleransekravene for prosjektert armeringsplassering. Skjøtarmering skal sikres slik at de ikke forskyves under støp.

Heftsveising skal ikke utføres uten samtykke fra byggherren med unntak av prefabrikkerte armeringskurver for undervannsarbeider, utstøpte stålrørspeler og borede peler. Skal heftsveising utføres skal også risikoen for utmattingsbrudd være vurdert før heftsveis kan utføres.

Det er innført noen nye bestemmelser for armeringsstål. Blant disse er;

- Ø 8mm er strøket og skal ikke beskrives.
- For rustfritt stål er det innført PRE-verdi (mål for stålets motstand for groptæring, gir samtidig også en god indikasjon på generell korrosjonsmotstand). Økende verdi gir økende korrosjonsmotstand. Rustfritt armeringsstål skal være i henhold til NS 3576-5 og ha PRE-verdi >20.
- Armering påført korrosjonsbeskyttelse er tatt ut og skal ikke beskrives.
- Kryppestrømper og muffeskjøter skal beskrives. Det refereres til gjeldende standarder. Kryppestrømpe skal ikke benyttes som korrosjonsforebyggende tiltak, men kan benyttes konstruktivt for å hindre direkte kontakt mellom armering og betong for eksempel ved overgang til overgangsplate, se brudetalj K07.9.6 a) Overgangsplater med lengde 4 m.
- Prosess for armering med mekanisk endeforankring er innført.
- Prosessen for jordingspunkter for korrosjonsundersøkelser er flyttet til prosess 87.621.

Spennarmering (prosess 84.36)

Denne prosessen har fått store endringer, og det henvises til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 14 *Spennarmeringsarbeider (NB14)*.

Det er vektlagt at entreprenøren i samarbeid med spennstålleverandøren skal utarbeide detaljerte beskrivelser av nødvendige forankringer, skjøtekoblinger o.l. Prosjektering av endelig spennsystem kan ikke ferdigstilles med arbeidstegning før entreprenør er valgt og denne har tatt sine valg. Prosjekterende skal ha tilstrekkelig tid til å etablere arbeidstegninger basert på valgt spennsystem. Minimum 20 dager før oversendelse av arbeidstegninger fra prosjekterende oversendes nødvendig dokumentasjon av valgt spennsystem fra entreprenør til byggherre. Det er viktig at byggherren overstyrer tidskravet ved behov. Ved kompliserte forhold kan det være behov for mer tid og for enkle forhold behov for mindre tid.

Viktige endringer i prosess 84.36 er foretatt ved at minste prøvefasthet før oppspenning skal være 39 MPa terningfasthet. Kravet til oppspenningsfasthet i avsnitt d) er hevet fra 32 til 39 MPa som følge av at kravet til betongens fasthetsklasse generelt er blitt økt. Det presiseres at betongens fasthet skal kontrolleres på ugunstigste sted for herding, og i tillegg like bak

forankringsplatene som beskrevet i *NB14*. Eventuelle krav til forankringsplatenes størrelse etc. må angis i *den spesiell beskrivelsen*.

I prosessen er det presisert hva som følger av kravet om oppspenning tidligst etter 48 timer. Det skal ikke foretas full oppspenning før tidligst 48 timer etter at spennheten er innstøpt. Dersom annet ikke er angitt i *den spesielle beskrivelsen* er dette et absolutt krav. Trinnvis oppspenning kan tillates i samråd med byggherre og prosjekterende.

Oppnådd fasthet på alle prøvestykker skal dokumenteres, også for trinnvis oppspenning. Dette er en bestemmelse som kan ha ganske betydelige praktiske/framdriftsmessige konsekvenser, og som det derfor må tas høyde for i planlegging av fremdrift. Oppspenning er risikofylt og krever god oppfølging. Muligheten for trinnvis oppspenning er derfor nevnt som alternativ. Bakgrunnen for kravet om dokumentasjon av oppnådd fasthet er at korte herdetider er utfordrende for å oppnå tilstrekkelig oppspenningsfasthet. Full oppspenning kan ikke foretas før oppnådd 70 % av f_{ck} og ikke lavere enn 39 MPa terningfasthet. Trinnvis oppspenning gir mulighet for en annen fremdrift enn det å vente på full fasthetsoppnåelse.

Kravene om opplysninger om valgt spennsystem, kvalitet og kriterier er gitt i *NB14* og *NS-EN 13670 Utførelse av betongkonstruksjoner*. Entreprenør og øvrige brukere av *håndbok R762* må derfor også forholde seg til disse to normative dokumentene ved spennarmeringsarbeider.

Prosess 84.3616 er endret. Dersom det prosjekteres ekstra kabelkanaler skal det også inkludere forankringer, luft- og drens-slanget, det vil si ett komplett system.

Prosess 84.364 er endret. Her er omtalen av uregelmessigheter tatt ut av prosessen. Arbeidsoperasjonen skal tilfredsstillende spesifiserte gitt i *NB14*, også ved eventuelt behov for utbedringer.

5.3 Betongstøp (prosess 84.4)

Omfang

Vanlige tiltak for å hindre skader og nødvendige tiltak for å sikre tilfredsstillende herding i samsvar med *NS-EN 13670 +NA* inngår i prosess 84.4. Alle forhold rundt levering og utstøping, inkludert overflatebearbeiding og beskyttelse av betongen inngår i prosessen.

Beskrivelsen av omfanget av prosess 84.4 (tekst under a)) er nå avgrenset klarere enn før, slik at det som hovedregel ikke vil være nødvendig å beskrive prosesser under 84.5 (spesielle herdetiltak) for å komme frem til et «komplett produkt».

Avretting og overflatebearbeiding inngår nå i prosess 84.4 «levering og utstøping av betong inkludert overflatebearbeiding». Bearbeiding av overflater utover det som inngår i underprosessene 84.41 – 84.43; «avtrekking til samsvar med kravene til armeringsoverdekning», inngår i prosess 84.45. For alle flater som det stilles krav til utseendet eller jevnheten av, må det spesifiseres en prosess under 84.45 (se kapittel 5.4).

Prosess 84.4 omfatter herde- og beskyttelsestiltak mot skader pga. værforhold (lufttemperatur, vind, nedbør, solstråling, strålingstap mot klar himmel og så videre). Prosessen inkluderer beskyttelse mot alle ytre, skadelige påkjenninger i utførelsesfasen.

Tiltak mot skader som skyldes betongens egne «naturgitte» egenskaper som herdevarme etc. er imidlertid ikke inkludert i prosessen, men skal beskrives med prosessene 84.5.

Isolasjon eller tildekking og fyring for å hindre frostskaider eller overflateavkjøling som kan gi opprissing er altså inkludert i prosess 84.46, mens for eksempel isolasjon for å hindre riss pga. hydratasjonsvarme ikke er inkludert.

Ved å ta de herdeteknologiske virkemidlene ut av prosess 84.4 og angi de ved egne prosesser under 84.5 ønsker en å oppnå:

- Klarere kalkulasjonsgrunnlag
- Mer reell faglig vurdering fra prosjekterende og entreprenør: Er spesielle tiltak nødvendig for den aktuelle konstruksjonen? Kunne det ønskede resultatet vært oppnådd ved annen geometrisk utforming eller endret plassering av støpeskjøter?
- Mer reell styringsmulighet for byggeleder, både teknisk og økonomisk.

Delmaterialer

Sementer og tilsetningsmaterialer

NS-EN 206+NA godkjenner sementklasser, det vil si en «familie» av ulike sementprodukter, for bruk i betong i ulike bestandighetsklasser. *Håndbok R762* krever imidlertid spesiell godkjenning av hvert enkelt sementprodukt, og hvert sementprodukt skal være godkjent av Vegdirektoratet. Statens vegvesens konstruksjoner er generelt sterkt miljøpåkjennte, og aktuell bestandighetsklasse er normalt MF40 (frost- og kloridutsatt). Bakgrunnen for kravet om godkjenning av spesifikke sementprodukter er at det kan være vesentlig variasjon for ulike sementprodukter innen en og samme sementklasse når det gjelder egenskaper for betong. Godkjenningsordningen retter seg mot sementleverandørene.

Godkjenningsordningen med krav til dokumentasjon samt oversikt over de til enhver tid godkjente sementproduktene vil bli å finne (fra 2018) på Statens vegvesen sin hjemmeside. På denne måten har Statens vegvesen kontroll og kvalitetssikring med hvilke sementer som benyttes i vegvesenets konstruksjoner.

Tilsetningsstoffer

Bruk av størknings- og/eller herdingsakselerator skal være planlagt og inngå som en del av støpeplanen. Det samme gjelder for bruk av retarder. Samtykke til plan gis normalt når den ønskede effekten fremgår tydelig.

Tilslag

Det er gjort vesentlige endringer i kravspesifikasjon for tilslag. Det gis her en oversikt over endringene, i tillegg gis det en del kommentarer og forklaringer.

Flisighetsindeks (FI): Kravet for grovt tilslag er skjerpet fra FI 35 til FI 20. Begrunnelsen for dette er at dårlig kornform (høy FI) vil medføre dårlige støpelighetsegenskaper og høyt vann-/sementbehov i betong. Også kornform for det fine tilslaget vil ha vesentlig betydning, men det finnes per i dag ikke noen standardisert metode for å bestemme kornform for fint tilslag.

Motstand mot knusing for grovt tilslag (Los Angeles verdi = LA-verdi, enkel metode som gir et indirekte mål på mekaniske egenskaper): Det har vært et generelt krav om kategori LA35

eller bedre for grovt tilslag. For betonger med spesifisert fasthetsklasse > B45 er kravet nå skjerpet til kategori LA 30 eller bedre.

Fri glimmer: Det er innført et krav om maksimal mengde fri glimmer i fraksjonen 0,125/0,250 på 20 %. Høy mengde fri glimmer i finfraksjonen kan ha stor negativ effekt på vann-/sementbehovet i betong, og kan også gi direkte negativ effekt på betongens mekaniske egenskaper. Tidligere var krav om dokumentasjon av fri glimmer nedfelt i «Tekniske bestemmelser for klasse P Betongtilslag» av Kontrollrådet for betongprodukter (nå Kontrollrådet), men kravene forsvant etter innføringen av de felleseuropeiske standardene for tilslag. Metoden er ikke standardisert, men metodebeskrivelse er gitt i Statens vegvesens *Håndbok R210, Laboratorieundersøkelser, Metode for glimmertelling*. Grenseverdien på 20 % er en «liberal» verdi, og det er ønskelig med langt lavere verdier enn dette.

Slaminnehold: Det er satt krav om maksimalt innhold av slam i betongtilslag på 15 %, og en toleranse på ± 3 % på deklart verdi. Tilsvarende som for glimmer var det tidligere krav om dokumentasjon av slam, men dette forsvant etter innføringen av felleseuropeiske standarder for tilslag. Metoden er ikke standardisert, men metodebeskrivelse er gitt i Statens vegvesens *Håndbok R210, Laboratorieundersøkelser, Metode for undersøkelse av slaminnehold i betongtilslag*. Høy mengde slam vil kunne ha stor negativ innvirkning på vann-/sementbehovet i betong, og spesielt vil store variasjoner i sandens slaminnehold være ugunstig.

Det er innført toleranser for deklarte graderinger av tilslag som er strengere enn kravene gitt av *NS-EN 12620+NA Tilslag for betong (NS-EN 12620+NA)*. Stabil tilslagsgradering er en viktig parameter for å sikre jevnhet i betongens støpelighetsegenskaper og jevnt vann/sement-forhold. Toleransekravene gitt av tilslagsstandarden er så vide at de ikke sikrer tilstrekkelig jevnhet, og det har derfor vært nødvendig å sette strengere krav til toleranser for de ulike siktene.

Forekomst av magnetkis: Forekomst av magnetkis i tilslaget skal undersøkes vha. DTA (differensialtermisk analyse) og rapporteres. Ved påvist magnetkis skal totalt innhold av svovel ikke overstige grenseverdien gitt i *NS-EN 12620+NA*, det vil si 0,1 %. Kismineraler kan gi skadelige reaksjoner i betong. Dette gjelder spesielt magnetkis.

Alkalireaktivitet: Statens vegvesen har ikke egne krav knyttet til alkalireaktivitet, men følger kravene gitt av *NS-EN 206+NA*, som viser til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21 *Bestendig betong med alkalireaktivt tilslag (NB21)*. Vi har siden 1996 hatt et velfungerende system i Norge for å identifisere alkalireaktive tilslag. Regelverket tillater bruk av alkalireaktive tilslag forutsatt at disse brukes i kombinasjon med bindemidler som gir sikkerhet mot alkalireaksjoner (sementer med lavt alkaliinnhold, alternativt bruk av flygeaske, slagg og/eller silikastøv i tilstrekkelige doseringer). For noen konstruksjoner som er av spesiell viktighet eller er spesielt vanskelige å erstatte kan det være nødvendig å spesifisere skjerpede regler i form av «dobbel sikring», det vil si samtidig krav om at tilslaget skal være ikke-reaktivt og at bindemidlet skal gi sikring mot alkalireaksjoner. Eksempler på konstruksjoner i denne kategorien er senketunnelen i Bjørvika (Operatunnelen), Hardangerbrua og Hålogalandsbrua.

Enkelte lettilslag kan ha en kjemisk/mineralogisk sammensetning som gjør at de kan være potensielt alkalireaktive. I 2017-utgaven av *NB 21* ble det gjort en vesentlig endring av

regelverket for lettilslag av ekspandert leire eller ekspandert skifer ved at disse skal betraktes som alkalireaktive. For betonger med lettilslag skal det alltid benyttes bindemidler med flygeaske, slagg eller silikastøv som er dokumentert å gi sikring mot alkalireaksjoner.

Import av betongelementer og tilslag: Det importeres betongelementer (og også tilslag) fra enkelte land som ikke har et like godt utviklet system for å håndtere alkalireaktive tilslag som vi har i Norge. Noen tilslag i andre land vil også være betydelig mer reaktive enn de mest reaktive norske tilslagene vi kjenner. *Man skal derfor vise særlig aktsomhet ved import av betongelementer og tilslag.* NB 21 gir detaljerte regler for hvordan utenlandske tilslag (og dermed også importerte betongelementer) skal dokumenteres.

Betongframstilling

Generelt

Materialsammensetningen skal være slik at spesifisert fasthetsklasse for betongen blir oppfylt i henhold til kriteriene angitt i *NS-EN 206+NA* og dessuten i samsvar med de kravene som gjelder for den betongspesifikasjon som er angitt. Betongspesifikasjon velges i henhold til Statens vegvesen *håndbok N400 Bruprosjektering*.

Betongspesifikasjonene er SV-Standard, SV-Kjemisk og SV-Lavvarme. Betongkvaliteten benevnes ved fasthetsklasse og betongspesifikasjon, f. eks. B45 SV-Standard. Bindemiddel og betongsammensetning skal tilstrebes valgt slik at betongen får lavt vannbehov og moderat utvikling av hydratasjonsvarme.

De tidligere betongspesifikasjonene SV30 og SV40 er nå «samlet» i dagens spesifikasjon SV-Standard.

Kravene til bindemiddelsammensetning i *håndbok R762* er i henhold til *NS-EN 206+NA*, men det er gjort avgrensinger med hensyn til sementtype og dosering av silikastøv, flygeaske og slagg. Unntaket er for betongspesifikasjonen SV-Lavvarme hvor opptil 40 % flygeaske tillates medregnet i masseforholdet (*NS-EN 206+NA* tillater opptil 35 %). Bindemiddelkomponenter (f.eks. flygeaske og silikastøv) skal oppgis og beregnes i vekt% av total bindemiddelmengde.

Håndbok R762 krever bruk av silikastøv og flygeaske eller slagg i betongspesifikasjonene. Dette springer ut fra en bestandighetsvurdering. Silikastøv gir i tillegg et gunstig fasthetsbidrag og bidrar til å sikre homogenitet/hindre intern vannutskillelse i fersk betong.

SV-Standard er ment å være den mest anvendte betongen i hele landet. SV-Standard kan tilsettes flygeaske opptil totalt 30% av bindemiddelmengden: Dette gir mulighet for å redusere herdevarmen.

SV-Kjemisk er en spesialbetong som skal benyttes hvor eksponeringen av betongen tilhører eksponeringsklasse XA2 + XA3, forutsatt $\text{pH} > 4$. Typisk bruksområde er grunnforhold med alunskifer og sulfidførende bergarter. SV-Kjemisk tilsvarer sulfatmotstandsklassen SuR2 i *NS-EN 206+NA*. R762 krever at tilslaget til SV-Kjemisk ikke skal inneholde kalkstein / kalkfiller.

SV-Lavvarme er også en spesialbetong. Den skal benyttes i konstruksjonsdeler hvor risikoen for gjennomgående fastholdingsriss på grunn av herdevarme og temperaturforskjeller er betydelig og hvor slik opprissing er kritisk for funksjonsevnen, f.eks. betongkulverter utsatt for vann-/grunnvannstrykk. SV Lavvarme skal fortrinnsvis benyttes i ikke-marint miljø. Dersom konstruksjonen skal eksponeres i marint miljø skal det gjøres en vurdering av eksponeringsmiljø/-tidspunkt i forhold til betongens kloridmotstand.

Betongspesifikasjon	Krav til flyveaske og silikastøvinnehold (% av totalt bindemiddel)
SV-Standard (MF40)	Andel flyveaske 14 - 30% og silikastøv 3 - 5%
SV-Kjemisk (MF40)	Andel flyveaske 14 - 25% og silikastøv 8 - 11%
SV-Lavvarme (MF45)	Andel flyveaske \leq 40% og silikastøv 3 - 5% Krav til forhåndsdokumentasjon av herdetemperatur

For SV-Standard er det angitt standardprosesser for fasthetsklasse B35 til B55, for SV-Kjemisk B35 til B55 og for SV-Lavvarme B35 til B45.

Nærmere vurdering for å få rimelig godt samsvar mellom aktuell betongspesifikasjon og fasthetsklasse må gjøres i hvert enkelt prosjekt. Høyere fasthetsklasse enn B55 anses utfordrende å oppnå i deler av landet, og er derfor ikke angitt standardisert prosessnummer for.

For SV-Lavvarme er forhåndsdokumentasjon beskrevet av prosess 84.4 b) *Forhåndsdokumentasjon av SV-Lavvarme*. Forhåndsdokumentasjonen involverer både herdekasseforsøk (som avgjør bruk/ikke bruk) og trykkfasthet (kontrollalderen kan være opptil 56 døgn). Forhåndsdokumentasjonen av SV-Lavvarme må med andre ord gjennomføres i god tid før oppstart av betongarbeidene.

Når man skal bestemme raskhetstallet «r» er det i tillegg behov for å ha 2-døgnsfastheten. Raskhetstallet benyttes til å bestemme minste varighet av ordinære herdetiltak, se *NS-EN 13670+NA* og prosess 84.46, og er normalt definert som forholdet mellom midlere fasthet ved 2 døgn og ved 28 døgn. Dette gjelder når 28 døgn er kontrollalder for påvisning av karakteristisk fasthet. For SV-Lavvarme derimot kan karakteristisk fasthet være ved 56 døgn, og raskhetstallet for SV-Lavvarme blir dermed forholdet mellom midlere fasthet ved 2 døgn og ved 56 døgn. SV-Lavvarme vil kunne havne i raskhetskategorien «langsom», og hvis fastheten etter 2 døgn er ukjent bør derfor denne kategorien benyttes.

Proessen med å etablere en 1 m³ herdekasse og å gjennomføre logging av den ferske betongens temperaturutvikling er i dag godt innarbeidet. Forsøk utføres normalt enten på blandeverk eller byggeplass i samarbeid mellom betongleverandør og entreprenør. Beskrivelsen av hvordan SV-Lavvarme dokumenteres skal være relativt selvforklarende.

Tolkningen av måleresultatet er med vilje gjort enkel ved at kriteriet for SV-Lavvarme er knyttet direkte til målt temperaturøkning i herdekassa (justert for målt lufttemperatur). Dette gjør at aktørene får resultatet med en gang uten at det er behov for videre analyser.

Forhåndsdokumentasjon/innledende prøving av trykkfasthet skal gjennomføres i henhold til *NS-EN 206+NA* på fullskala blandinger, og gjelder for nye betongresepter eller betongresepter med mer enn 6 måneder pause siden siste gangs produksjon. Der SV-Lavvarme er planlagt benyttet vil det være sannsynlig at betongleverandøren ikke innehar tidligere erfaring med aktuell betongresept. Kontrollalder for fasthet for SV-Lavvarme kan være 56 døgn, mot normalt 28 døgn. Dette innebærer en dobling av prøveuttaket under den innledende prøvningen, det vil si minimum $3+3=6$ prøvelegemer fra hver av tre satser, for tre fasthetsbestemmelser henholdsvis etter 28 døgn og etter 56 døgn. Middelfastheten ved 56 døgn skal ha god margin (minimum 9 MPa) til kravet om karakteristisk fasthet. Styringsfastheten ved 28 døgn bestemmes ut fra forventet fasthetsutvikling dokumentert i forhåndsdokumentasjonen.

Eksempler på kontroll av betongens bindemiddelsammensetning og masseforhold

Det settes overordnede krav til fasthetsklasse og bestandighetsklasse for all betong:

- Fasthet: Hvilken fasthet betongen vil få bestemmes i trykkfasthetsforsøk og kan derfor ikke kontrolleres ved å se på en betongresept
- Bestandighetsklasse: Vi krever normalt bestandighetsklasse MF40. «F» betyr frostbestandig betong. Det vil si at det skal fremgå av betongresepten at den inneholder luftinnførende tilsetningsstoff (L-stoff). «40» betyr at maksimalt tillatt masseforhold er 0,40.

I tillegg er det krav til innhold av silikastøv i bindemiddelet, og til innhold av flygeaske (evt. slagg), samt til minimum effektiv bindemiddelmengde. I det følgende gis eksempler på kontroll av bindemiddelsammensetningen for to betongresepter, hvor det i begge tilfeller er beskrevet SV-Standard. [VEDLEGG 1](#) gir en mer detaljert beskrivelse av begreper og fremgangsmåte ved proporsjonering av betongens bindemiddel, samt kontroll av resepter; både for SV-Standard og SV-Lavvarme.

Før eksemplene nedenfor gjengis her kravene til en SV-Standard:

Det skal benyttes en sementtype som er godkjent av Vegdirektoratet (oversikt ligger på Statens vegvesen sin hjemmeside). Masseforhold maksimum 0,40, 3 - 5 % silikastøv av bindemiddelmengden og 14 - 30 % flygeaske av bindemiddelmengden. I tillegg skal effektiv bindemiddelmengde være minst 350 kg. Virkningsfaktor for silikastøv er 2,0 og for ekstra tilsatt flygeaske under blanding er virkningsfaktoren 0,7 (hvis ikke annet er spesifikt godkjent av Vegdirektoratet).

Kontrolleksempel 1: Spesifisert resept SV-Standard

Bindemiddelsammensetningen i en forelagt betongresept er som følger:

Bestanddel	Kg pr. m ³ betong
Fritt vann	165
Norcem Standardsement FA	400,8
Silikastøv	16,7

Mengde *bindemiddel* er mengden sement + silikastøv, det vil si:

$$400,8 + 16,7 = 417,5 \text{ kg}$$

Effektiv bindemiddelmengde er mengden sement + 2,0 x silikastøv, det vil si:

$$400,8 + 2,0 \times 16,7 = 434,2 \text{ kg}$$

$$\text{Masseforhold} = \text{fritt vann} / \text{effektiv bindemiddelmengde} = 165/434,2 = \mathbf{0,38}$$

$$\text{Silikastøv} = 16,7 \text{ kg, og andel silikastøv av bindemiddelmengden} = 16,7/417,5 = \mathbf{0,04 (4 \%)}$$

Kontroll:

Her er det brukt Norcem Standardsement FA, som er en godkjent sement. Masseforholdet er 0,38, andelen silikastøv er 4 % og effektiv bindemiddelmengde er 432,2 kg. I tillegg skal det fremgå av resepten at den tilsettes luftinnførende tilsetningsstoff (utelatt her).

Bindemiddelsammensetningen i denne betongen er med andre ord i orden. Det er for øvrig alltid nødvendig å proporsjonere betongen med et masseforhold som er lavere enn øvre grense (0,40) for å ta høyde for variasjoner ved fullskala betongproduksjon.

Kontrolleksempel 2: Spesifisert resept er også her SV-Standard

Bindemiddelsammensetningen i en forelagt betongresept er som følger:

Bestanddel	Kg pr. m ³ betong
Fritt vann	165
Norcem Anleggsement FA	348,6
Tilsatt flygeaske	72,3
Silikastøv	17,5

Mengde *bindemiddel* er: sement + silikastøv + tilsatt flygeaske, det vil si:

$$348,6 + 17,5 + 72,3 = 438,4 \text{ kg}$$

Effektiv bindemiddelmengde er: sement + 2 x silikastøv + 0,7 x tilsatt flygeaske, det vil si:

$$348,6 + 2,0 \times 17,5 + 0,7 \times 72,3 = 434,2 \text{ kg}$$

$$\text{Masseforhold} = \text{fritt vann} / \text{effektiv bindemiddelmengde} = 165/434,2 = \mathbf{0,38}$$

$$\text{Silikastøv} = 17,5 \text{ kg, og andel silikastøv av bindemiddelmengden} = 17,5 / 438,4 = \mathbf{0,04 (4 \%)}$$

Flygeaske: Her er det litt mer komplisert ettersom det er flygeaske både i selve (FA-) sementen, i dette tilfellet 17 % flygeaske (mengden kan endre seg, kfr. sementprodusenten deklarererte verdi), samt at flygeaske tilsettes separat ved blanding; og disse to bidragene må summeres.

- mengde flygeaske i sementen: 348,6 kg sement og 17 % av dette er flygeaske, det vil si $348,6 \times 0,17 = 59,3$ kg
- mengde tilsatt flygeaske er 72,3 kg
- total flygeaskemengde er $59,3 + 72,3 = 131,6$ kg
- andel flygeaske av bindemiddelmengden = $131,6 / 438,4 = 0,30$ (30 %)

Kontroll:

Her er det brukt Norcem Anleggsement FA, som er en godkjent sement. Masseforholdet er 0,38, andelen silikastøv er 4 %, andelen flygeaske er 30 %, og effektiv bindemiddelmengde er 434,2 kg. I tillegg skal det fremgå av resepten at den tilsettes luftinnførende tilsetningsstoff (utelatt her).

Bindemiddelsammensetningen i denne betongen er i orden. 30 % flygeaske er øvre grense for totalt flygeaskeinnhold for en SV-Standard. Det er for øvrig nødvendig å proporsjonere betongen med et masseforhold som er lavere enn øvre grense (0,40) for å ta høyde for variasjoner ved fullskala betongproduksjon.

Densitet

Volumet på prøvestykket må bestemmes i tillegg til vekten. Densiteten er vekten dividert på volumet og benevnes kg/m³. Prøvestykkets fukttilstand ved bestemmelse av densitet må fremgå av prøvningsrapporten. Dersom prøvestykket har ligget i vannbad skal overskytende vann tørkes av overflaten før veiing. Volum av et prøvestykke dokumenteres enkelt ved veiing av prøvestykket i luft og i vann i henhold til *Håndbok R210, Laboratorieundersøkelser, Metode for undersøkelse av densitet av herdet betong*.

Densitet av herdet lettbetong og betong levert til fritt frambyggbruer måles også som avformingsdensitet og prøves rett etter avforming, før betongen har anledning til å tørke ut og før den tar opp vann i vannbad.

Det er viktig å være klar over at vekten av et prøvestykke ikke er det samme som densiteten til betongen, selv om det benyttes prøveformer som har volum på én liter. Prøvestykket vil alltid være mindre enn formens volum ved avforming dersom det ikke er tilført ekspanderende tilsetningsstoff.

Selvkomprimerende betong (SKB)

Vi refererer i vårt regelverk til *NS-EN 206+NA*, men norsk standard er i liten grad spesifikk på de ulike hensyn som bør tas ved produksjon og utførelse av SKB. Norsk Betongforenings publikasjon nr. 29 *Veiledning for produksjon og bruk av selvkomprimerende betong (NB29)* gir rammer for produksjon og bruk av SKB for betongleverandør/entreprenør, samt byggherrens betongfolk i prosjektet. Før man starter produksjonen av SKB skal det gjennomføres forarbeid som dokumenterer at man tilfredsstillter spesifikasjoner for både viskositet og synkutbredelse før levering kan gjennomføres.

Viskositeten skal være $t_{500} \geq 2$ sekunder; dette bidrar til stabilitet (tilsvarer stabilitetsklasse T2 i NB29 og viskositetsklasse VS2 i *NS-EN 206+NA*).

For synkutbredelse (SU) angir *NB29* konsistensklasser, alternativt en tilsiktet verdi. Følgende synkutbredelse anbefales:

- For dekker: Tilsiktet SU-verdi 550–600 mm
- For vegger: Tilsiktet SU-verdi 650–700 mm

SU-verdi over 700 mm har vist seg risikofylt (ved manglende erfaring og/eller dårlig forarbeid). Stabil SKB med høy synkutbredelse (også langt over 700 mm) kan produseres i tilfeller hvor det er gjennomført godt forarbeid, og riktige delmaterialer er tilgjengelige. Det fordres generelt tilgang på ekstern filler, enten i form av en fillerrik sekundærsand, eller som rent pulver

Forarbeid ved bruk av SKB:

- Identifiser så tidlig som mulig i prosjektet hvor og når SKB bør/må brukes
- Benytt *NB29*
- Beregn tilstrekkelig periode med reseptutvikling og prøveblandinger/kontroll
- For vurdering av stabilitet, se for eksempel kapittel 2.1 i *NB29*
- SKB skal betraktes som en egen resept, med de vanlige krav som stilles til forhåndsdokumentasjon av fasthet
- Produksjon og mottakskontroll (se tabell 1.4 i *NB29*).

Etterarbeider

Dersom det oppstår steinreir skal disse meisles vekk inn til tett og feilfri betong. Hvis steinreiret går bakom armeringen skal det også meisles bakom armeringen. Utmeislingen bør avgrenses av en meislet flate ca. 45° med betongoverflaten, det er ikke gunstig med et 90° spor dannet med sagblad/vinkelsliper. Utmeislede sår bør rengjøres for støv og løse partikler før det støpes igjen. Utbedring av skader som oppstår i byggefasen skal utbedres i henhold til prosess 88.2 om ikke helt spesielle forhold tilsier noe annet.

Fjerning av grater og knaster på synlige flater er ikke noe nytt krav, men det har ofte blitt oversett. Utstående spiker skal fjernes for at de ikke skal representere en sikkerhetsrisiko under selve arbeidene eller ved seinere inspeksjoner av konstruksjonen.

Identitetsprøving

Kravet til luftinnhold i fersk betong er satt til reelt luftinnhold etter pumping. Luftinnholdet måles stort sett før pumping av praktiske hensyn. Det er akseptabelt at luftinnhold måles før pumping i de tilfellene hvor det er kartlagt ved måling en referanse for hva luftinnholdet er etter pumping. Referansen bør følges opp med jevnlig målinger etter pumping gjennom utbyggingsprosjektene.

Det generelle kravet til luftinnhold i betongen er endret fra $5,0 \pm 1,5$ % til dagens $4,5 \pm 1,5$ % (opptil B45). Unntak gjelder for plasstøpte betongrekkverk, hvor luftinnholdet skal være $5,5 \pm 1,5$ % (prosess 87.241). Endringene i det generelle kravet er gjort for å ivareta både frostbestandighet og fasthetsoppnåelse. Dagens sementer gir ikke lenger de overfastheter vi så for en del år siden. Luftinnholdet er derfor nedjustert for å sikre betongens fasthet, men uten å gå på bekostning av frostbestandighet. Det gjøres spesielt oppmerksom på at luftinnholdet i noen tilfeller kan øke ved pumping, noe som altså vil gi seg direkte utslag i redusert fasthet. På tilsvarende vis kan luftinnholdet i noen tilfeller øke under transport

All betong skal være frostbestandig og dermed tilsettes luftinnførende tilsetningsstoff (L-stoff), og luftinnholdet skal kontrolleres.

Det bør tilstrebes et luftinnhold på ca. 3,5– 4,5 %, både fordi luftinnholdet er enklest å holde jevnt i dette området, og fordi en unngår risiko for stor fasthetsreduksjon som kan opptre når luftinnholdet blir særlig høyere.

Med hensyn til den nedre grensen for luftinnhold, 3,0 %, foreslås det at denne praktiseres med faglig skjønn når det gjelder aksept/kassasjon:

- For konstruksjonsdeler som stadig vil være utsatt for oppfukning og saltsprut fra vegbane, bør luftinnhold under 3,0 % betraktes som kassasjonskriterium. Dette vil gjelde kantbjelker og andre konstruksjonsdeler med horisontale eksponeringsflater, nedre del av søyler og vegger nær vegbane etc.
- For konstruksjonsdeler som er «godt luftet» og lite utsatt for høy vannmetningsgrad, bør en ikke nødvendigvis kassere betongen, men kun gi beskjed til blanderiet om å korrigere luftinnholdet. Dette vil gjelde blant annet underkant brudekker, øvre vertikale deler av søyler, landkar frontvegger etc. Her må entreprenøren ha dialog med byggherren.

For å kunne ha rimelig ensartet praktisering av kassasjon pga. avvik i luftinnholdet er følgende god praksis: Dersom betongen viser uakseptabelt lavt eller for høyt luftinnhold, avvises betonglasset i første omgang. Betongleverandøren/entreprenøren får imidlertid anledning til å korrigere luftinnholdet på byggeplassen ved å tilsette:

- L-stoff utblandet i vann ved for lavt luftinnhold
- «Demper» / «Luftbrems» ved for høyt luftinnhold

Dersom betongen ved ny kontroll viser akseptabelt luftinnhold, kan det tidligere avviste betonglasset aksepteres. Trommelbil bør ikke fortsette tømning av betong til pumpe mens luft kontrolleres, men stå i ro under prøving. Det er i *håndbok R762* stilt krav om at luftinnholdet skal måles og ligge innenfor kravene på tre påfølgende lass før det regnes stabilt. Det vil i praksis si at ved oppstart av støp skal tre påfølgende lass være kontrollert og i orden før en kan gå inn i rutinen med å måle luft for hver 50. m³. Dersom det ved neste kontroll etter 50 m³ viser ok luftinnhold er det ikke stilt krav om ny kontroll før nye 50 m³ er lagt ut i form. Er derimot luftinnholdet utenfor kravet ved denne stikkprøven skal luftinnholdet være ok etter kontroll på tre påfølgende lass før frekvensen kan reduseres igjen. Dette vil nødvendigvis gjøre at dialogen med blandeverket intensiveres dersom luftinnholdet ikke er ok. Det er også hensikten.

For betong av fasthetsklasse over B45 er kravet om luftinnhold på $3,5 \pm 1,5$ %. For høyt luftinnhold vil kunne gjøre det svært vanskelig å oppnå høy nok fasthet. Høystyrkebetong skal med andre ord også tilsettes L-stoff, men doseringen skal holdes så lav at luftinnholdet helst blir liggende med tilsiktet verdi i området 3 – 4 %.

Kontroll av masseforhold

To typer kontroller utføres for å verifisere reelt oppnådd masseforhold. Den første berører innveingsverdier og er grunnlag for å følge opp oppveingsnøyaktighet og samsvar mot resept i styringssystemet. Metoden gir god oversikt over oppnådd masseforhold ut i fra

innveieringer og målt fukt i tilslag. Det settes opp en oversikt fra betongleverandøren med minst 20 innveingsdata for hver påbegynte 2000 m³.

Den andre metoden skal baseres på prøveuttak av fersk betong på byggeplass og oppgitt masseforhold fra blandeverk. Masseforholdet verifiseres på byggeplass av entreprenøren ved minst tre uavhengige målinger for hver påbegynte 2000 m³. Det er en forutsetning at de uttatte prøvene er representative. Masseforholdet verifiseres ved uttørking etter metode beskrevet i *Håndbok R211 Feltundersøkelser; Metode for dokumentasjon av masseforhold av betong*. For å ha rimelig ensartet håndtering for kontroll av masseforholdet ved stikkprøver foreslås følgende som en veiledning;

- Ved måleresultat 0,02 – 0,03 utenfor oppgitt er-verdi på blanderapport varsles betongblanderiet umiddelbart om resultatet, og om at ny prøve vil bli tatt for å verifisere resultatet.
- Ved måleresultat større enn 0,03 utenfor oppgitt er-verdi på blanderapport varsles betongblanderiet umiddelbart om resultatet, fukt i tilslag sjekkes, vann fra andre kilder kontrolleres og tilsatt vannmengde eventuelt korrigeres. Ny prøving av masseforholdet utføres umiddelbart.

Det poengteres igjen at forutsetningen for å få riktige verdier for masseforhold er at prøveuttakene er representative.

Merk at vannmengden som bestemmes ved uttørking er den totale mengden inklusive absorbert vann i tilslaget. Absorbert vann i tilslaget er prinsipielt forskjellen mellom «beintørr» og mett overflatetørr tilstand, og er altså et mål på tilslagets porøsitet. Ved beregning av masseforhold benytter vi mett og overflatetørt tilslag, fordi det ved denne tilstanden ikke utveksles vann mellom tilslaget og sementlimet. Det må derfor korrigeres for absorbert vann ved beregning av effektivt masseforhold, noe som er tatt inn i forsøksprosedyren det her refereres til. Absorbert vann i tilslaget vil «typisk» utgjøre i størrelsesorden 12–15 l/m³ for ordinære norske tilslag.

5.4 Bearbeiding av fersk betong, fri (uforskalt) flate (prosess 84.45)

For frie flater skal en av følgende prosesser innarbeides i beskrivelsen

- 84.451 Avretting og pussing av fri (uforskalt) overflate
- 84.452 Avretting og bearbeiding av overflate som skal belegges med membran
- 84.453 Avretting og pussing av brudekke som skal belegges med fuktisolering
- 84.455 Monolittisk betongslitelag

Avretting og pussing av fri (uforskalt) overflate (prosess 84.451) benyttes for eksempel på overkant av følgende konstruksjonsdeler: kantdragere, søyler, vegger, fundamenter og overgangsplater. Det vil si for frie betongoverflater som ikke skal belegges eller fungere som betongslitelag. Det skal angis i *den spesielle beskrivelsen* om stålglatting skal utføres, men generelt frarådes stålglatting. For karakteristiske linjer (kantdrager, sidekant, betongrekkverk) skal det legges vekt på et tiltalende utseende.

For avretting og bearbeiding av overflate som skal belegges med membran (prosess 84.452) er det viktig å påpeke forskjellen mellom membran og fuktisolering. I definisjonslista til *håndbok N400 Bruprosjektering*, er det angitt følgende definisjoner:

Membran: Barriere mellom konstruksjon og løsmasser for å forhindre fukt- og vanninntrenging over og under grunnvannstanden.

Fuktisolering: Barriere mellom konstruksjon og asfalt for å forhindre fuktinntrengning.

Flater som skal belegges med membran er overkant av tunnelportaler, betongtunneler og kulverter der det er fylling med løsmasser direkte mot konstruksjonen. Løsmassene kan imidlertid være en del av vegoppbyggingen. Det er viktig å sette fokus på flatens egnethet for membranen det vil si at det ikke er punkter som kan punktere membranen. Dialog med membranleverandøren er viktig i denne sammenhengen. Så lenge øvrige toleranser er oppfylt, er ikke andre krav til geometri viktige ettersom løsmasser tilpasses lett. Flater bør imidlertid ikke ha svanker som kan samle opp vann.

Avretting og pussing av brudekke som skal belegges med fuktisolering (prosess 84.453) benyttes på brudekker som skal belegges med fuktisolering som beskrevet i prosess 87.13. Det er i prosessen stilt strenge krav til avrettingsutstyret. Erfaringer fra blant annet brudekkene på E18 i Vestfold viser at kravene er riktige for å oppnå den jevnheten som kreves. Det er i prosessen stilt krav til

- bruk av vibrobrygge opplagt på lirer
- lirer som har underkant over ferdig betongdekke, det vil si luftlirer
- at lirer skal kunne justeres uavhengig av forskalingen
- at lirer er av metall
- at lirene skal justeres før avtrekking, men etter at det vesentligste av betongen er støpt ut

I praksis vil dette si at vibrobrygga utformes slik at den dekker hele brubredde og legges opp på metallirer som ligger i en justerbar sko (skrujustering ved å dreie en mutter) plassert på en støtte som i sin tur står på forskalingen. Støtten må stå utenfor den delen som støpes. Bruk av lirer i tre gir ofte deformasjoner i treet som følge av uttørring. Det er derfor satt krav til lirer i metall.

I enkelte tilfeller vil kravene være vanskelige å få til, for eksempel ved stort tverr- og/eller lengdefall. Egne krav bør derfor stilles i *den spesielle beskrivelsen*, eller det kan angis at metode skal avtales med byggherren. Takfall er ikke noe problem å få til med dagens utstyr.

Det er satt omfattende krav til nivellering av brudekket i prosessen. Målingene skal utføres i rutenett på 2 m x 2 m. Det skal nivelleres for hver støpetappe både før og etter riving av stillas og understøttelser. Dette skal være til hjelp for videre arbeider slik at stillas og understøttelser bedre kan tilpasses videre etapper, og for at det skal være mulig å fastslå årsak til eventuelle avvik. Det er viktig at både entreprenør og prosjekterende involveres i denne prosessen for å sikre en best mulig forståelse for å få et godt sluttprodukt.

Det er også stilt krav til at det ferdige brudekket måles inn før arbeider med belegning, kantdragere, betongrekkverk og fuge påbegynnes. Resultatene fra innmålingene skal forelegges byggherren minimum 15 arbeidsdager før arbeidene påbegynnes. Tanken med dette kravet er at prosjekterende skal vurdere om det er nødvendig å justere veglinja opp eller ned. Hvis det er nødvendig, vil dette påvirke kotehøyden på overkant belegning, kantdragere, betongrekkverk og fuge. Det er således viktig at tegninger blir revidert før det videre arbeidet fortsetter. De 15 dagene er avsatt til vurdering og revidering av tegninger og kan justeres opp eller ned i *den spesielle beskrivelsen* avhengig av prosjektets størrelse og kompleksitet.

Den siste innmålingen av brudekket skal innarbeides på «som bygd tegninger» i henhold til *håndbok N400 Bruprosjektering*. Det er derfor fornuftig å få innmålingene på en form som gjør dette enkelt.

Toleransekravene (tabell 84-1) er stilt slik at det er mye strengere krav til maksimalt avvik fra riktig høydeforskjell målt innen 20 meter enn sammensatt byggtoleranse. Dette innebærer at selv om brua ligger innenfor toleranser, er det mulig at veglinja bør justeres. Toleranser gitt for tverrsnitt gjelder kun selve tverrsnittdimensjonen og ikke plassering av tverrsnittet.

Oppsummert blir saksgangen følgende fra og med nivellering av ferdig brudekke:

1. Entreprenøren nivellerer brudekket og sender resultatene til byggherren. Dersom det er avvik, skal dette rapporteres som avvik med forslag til korrigerende tiltak (for eksempel sliping av kuler).
2. I samråd med bru- og vegprosjekterende vurderer byggherren om veglinja skal justeres. Hvis ikke det er behov for justering, fortsetter arbeidene i henhold til arbeidstegninger. En justering ved å legge opp til færre asfaltlag skal ikke gjøres, men det kan legges inn et ekstra avrettingslag forutsatt at bruprosjekterende godtar dette (for de fleste bruene er det større krav til dimensjonerende belegningsvekt enn vekt tilsvarende prosjektert belegningstykkelse).

3. Dersom det er behov for justering av veglinje, informeres entreprenøren om dette. Høyde på topp kantdrager og betongrekkverk samt overkant på slitelag og fuge justeres og tegninger revideres.
4. Arbeidene fortsetter når reviderte tegninger foreligger.

Monolittisk betongslitelag (prosess 84.455) kan bare benyttes der tilstøtende veg har grusdekke (i henhold til *håndbok N400 Bruprosjektering*). Dette vil gjelde få steder og for lavtrafikkerte veger. Prosessen omtales derfor ikke ytterligere.

5.5 Herdetiltak (prosess 84.46)

Generelt

Ordinære herdetiltak (prosess 84.46) er ment alltid å være del av kontrakten ved betongarbeider, og er regnet som «god håndverksmessig skikk». De ordinære herdetiltakene benyttes for å sikre god herding i overdekningssonen, som er direkte utsatt for vær og vind. God herding vil si å sikre mest mulig optimale betingelser for utvikling av fasthet og tetthet, samt å minimalisere opprissing. Herdetiltak må planlegges, og for frie flater iverksettes så raskt som mulig etter at betongen er støpt.

Varighet av herdetiltak

Varigheten av herdetiltakene er avhengig av betongens raskhetstall «r» og betongens overflatetemperatur under herding. Minste periode med herdetiltak bestemmes normalt fra Herdeklasse 3 i tabell F.2 i *NS-EN 13670+NA* for å sikre minimum 50 % av karakteristisk fasthet i betongoverflaten når herdetiltaket avsluttes. For konstruksjonsdeler i marint miljø skal man benytte Herdeklasse 4 i tabell F.3, som sikrer 70 % fasthet i betongoverflaten når herdetiltaket kan avsluttes. Raskhetstallet er forholdet mellom fastheten ved 2 døgn og ved 28 døgn (unntatt for betongen SV-Lavvarme hvor raskhetstallet er forholdet mellom fastheten ved 2 døgn og ved den alderen som er valgt som kontrollalder for fasthet, senest ved 56 døgn). Raskhetstallet definerer om betongen karakteriseres som «hurtig», «middels» eller «langsom».

Eksempel, varighet av herdetiltak for en «middels» rask betong:

Det er bestemt ved innledende prøving at en betongs raskhetstall er mellom 0,3 og 0,5; det vil si at den karakteriseres som «middels rask». I tillegg påvises det ved dokumentasjon at betongens overflatetemperatur i gjennomsnitt ligger i området 15–25 °C. Herdeklasse 3 angir da at herdetiltaket skal ha varighet 4 døgn, mens Herdeklasse 4 angir 9 døgn.

Hvis det ikke gjennomføres måling av betongens overflatetemperatur skal det antas at betongens gjennomsnittlige overflatetemperatur er lavere enn 15 °C.

Dette innebærer at herdetiltak:

- Har varighet på 7 døgn for døgnmiddeltemperatur større enn 10 °C (13 døgn for Herdeklasse 4)
- Har varighet på 9 døgn for døgnmiddeltemperatur mellom 5 og 10 °C (18 døgn for Herdeklasse 4)
- Varigheten forlenges ytterligere for døgnmiddeltemperatur under 5 °C (ref. *NS-EN 13670+NA*)

Alternativt kan varighet av herdetiltak baseres på:

- Herdeteknologi, det vil si sammenhengen mellom trykkfasthet og modenhet. Dette forutsetter at betongens temperaturutvikling registreres med temperaturmålere maksimum 10 mm under overflaten (evt. betongtemperatur antas lik luftens midlere temperatur) og at betongens fasthetsutvikling ved standard 20 °C herding og dens temperaturfølsomhet (aktiveringsenergi) er kjent. Varigheten av herdetiltak er da minimum frem til betongens overflatesjikt har oppnådd 50 % av karakteristisk fasthet i Herdeklasse 3 (70 % i Herdeklasse 4).
- Fasthet målt på terninger som har herdet ved samme temperaturhistorie som konstruksjonens betongoverflate. Varigheten av herdetiltak er da minimum frem til betongterningene har oppnådd 50 % av karakteristisk fasthet i Herdeklasse 3 (70 % i Herdeklasse 4).

Type herdetiltak

Egnede herdetiltak for forskalte flater er beskrevet i prosess 84.46 a). Det bemerkes spesielt her at påføring av herdemembran etter fjerning av forskaling ikke betraktes som et herdetiltak. Herdemembraner er utviklet for å påføres en fersk uforskalt betongoverflate.

Herdetiltak for frie (uforskalte) overflater er beskrevet i egne prosesser, hhv. 84.462 (med varmeisolasjon) og 84.463 (uten varmeisolasjon). Prosessen med varmeisolasjon anbefales generelt benyttet fremfor den etterfølgende prosessen uten varmeisolasjon. Man kan i stedet, i enkelttilfeller, bli enig om å sløyfe varmeisolasjonen når forholdene tillater det. Spesiell oppmerksomhet gjelder ved store horisontale støpearbeider som fundamenter og dekker. Her vil det være stor tidsforskjell mellom første (bunnlag) og siste (topplag) betongleveranse, og det gjelder å «få i gang» herdeprosessen i topplaget for å redusere faren for opprissing, og varmeisolasjon er gunstig i så måte.

Prosessen med varmeisolering ønskes benyttet fordi frie (horisontale) overflater med nystøpt vegvesenbetong (lavt masseforhold) tåler svært lite avdamping før overflaten blir tørr. Når dette skjer vil betongen trekke seg sammen ala «*leire som tørker*» (plastisk svinn utvikles). Avdamping medfører også at betongoverflaten avkjøles; dette bidrar til å forsterke sammentrekningen. Opprissing som skyldes disse effektene (plastiske svinnriss) er ofte omfattende og ofte med store og dype riss som resultat. Tidlig påføring av herdemembran og plast er derfor svært viktig for å unngå avdamping.

Varmeisolering i tillegg, altså prosess 84.462, bidrar ytterligere til å holde på varmen i overflaten/overdekningssonen og dermed også til å få i gang herdeprosessen. Dette gir to effekter:

- 1) Reduserte temperaturdifferanser over betongtverrsnittet.
- 2) Redusert tendens til nedadrettet vanntransport mot dypere betonglag som er støpt tidligere og kommet lenger i sin herdeprosess (gir nedad rettet vannsug pga. kjemisk svinn). Dette bidrar til å redusere opprissingstendensen i overdekningssonen, både i tidlig alder og i herdefasen.

Utførelse/herdetiltak ved vinterstøping

Ved vinterstøping eller fare for frost i fersk/ung betong vil det være behov for ekstra tiltak som fremdeles er medregnet i prosess 84.46. Dette kan være:

- Isolerings-/oppvarmingstiltak, spesielt av støpeskjøter og nystøpt betong.

- Ekstra beskyttelse/isolasjon, spesielt av slanke konstruksjoner/konstruksjonsdeler, og ikke minst avslutninger og støpeskjøter med utstikkende armering samt frie overflater.

Eksempler på tiltak ved vinterstøping:

- Før støp:
 - o Varmluft inni/under forskaling for å holde forskaling og støpeskjøter snø- og frostfri
 - o Isolert forskaling
 - o Innstøpte varmekabler i støpeskjøt
 - o Bestille varm betong
- Etter støp:
 - o Presenning/varmluft mot forskalte flater
 - o Varmeisolasjon av frie overflater umiddelbart etter avretting

Annen aktuell oppfølging:

- Måling av betongtemperaturer for å dokumentere frostfrihet og som verktøy for å estimere fasthet ved for eksempel avforskaling.
- Måling av betongtemperaturer i forankringsområdene for spennkabler. Ved oppspenning er fastheten kritisk og temperaturmålinger bør gjøres spesifikt i dette området hvor det også er svært mye armering og innstøpingsgods som kan medføre vesentlig lavere herdetemperatur enn konstruksjonen for øvrig, se for øvrig *Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 14 «Spennarmeringsarbeider»*.

Betongens maksimale herdetemperatur skal ikke overskride 70 °C (jfr. *NS-EN 13670+NA* punkt 8.5) med mindre annet er angitt i *den spesielle beskrivelsen*. Krav til maksimumstemperatur var tidligere 65 °C.

Et aspekt, som ikke gjelder herdetiltak i vanlig forstand, er at hele eller deler av nylig avforskalt støpeavsnitt kan få kalkutslag (hvitt belegg av kalsiumkarbonat) eller skjolding. Kalkutslag er ofte forbundet med fuktig vær/regnvær i perioden etter avforskaling. Beskyttelse av en forskalt flate reduserer tendensen til slike kalkutslag, noe som kan være et relevant aspekt for flater som er synlige for gående og syklende. *Internrapport 2251* gir for øvrig gode råd vedrørende utførelse av pene overflater.

5.6 Spesielle herdetiltak (prosess 84.5)

Generelt

De spesielle herdetiltakene er ekstraordinære tiltak for å redusere risikoen for opprissing og andre effekter som skyldes betongens herdevarme. Tiltakene kommer i tillegg til de ordinære herdetiltakene som inngår i prosess 84.46, og er myntet på konstruksjoner/konstruksjonsdeler hvor det er stor fare for alvorlig opprissing og hvor det er særlig viktig å minimalisere slik opprissing.

For å sikre tette konstruksjoner utsatt for vann-/grunnvannstrykk (betongtunneler/kulverter) vil det for eksempel være spesielt viktig å begrense omfanget av gjennomgående fastholdingsriss, se for øvrig *Håndbok N400* pkt. 12.2.2.3 (konstruksjonsdeler helt eller delvis under grunnvannstand).

Både når det gjelder behov for, og beskrivelse av, spesielle herdetiltak kreves ekspertise/erfaring. Dette går på vurderinger av konsekvenser av opprissing, eksponeringsforhold, tverrsnittsdimensjoner, estetikk, støpeskjøter/fastholding, valg av type tiltak og omfang.

Tiltaket i prosess 84.51 (supplerende varmeisolasjon) er først og fremst rettet mot å redusere temperaturdifferanser over tverrsnittet innad i en konstruksjonsdel. Temperaturdifferanser over tverrsnittet (indre fastholding) kan gi riss i overdekningssonen. Supplerende varmeisolasjon kan være et aktuelt tiltak i mange situasjoner året rundt, for eksempel for massive konstruksjonsdeler eller konstruksjonsdeler med strenge krav til bestandighet eller overflatenes estetiske uttrykk.

Tiltakene i prosess 84.52–84.57 er først og fremst rettet mot å redusere temperaturdifferanser mellom konstruksjonsdeler. Temperaturforskjeller mellom nystøpt konstruksjonsdel og tidligere støpte konstruksjonsdel(er) det støpes mot (ytre fastholding) kan gi gjennomgående riss i nystøpt konstruksjonsdel.

Det må angis hvilke konstruksjonsdeler som omfattes av det respektive spesielle herdetiltaket, og for prosess 84.52–84.54 må også kriteriene for måloppnåelse beskrives.

Eksempler på situasjoner som vil kunne kreve spesielle herdetiltak i henhold til prosess 84.51–54:

- **Situasjon 1:** For massive konstruksjonsdeler for å redusere maksimumstemperaturen, og/eller temperaturdifferanser over tverrsnittet som kan gi riss i overdekningssonen.
- **Situasjon 2:** For massive konstruksjonsdeler for å redusere temperaturforskjellen mot fastholdende konstruksjonsdel(er) og dermed redusere risikoen for gjennomgående opprissing. Den klassiske situasjonen er vegg som støpes mot massiv bunnplate evt. stripefundament.

Supplerende varmeisolasjon i herdeperioden (prosess 84.51)

Temperaturdifferanser over betongtverrsnittet i herdefasen, det vil si når kjernen er varmere enn overflaten, kan gi riss (krakeleringssiss) i overdekningssonen. Rissene vil ha en tendens til å lukke seg når kjernen etter hvert avkjøles, men rissene vil likevel kunne suge til seg vann når vann/fukt er tilgjengelig, og slik kunne fungere som angrepspunkter for nedbrytning på lang sikt (frost, kloridinntrengning, vanntilførsel for evt. potensielle alkalireaksjoner, og lignende). Rissene er ofte synlige etter fuktig vær og kan gi kalkutslag. Konstruksjonsdelens viktighet og graden av eksponering for vann/sjø/tinesalter bør inngå i vurderingen av om tiltaket skal anvendes, likeledes må kravene til estetikk vurderes.

Herdetiltaket vil naturlig omfatte alle flater av konstruksjonsdelen(e) det gjelder.

Det beskrevne temperaturkravet («Isolasjonen skal ligge på plass inntil temperaturen i betongen 10 mm fra forskalt flate er maksimalt 10 °C høyere enn lufttemperaturen») vil i praksis bety at tiltaket blir langvarig (flere uker). Varmeisolasjonen må derfor sikres godt slik at vind, vær og eventuelt arbeid ved konstruksjonen ikke påvirker varmeisoleringen.

Kjøling av fersk betong (prosess 84.52)

Dette er i prinsippet et meget effektivt tiltak for å redusere temperaturdifferanser mellom konstruksjonsdeler, og dermed faren for gjennomgående opprissing, men det er lite benyttet i praksis pga. relativt høy kostnad og komplisert utførelse. I *den spesielle beskrivelsen* må det beskrives hvilken temperatur den ferske betongen skal ha ved levering (målverdien). Hvis entreprenøren velger som alternativ å benytte «beregningsprosessen» 84.55 eller 84.56, vil nødvendig kjøling av fersk betongtemperatur bestemmes fra beregningen. Bruk av 84.56 betyr at entreprenøren må velge ett eller en kombinasjon av flere herdetiltak blant 84.51–84.54 som i beregningen viser at opptredende betongspenninger ikke vil overstige 0,75 (75 %) av betongens enaksielle strekkapasitet.

Ved bygging av Operatunnelen i Oslo, entreprise Sørenga, ble en del av blandevannet (60 kg) erstattet med isbiter ved blanding av betongen (isbitene smelter i blandeprosessen og avkjøler den ferske betongen). For den aktuelle betongen senket dette den ferske betongtemperaturen med 7–9 °C i forhold til normal fersk betongtemperatur, noe som ga en gunstig effekt med redusert opprissing.

Kjøling av herdnende betong med innstøpte kjølerør (prosess 84.53)

I *den spesielle beskrivelsen* kan kjølesystemet angis detaljert med plassering, senteravstand, kriterier for temperatur på inn/ut-vann etc., og når i herdeprosessen kjølingen skal slås av; normalt bør dette være minst 2 dager etter at betongen har passert sin maksimumstemperatur. Det er viktig at kjølesystemet får gå så lenge at den gjenværende varmeproduksjon i betongen ikke medfører temperaturøkning etter at kjølingen slås av.

Alternativt kan det beskrives krav til måloppnåelse i form av maksimalt tillatt temperaturforskjell mellom nystøpt konstruksjonsdel og konstruksjonsdel(er) det støpes mot. Entreprenøren må da på forhånd vise med temperaturberegninger at valgt kjølesystem oppfyller kravet til måloppnåelse (prosess 84.55).

I alle tilfeller må det beskrives hvor temperaturmålinger skal gjøres i konstruksjonen for dokumentasjon av resultatet. Fornuftig plassering av termoelementer kan være på kjølerør, midt imellom kjølerør og eventuelt også annet sted der temperaturen forventes å bli høyest, ved overflaten mot forskaling, samt lufttemperaturen. Temperaturmålingene bør gjøres ved kontinuerlig logging med batteridrevet loggeutstyr; dette for å være upåvirket av strømbrudd etc. på anlegget.

Eksempel på bruk av kjølerør ved «situasjon 1»

Følgende beskrivelse av kjøling med kjølerør er relativt lik beskrivelsen som i sin tid ble laget for fundamentene på Hardangerbrua. Dette var en detaljbeskrivelse av kjøleopplegg og omfang. Fundamentene der hadde dimensjon 12 x 15 x 8 meter. Krav om kjøling ble i dette tilfellet kombinert med krav om bruk av betongspesifikasjonen «SV-Lavvarme», samt varmeisolering av flater, prosess 85.51. I dette prosjektet ble det avtalt at sjøvann kunne brukes direkte som kjølevæske (må da spyles med ferskvann som avslutning). Alternativet er kjøleaggregat og ferskvann. Generelt vil beliggenhet og stedlige forhold for øvrig spille inn i vurderingen av kjølesystem.

Utdrag fra beskrivelsen:

- *Prosess 84.53 gjelder Element A, B, og så videre.*

- *Innstøpte kjølerør Ø25 mm av ubehandlet stål, legges i slynger med røravstand c/c X m i horisontalplanet.*
- *Ytterste kjølerør i hver slynge legges X m innenfor forskalingen, i enden skjøtes rørene X m fra forskalingen. Slike slynger legges i nivåer med avstand c/c X m vertikalt, slik at det blir totalt X nivåer i fundamentet.*
- *To og to slynger kobles sammen til en krets. Hver krets har eget innløp og utløp.*
- *De vertikale forbindelsene mellom kjøleslyngene utføres med bevegelige kneledd som kan oppta eventuelle deformasjoner under utstøpingen uten at kjølerørene skades.*
- *Dersom simuleringsberegningene som entreprenøren utfører tilsier det, vil byggherren eventuelt beslutte andre kjølerøravstander.*
- *Dersom entreprenøren ønsker å kombinere, kan kjølerørene bindes til horisontale rammer av stål, hvor rammene også kan benyttes som opplegg for arbeidsplattform for støpemannskapet.*
- *Det er entreprenørens ansvar å utforme og dimensjonere understøttelse og monteringsdetaljer for kjølerørene, så vel som adkomst- og arbeidsforhold under utstøping.*
- *Før utstøping skal hver enkelt kjølekrets kontrolleres for tetthet med trykkluft.*
- *Så snart en kjølekrets er innstøpt, skal sirkulasjon av kjølevann starte.*
- *Kjølingen avsluttes 2 dager etter at maksimum herdetemperatur er passert.*
- *Etter avsluttet kjøling tømmes kjølerørene for vann i størst mulig grad ved gjennomblåsing med trykkluft. Det må ikke bli stående vann i rørene ved fare for frost.*
- *Etter bruk skal kjølerørene fylles fullstendig med injiseringsmasse, som skal oppfylle de krav som er stilt til injiseringsmasse for spennkabelrør i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 14 Spennarmeringsarbeider. Umiddelbart før injisering skal kjølerørene igjen gjennomblåses med trykkluft for å fjerne eventuelt gjenværende vann og for å kontrollere åpen gjennomgang.*
- *Instrumentering i forbindelse med kjøling: Konstruksjonsdelen skal utstyres med ett sett av temperaturfølere fordelt i horisontalplanet for hver kjølekrets. Hvert sett skal bestå av 4 følere: 1 føler nær forskalingen, 1 føler nær kjølerøret, 1 føler midt mellom kjølerørene i horisontalplanet og en føler med maksimal avstand til kjølerørene (midt mellom kjølerør horisontalt og vertikalt).*
- *Ledninger merkes på en robust måte slik at det ikke skal oppstå tvil om hvilken føler ledningen er forbundet med. Temperaturfølerne tilkoples datalogger som kontinuerlig lagrer data (slik at data ikke tapes ved strømstans eller lignende).*
- *Data registreres minimum hver time.*

Eksempel på bruk av kjølerør ved «situasjon 2»:

For de massive betongtunnelene i de tre entreprisene som i dag danner den undersjøiske Operatunnelen i Oslo ble det beskrevet både en betong av typen SV-Lavvarme og i tillegg beregning og styring av herdetemperatur og rissrisiko (prosess 84.56). Det ble også krevd at riss større enn 0,15 mm, samt eventuelle vannførende riss, skulle repareres ved injeksjon. I det følgende gjengis det som ble gjort i «sjøentreprisen», det vil si senketunneldelen.

Konsekvensen av kravet ble her at det for et stort antall 1 m tykke vegger (støpt på 1,2–1,4 m tykke fundamenter) ble benyttet kjølerør av stål.

Det ble benyttet Ø30 mm stålrør plassert i veggens senterplan med senteravstand 55 mm, kjøleaggregat og ferskvann. For dette tilfellet, med den aktuelle betongen, ble det erfart at det anvendte kjøleopplegget senket veggens maksimumstemperatur med 7 – 10 °C og at dette ga rissfrie vegger (ingen gjennomgående riss) i tilfeller hvor kjølesystemet virket som forutsatt. Senketunnelen er en tunnelkonstruksjon med to yttervegger og en midtvegg. Det ble her enighet om at kjølerør kun ble installert i ytterveggene ettersom midtveggene ikke ville bli utsatt for vanntrykk fra utsiden.

Oppvarming av tilstøtende konstruksjoner (prosess 84.54)

Herdetiltaket har relativt sett lav kostnad og er nok det vanligste blant de spesielle herdetiltakene. Tiltaket er spesielt egnet for «**situasjon 2**» (se beskrivelse side 23).

I denne forbindelse er det økningen av gjennomsnittstemperaturen i den «fastholdende konstruksjonsdelen» (heretter kalt fundamentet) som bidrar til redusert fastholding for neste tilstøtende støpetappe (heretter kalt veggen).

Lokal oppvarming av et fundament for eksempel ved oppvarming fra overflaten eller ved bruk av bare noen få varmekabler vil ha begrenset effekt. God oppvarming innebærer derfor gjerne varmekabler i flere nivåer og med god utbredelse horisontalt. Montering av varmekablene må koordineres med armeringsarbeidene i fundamentet. Husk at temperaturmåleledninger også må monteres i fundamentet, selv om disse ikke skal brukes før senere når veggen skal støpes.

Eventuell supplerende varmeisolasjon av fundamentets overflater vil være svært gunstig ved at det hindrer varmetap og gjør varmekablenes oppvarming mer effektiv over større deler av tverrsnittet. Supplerende varmeisolasjon oppå fundamentet kan by på utfordringer ved at den kan være til ulempe for diverse aktiviteter nær veggen (man kan planlegge «forsinket» støp av veggen, etter at den er klar for støp; dette gir rom for varmeisolering). Veggen støpes med fordel med så lav fersk betongtemperatur som mulig. Bestilling av varm betong (bruk av varmtvann som blandevann) vil være svært ugunstig.

I *den spesielle beskrivelsen* kan oppvarmingen angis detaljert med plassering, senteravstand, effekt på varmekablene, og hvordan det skal dokumenteres at varmekablene i fundamentet er i funksjon. Varmekablene må slås på i god tid før støp for at fundamentet skal få nok tid til å bli maksimalt oppvarmet før veggen skal støpes; 2 dager før bør være et minimum.

Alternativt kan minimum temperaturøkning i fundamentet beskrives, i tillegg hvilket område av fundamentet dette skal gjelde, og hvor temperatur skal registreres i konstruksjonen for å dokumentere ønsket oppvarmingseffekt. Et slikt krav vil måtte medføre at entreprenøren må gjøre temperaturberegninger på forhånd for å sannsynliggjøre at valgt oppvarmingsomfang har tilstrekkelig kapasitet, også under ugunstige værforhold.

Fornuftig plassering av termoelementer i fundamentet vil være mot underlag i nivå med underkantarmoring, midt i tverrsnittet med maksimum avstand fra varmekabler og ved overkantarmoring, samt eventuelt også på en varmekabel for tidlig å kunne registrere om

kablene er i funksjon etter oppstart, samt lufttemperaturen. For rasjonell gjennomføring må montering av varmekablene i fundamentet samordnes med armeringsarbeidene. Ledningene fra termoelementene må trekkes slik at de bevarer sin funksjon frem til de faktisk skal brukes. I tillegg bør det måles temperatur i veggen for blant annet å registrere når temperaturmaksimum er passert og veggen går over i sin avkjølingsfase (varmekablene må ikke slås av før dette). Temperaturmålingene bør gjøres ved kontinuerlig logging med batteridrevet loggeutstyr; dette for å være upåvirket av strømbrydd etc. på anlegget. Oppstart logging kan med fordel være samtidig med at varmekablene slås på.

Analysen (3D) har vist at den «fastholdende delen» av et massivt fundament/bunnplate gjerne omfatter 3–4 meter ut til siden av en støpeskjøt. Med andre ord hvis en vegg skal støpes ut mot enden av fundamentet (yttervegg) bør varmekablens utbredelse horisontalt være 3–4 meter, fra enden og innover i fundamentet. For en sentrisk plassert vegg må varmekablene dekke begge sider av veggen og behovet for varmekabler i fundamentet blir det dobbelte.

Varmekablene må være kontinuerlig påslått (+ eventuell varmeisolasjon) fra anslagsvis 2 dager før støp av vegg og frem til 1–2 døgn etter at det er registrert at veggen har passert sitt temperaturmaksimum. Når varmekablene i fundamentet så blir slått av vil begge konstruksjonsdelene avkjøles sammen (samtidig termisk sammentrekning) og fastholdingsspenningene i veggen vil dermed bli redusert.

Beregning og styring av herdetemperatur (prosess 84.55)

Temperaturkravene, som vi også har hatt i tidligere utgaver av Håndbok R762, er såpass strenge at det vil være svært sannsynlig at temperaturberegningene vil vise at det må benyttes tiltak (blant prosessene 84.51 – 84.54) for å klare kravene. I *den spesielle beskrivelsen* bør det beskrives hvilke konstruksjonsdeler som omfattes av tiltaket med å beregne og styre herdetemperatur slik at de angitte temperaturkravene overholdes.

Temperaturberegninger skal være basert på varmeutviklingsdata for den aktuelle betongen i prosjektet.

Selve temperaturberegningene bør være relativt enkel å prise, men prisen for prosessen som helhet (det vil si selve tiltaket/tiltakene) vil nødvendigvis være mindre veldefinert fordi de herdetiltakene som eventuelt må benyttes og omfanget av dem vil variere fra konstruksjonsdel til konstruksjonsdel. Gode temperaturberegninger får man ikke før entreprenøren har målt varmeutviklingen på den aktuelle betongen i prosjektet (målt i ei herdekasse med aktuell betong fra en prøvestøp); man får dermed ikke en nøyaktig bestemmelse av nødvendige tiltak før prosjektet er etablert og betongresept og betongleverandør er bestemt. *Den spesielle beskrivelsen* bør derfor beskrive at prisingen (84.55) angis som separat pris for temperaturberegningene og separate enkeltpriiser for aktuelle tiltak blant prosess 84.51 – 84.54.

Beregning og styring av herdetemperatur og rissrisiko (prosess 84.56)

På samme måte som i forrige prosess (84.55) bør det også her i *den spesielle beskrivelsen* angis hvilke konstruksjonsdeler prosessen gjelder og at prisingen angis som separat pris for spenningsberegningene og separate priser for aktuelle tiltak blant prosess 84.51 – 84.54.

For å sikre kvalitet i spenningsberegningene bør minimum varmeutviklingen og spaltestrekkfastheten måles på den aktuelle betongen i prosjektet. I beregningen inngår enaksiell strekkfasthet, slik at spaltestrekkfastheten må konverteres til enaksiell strekkfasthet hvis det er spaltestrekkfasthet som er målt. Erfaring tilsier at enaksiell strekkfasthet ikke bør antas å være større enn maksimum 80 % av spaltestrekkfastheten. I tillegg til betongens varmeutvikling og strekkfasthet er spenningsberegningene avhengig av andre materialdata for å kunne gjennomføres (termisk utvidelseskoeffisient, autogent svinn, utvikling av E-modul, kryputvikling). For disse egenskapene kan det benyttes erfaringsverdier på betong(er) med tilsvarende bindemiddelsammensetning.

Dersom både prosess 84.56 og 84.57 (kartlegging av herdeteknologiske parametere) beskrives, skal alle egenskapene som inngår i spenningsberegningene måles på den aktuelle betongen i prosjektet (og da skal enaksiell strekkfasthet måles direkte). Dette medfører et relativt omfattende laboratorieprogram. Prosess 84.57 er pr. dato bare beskrevet en gang tidligere (Operatunnelen, oppstart i 2005). Her ble viktigheten av å unngå gjennomgående riss i den undersjøiske betongkølverten ansett som så viktig at det ble investert i laboratorieprøving for å få høyest mulig kvalitet på spenningsberegningene.

Kartlegging av herdeteknologiske parametere for betong (prosess 84.57)

Det gis unntak for bestemmelse av kryputviklingen fordi laboratoriebestemmelse av denne egenskapen normalt vil være svært kostbar, og fordi erfaringsverdier normalt beskriver krypegenskapene med tilstrekkelig nøyaktighet.

Pr. dato er det i Norge kun SINTEF/NTNU-miljøet i Trondheim som kan utføre en komplett kartlegging av herdeteknologiske parametere for spenningsberegninger. Internasjonalt finnes det flere laboratorier.

5.7 Mekanisk behandling av herdnet betong (prosess 84.6)

Prosessene har bare mindre endringer.

5.8 Monteringsferdige betongelementer (prosess 84.7)

Prosessene er fullstendig omarbeidet som følge av at det ikke lenger eksisterer normerte betongelementer. Antall elementtyper er derfor redusert til dekke- og plateelementer, bjelkeelementer og kulvertelementer, noe som vil dekke det meste. Utover dette er det en egen prosess for kasseelementer for segmentbruer.

Det er ryddet opp i ansvarsforhold, og det er henvist til *håndbok N400 Bruprosjektering* for å tydeliggjøre dette. Det er også ryddet opp i forhold til *håndbok N400 Bruprosjektering* slik at krav til utførelse er flyttet til prosesskoden og prosjekteringsstoff er flyttet til N400.

Prosessene har forholdsvis mange henvisninger da mange krav er dekket andre steder i prosesskoden. Tanken er at det skal være samme krav til elementer som til øvrige betongarbeider.

5.9 Liming, overflatebehandling og hjelpeprodukter (prosess 84.8)

Liming

Prosess 84.81 *Konstruktiv liming* er helt omarbeidet, og det er innført flere valg. Prosess 84.82 *Ikke-konstruktiv liming med sementslemming* er ny.

Overflatebehandling av betong

Prosess 84.83 *Overflatebehandling av betong* er helt omarbeidet og prosessen skal brukes med forsiktighet og i samråd med Vegdirektoratet. Prosessen omfatter ikke overflatebehandling som er tilsiktet å ha beskyttende effekt mot inntrenging av aggressiver, men vil typisk kunne gjelde overflatebehandling som utføres av estetiske hensyn. Det gjøres oppmerksom på at beskyttende overflatebehandling, som for eksempel kloridbremsende hydrofoberende impregnering og antigrafitbehandling, er flyttet til prosess 88.

Tettemidler for støpeskjøter

Prosess 84.84 *Tettemidler for støpeskjøter* er nærmest uforandret.

Fuger i betong

Prosess 84.85 *Fuger i betong* er helt omarbeidet og tilpasset *håndbok N400 Bruprosjektering* og tilhørende brudetaljer. Det er nå praksis at fugene blir tegnet i detalj, og det er derfor ikke nødvendig å dele opp slik det er gjort tidligere. Det skilles også på fuger over grunnvannstanden og under grunnvannstanden. For fuger under grunnvannstanden henvises det til prosess 84.84 for tettemidler.

Innstøpningsgods

Det er lagt til en rekke typer innstøpningsgods i prosess 84.86 *Innstøpningsgods* som følge av strengere krav til å vise innfestinger i *håndbok N400 Bruprosjektering* og for å bedre arbeidsmiljøet på byggeplass. Det er vesentlig enklere å installere hylser før støp enn å bore etter støp. Kvaliteten blir også vesentlig bedre.

En prinsipiell endring er at innfesting av rekkverk er flyttet hit fra prosess 87. Det er betongarbeiderne som monterer innfestingene og dermed logisk at dette er en 84-prosess. Endringen er også koordinert med *håndbok N400 Bruprosjektering* som har krav om at innstøpningsgods skal innarbeides på formtegning. Det gjøres oppmerksom på at det kan være nødvendig med mengdejustering av antall festepunkter for rekkverk i målebrev da ikke alle rekkverk har lik avstand mellom festepunktene (stolpeavstand).

Innstøping i utsparinger, understøping etc.

Prosess 84.87 *Innstøping i utsparinger, understøping etc.* er tilnærmet uendret. Prosessen skal sjelden beskrives i konkurransegrunnlaget da det ofte er slik at den inngår i en annen prosess. Det er imidlertid nødvendig at den er med i prosesskoden da det henvises til prosessen fra andre steder.

Understøper er et stadig tilbakevendende problemområde, og det kan virke som om det kommer av at det benyttes såkalt frostfri mørtel. Dette bør unngås. Dersom det er behov for understøp når det er kaldt, bør ordinære vintertiltak som telting og fyring benyttes istedenfor frostfri mørtel.

VEDLEGG 1 ; BETONGPROPORSJONERING OG KONTROLL AV BETONGRESEPT

Betongens bindemiddelmengde (b) er den samlede vekten av sement (c), silikastøv (s) og eventuelt flygeaske som tilsettes ved betongblanding (FA_b), det vil si:

$$(1) \quad b = c + s + FA_b \quad (\text{kg})$$

Det kan nevnes at begrepet «pastamengde» brukes om bindemiddelmengden (b) + vannmengden (v), det vil si: $\text{Pasta} = v + b = v + c + s + FA_b$

Ved beregning av masseforholdet er det den *effektive* bindemiddelmengden (b_{eff}) som er grunnlaget, denne er gitt ved:

$$(2) \quad b_{eff} = c + 2,0 \cdot s + 0,7 \cdot FA_b \quad (\text{kg})$$

Ved beregning av effektiv bindemiddelmengde skal det for Statens vegvesen sine betonger brukes virkningsfaktor 2,0 for silikastøv (s) og hvis ikke annet er spesifikt godkjent av Vegdirektoratet skal det brukes virkningsfaktor 0,7 for flygeaske som tilsettes separat under blanding av betongen (FA_b). Sementen (c) har 1,0 som virkningsfaktor uavhengig om den er en «ren» sement (CEM I) eller en blandingssement med flygeaske eller slagg.

Masseforholdet (m) beregnes så ut ifra mengden fritt vann (v) og effektiv bindemiddelmengde (b_{eff}) som følger:

$$(3) \quad m = \frac{\text{Fritt vann } (v)}{\text{Effektiv bindemiddelmengde } (b_{eff})} = \frac{v}{c + 2,0 \cdot s + 0,7 \cdot FA_b} \quad \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$$

Blant de ulike betongspesifikasjonene (SV-Standard, SV-Kjemisk og SV-Lavvarme) er det tilhørende krav til masseforhold, mengde silikastøv og total mengde flygeaske av bindemiddelmengden; se R762 prosess 84.4 b).

Hvis det benyttes en blandingssement med flygeaske og det i tillegg skal tilsettes ekstra flygeaske under blanding av betongen, så må disse to bidragene summeres når total flygeaskemengde skal beregnes. Flygeaske som er del av sementen (FA_c) pluss flygeaske som tilsettes ved blanding (FA_b), det vil si:

$$(4) \quad \text{Total mengde flyveaske } (FA) = FA_c + FA_b \quad (\text{kg})$$

Hvis andelen flygeaske i en sement er oppgitt til å være for eksempel 17 % (0,17) finner man mengden flygeaske (FA_c) enkelt med å ta aktuell sementmengde (c) multiplisert med 0,17.

$$(5) \quad \text{Flyveaske i sementen } (FA_c) = c \cdot 0,17 \quad (\text{kg})$$

Kravene til total mengde flygeaske og silikastøv oppgis i dag i forhold til total bindemiddelmengde (samme betraktningssmåte i R762 og i NS-EN 206/NA), mens det før var mer vanlig å betrakte tilsetningsmaterialene i forhold til sementmengden. Å betrakte tilsetningsmaterialene i forhold til bindemiddelmengden er fornuftig på flere vis (ikke minst i dagligtale), men dette gjør utregningen av bindemiddelsammensetningen litt mer komplisert og det er muligens grunn til å rope et lite varsko; det kan gjøres feil og det er absolutt grunn til å kontrollere betongresepter ved etterregning. Eksempler på både utregning og på etterregning av resepter (av SV-Standard og av SV-Lavvarme) kommer i det etterfølgende.

Total andel flygeaskemengde (FA^*) og andel silikastøv (s^*) av bindemiddelmengden (b) beregnes da som følger:

$$(6) \quad FA^* = \frac{\text{Total mengde flygeaske (FA)}}{\text{Bindemiddelmengden (b)}} = \frac{FA_c + FA_b}{c + s + FA_b}$$

$$(7) \quad s^* = \frac{\text{Mengde silikastøv (s)}}{\text{Bindemiddelmengden (b)}} = \frac{s}{c + s + FA_b}$$

Proporsjonering av bindemidlet i betong – utledninger:

På blandeverk skjer utregningen av betongresepter i dag i stor grad ved bruk av dataprogrammer, og da kommer også vanninnholdet og gjerne pastavolumet inn i utregningen. Det er de følgende uttrykkene man må «sjonglere» med for at bindemiddelet i betongen skal få riktig sammensetning:

$$\text{Krav til masseforhold, likn.(3):} \quad m = \frac{v}{c + 2,0 \cdot s + 0,7 \cdot FA_b} \quad (\Rightarrow m = \frac{\frac{v}{c}}{1 + 2,0 \cdot \frac{s}{c} + 0,7 \cdot \frac{FA_b}{c}})$$

$$\text{Andel total mengde flygeaske, likn.(6):} \quad FA^* = \frac{FA_c + FA_b}{c + s + FA_b} \quad (\Rightarrow FA^* = \frac{\frac{FA_c}{c} + \frac{FA_b}{c}}{1 + \frac{s}{c} + \frac{FA_b}{c}})$$

$$\text{Andel silikastøv, likn.(7):} \quad s^* = \frac{s}{c + s + FA_b} \quad (\Rightarrow s^* = \frac{\frac{s}{c}}{1 + \frac{s}{c} + \frac{FA_b}{c}})$$

Hvis det ikke tilsettes ekstra flygeaske ved blanding av betongen (som er mest vanlig) så er $FA_b = 0$ i alle likningene ovenfor.

Pastavolumet er for øvrig $= \frac{v}{1,0 \text{ kg/l}} + \frac{c}{\rho_c} + \frac{s}{\rho_s} + \frac{FA_b}{\rho_{FA}}$, hvor ρ er densiteten til henholdsvis den aktuelle sementen (c), silikastøvet (s) og den ekstra tilsatte flygeasken (FA). Vann har densitet 1,0.

Krav til flygeaske og silikastøv er som tidligere nevnt oppgitt i forhold til total mengde bindemiddel, men for å komme frem til en resept ved «håndregning» må vi beregne

mengdene i forhold til sementvekt. Ved å kombinere likning (6) og (7) kommer vi frem til likningene (8) og (9) nedenfor; disse uttrykker mengde ekstra tilsatt flygeaske (FA_b/c) og mengde tilsatt silikastøv (s/c) i forhold til sementvekt (c). Andelen flygeaske som er del av selve sementen (FA_c/c) er oppgitt og kjent, for eksempel 17 % (det vil si 0,17). For en «ren» sement uten flygeaske (eller slagg) er $FA_c/c=0$, og likningene kan ellers benyttes uavhengig av sementtype.

Ved å kombinere likning (6) og (7) får vi følgende uttrykk for FA_b/c og s/c :

$$(8) \quad \frac{FA_b}{c} = \frac{FA^* - \frac{FA_c}{c}(1-s^*)}{1-FA^*-s^*}$$

$$(9) \quad \frac{s}{c} = \frac{s^* \left(1 + \frac{FA_b}{c}\right)}{1-s^*}$$

Symbolbruken i likningene:

- c = sementmengden (kg)
- s = silikastøvmengden (kg)
- FA_b = mengde flygeaske (kg) tilsatt under blanding (er null hvis ingen tilsetning)
- FA_c = mengde flygeaske (kg) i sementen (er null for sement uten flygeaske)
- FA^* = andel flygeaske av total bindemiddelmengde
- s^* = andel silikastøv av total bindemiddelmengde

I beregningseksemplene som kommer i det følgende er det valgt et vanninnhold i betongen på 165 liter/m³. Hvis man i stedet ønsker et bestemt pastavolum (evt. matriksvolum = pastavolumet + volumet av tilslag $\leq 0,125$ mm) i betongen må man enten prøve seg frem med ulike vanninnhold til man oppnår det ønskede pastavolumet, evt. sette i gang en automatisk beregningsprosedyre i et dataprogram som sørger for riktig sammensetningen av bindemidlet, riktig masseforhold og samtidig ønsket pastavolum (evt. matriksvolum). Hver av de tre betongspesifikasjonene (SV-Standard, SV-Lavvarme, SV-Kjemisk) har sine egne krav til bindemiddelsammensetning, se Håndbok R762 Prosesskode 2, prosess 84.4 b).

Regneeksempler på bindemiddelsammensetning for «SV-Standard»

Det forutsettes i beregningene her at mengden fritt vann (v) i betongen skal være **165 liter** (=165 kg) pr. m³ betong og at masseforholdet skal være **0,38**. Maksimumsgrensen for masseforhold for SV-Standard er 0,40, men det er nødvendig å proporsjonere betongen med noe lavere masseforhold for å ta høyde for variasjoner ved betongproduksjon, derfor er proporsjonert masseforhold satt til 0,38. Andel silikastøv skal være **4 %** av bindemiddelmengden (det vil si $s^*=0,04$).

Eksempel 1: SV-Standard, uten tilsetning av ekstra flygeaske ved blanding:

Dette tilfellet hvor det ikke tilsettes separat flygeaske under blanding er vanligst og betyr at $FA_b = 0$, og dermed faller likning (8) bort og fra likning (9) får vi: $\frac{s}{c} = \frac{s^*(1+\frac{FA_b}{c})}{1-s^*} = \frac{0,04(1+0)}{1-0,04} = 0,0417$.

Og uttrykket for masseforhold i likning (3) blir med $FA_b=0$ som følger:

$$m = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\frac{s}{c}+0,7\frac{FA_b}{c}} = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\cdot 0,0417+0,7\cdot 0} = \frac{\frac{v}{c}}{1,0834} = 0,38, \text{ og vi får da en sementmengde på:}$$

$$c = \frac{v}{0,38\cdot 1,0834} = \frac{165}{0,38\cdot 1,0834} = 400,8 \text{ kg}$$

Og med forholdet $\frac{s}{c} = 0,0417$ blir mengden silikastøv: $s = 0,0417 \cdot c = 0,0417 \cdot 400,8 = 16,7 \text{ kg}$.

Vann og bindemiddelsammensetning blir da som følger:

Bestanddel	kg pr. m ³ betong	densitet (kg/liter)	volum (liter) pr. m ³ betong
Fritt vann	165	1,0	165/1=165
Sement	400,8	2,99*	400,8/2,99=134
Silikastøv	16,7	2,2	16,7/2,2=7,6
*) anvendt densitet er gjeldende densitet oppgitt for Anlegg FA-sementen. Densiteten varierer med sementtypen			Pastavolum= 165 + 134 + 7,6 = 306,6 liter

Kontroll av sammensetningen:

Mengde bindemiddel = summen av sement og silikastøv, det vil si $400,8 + 16,7 = 417,5 \text{ kg}$

Silikastøv:

- mengde slikastøv = 16,7 kg
- andel silikastøv av bindemiddelmengden = $16,7 / 417,5 = 0,04$ (4 %)

Masseforhold:

- effektiv bindemiddelmengde = sement + 2,0 x silikastøvmengden = $400,8 + 2,0 \times 16,7 = 434,2 \text{ kg}$
- masseforhold = vanninnhold / effektiv bindemiddelmengde = $165/434,2 = 0,38$

Bindemiddelsammensetningen og masseforholdet for denne betongresepten stemmer derfor med det som er forutsatt ved denne proporsjoneringen av en SV-Standard.

Selv om det ikke tilsettes ekstra flygeaske i dette tilfellet er det en kuriositet her at hvis den aktuelle sementen var en sement med oppgitt flygeaskeandel (FA_c/c) på for eksempel 17 % av sementvekt, så blir andelen flygeaske av bindemiddelmengden som følger:

- mengde flygeaske i sementen: 400,8 kg sement og 17 % av dette er flygeaske, dvs. $400,8 \times 0,17 = 68,1 \text{ kg}$

- og andelen flygeaske av bindemiddelmengden blir dermed: $68,1 / 417,5 = 0,163$ (16,3 %)

Resepten ovenfor viser bare bindemiddelsammensetningen, og pastavolumet i denne resepten var 306,6 liter/m³ betong. Ved proporsjonering er det vanlig å anta at luftinnholdet blir 4 %, noe som utgjør 40 liter/m³ betong. Det brukes også noen liter tilsetningsstoffer (TSS); volumet av TSS er med andre ord relativt ubetydelig, men tas likevel i betraktning ved vanlig proporsjonering. Det resterende volumet i 1 m³ betong (=1000 liter) skal fylles med tilslag, det vil si tilslaget må fylle et volum på $1000 - 306,6 - 40 = 653,4$ liter (eksklusive tilsetningsstoffene). Hvis vi her antar at tilslagets densitet er 2,65 kg/liter (som er en ganske normal verdi) vil total tilslagsmengde for denne resepten bli $653,4 \text{ liter} \times 2,65 \text{ kg/liter} = 1732 \text{ kg}$, noe som er summen av sand og stein. Den fulle SV-Standard-resepten vil da noe forenklet se slik ut, med et vanninnhold på 165 liter:

Bestanddel	kg pr. m ³ betong
Fritt (effektivt) vann*	165
Sement	400,8
Silikastøv	16,7
Luft	4 %
Total mengde tilslag	1732 (summen av sand og stein)
Vann i tilsetningsstoffer (TSS), skal inkluderes i fritt vann, for eksempel:	<ul style="list-style-type: none"> - luftinnførende TSS (L-Stoff) - plastiserende TSS (P-stoff) - superplastiserende TSS (SP-stoff) - retarderende TSS (R-stoff) - stabiliserende TSS - og lignende

* Fritt vann omfatter tilsatt vann og vann i tilsetningsstoffer, men ikke absorbert vann i tilslaget.

Eksempel 2: SV-Standard, med CEM II-sement og ekstra flygeaske tilsatt ved blanding:

I denne resepten skal andelen total flygeaskemengde (FA^*) utgjøre 30 % (dvs. 0,3) av bindemidlet (som er maksimum tillatt flygeaskemengde). Andelen silikastøv (s^*) av bindemiddel er fortsatt 4 % (det vil si 0,04), og ønsket vanninnhold (v) 165 liter. Forutsetning er bruk av en CEM II-sement hvor oppgitt flygeaskemengde (FA_c/c) er 17 % (dvs. 0,17).

Fra likning (8) får vi at: $\frac{FA_b}{c} = \frac{FA^* - \frac{FA_c}{c}(1-s^*)}{1-FA^*-s^*} = \frac{0,3-0,17(1-0,04)}{1-0,3-0,04} = 0,2073$, og fra likning (9) får vi

at:

$$\frac{s}{c} = \frac{s^* \left(1 + \frac{FA_b}{c}\right)}{1-s^*} = \frac{0,04(1+0,2073)}{1-0,04} = 0,0503.$$

Og uttrykket for masseforholdet, likning (3), blir som følger:

$$m = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\frac{s}{c}+0,7\frac{FA_b}{c}} = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\cdot 0,0503+0,7\cdot 0,2073} = \frac{\frac{v}{c}}{1,2457} = 0,38, \text{ og vi får da en sementmengde}$$

$$(c) = \frac{v}{0,38\cdot 1,2457} = \frac{165}{0,38\cdot 1,2457} = 348,6 \text{ kg}$$

Med forholdet $\frac{FA_b}{c} = 0,2073$ blir mengden tilsatt flygeaske ved blanding $(FA_b) = 0,2073 \cdot c = 0,2073 \cdot 348,6 = 72,3 \text{ kg}$. Og med forholdet $\frac{s}{c} = 0,0503$ blir mengden silikastøv $(s) = 0,0503 \cdot c = 0,0503 \cdot 348,6 = 17,5 \text{ kg}$.

Vann og bindemiddelsammensetning blir da som følger:

Bestanddel	Kg pr. m ³ betong	Densitet (kg/liter)	Volum (liter) pr. m ³ betong
Fritt vann	165	1,0	165/1=165
Sement	348,6	2,99*	348,6/2,99=116,6
Tilsatt flygeaske	72,3	2,3**	72,3/2,3=31,4
Silikastøv	17,5	2,2	17,5/2,2=8,0
<i>*) anvendt densitet er gjeldende densitet oppgitt for Anlegg FA-sementen. Densiteten varierer med sementtypen. **) Oppgitt densitet for flygeaske i løst vekt levert fra Norcem.</i>			Pastavolum= 165 + 116,6 + 31,4 + 8,0 = 321,0 liter

Kontroll av sammensetningen:

Mengde bindemiddel = summen av sement, tilsatt flygeaske og silikastøv, det vil si
 $348,6 + 72,3 + 17,5 = 438,4 \text{ kg}$

Flygeaske:

- mengde flygeaske i sementen: 348,6 kg sement og 17 % av dette er flygeaske, det vil si $348,6 \times 0,17 = 59,3 \text{ kg}$
- mengde tilsatt flygeaske er 72,3 kg
- total flygeaskemengde er $59,3 + 72,3 = 131,6 \text{ kg}$
- andel flygeaske av bindemiddelmengden = $131,6 / 438,4 = 0,30$ (30 %)

Silikastøv:

- mengde slikastøv = 17,5 kg
- andel silikastøv av bindemiddelmengden = $17,5 / 438,4 = 0,04$ (4 %)

Masseforhold:

- effektiv bindemiddelmengde = sement + 2,0 x silikastøvmengden + 0,7 x mengde tilsatt flygeaske = $348,6 + 2,0 \times 17,5 + 0,7 \times 72,3 = 434,2 \text{ kg}$
- masseforhold = vanninnhold / effektiv bindemiddelmengde = $165/434,2 = 0,38$

Bindemiddelsammensetningen og masseforholdet for denne betongresepten stemmer derfor med det som er forutsatt ved denne proporsjoneringen av en SV-Standard.

Regneeksempel på bindemiddelsammensetning for «SV-Lavvarme»

Det forutsettes også her i beregningene at vanninnholdet (v) i betongen skal være **165 liter** (=165 kg) pr. m^3 betong, og masseforholdet settes lik **0,43** (som er bevisst lavere enn maksimumsgrensen på 0,45 for å ta høyde for variasjoner ved betongproduksjon) Videre velger vi at andelen silikastøv skal være **4 %** av total bindemiddelmengde (det vil si $s^*=0,04$).

Eksempel 3: SV-Lavvarme, med CEM II-sement og ekstra flygeaske tilsatt ved blanding:

I denne resepten ønsker vi at andelen total flygeaskemengde (FA^*) skal utgjøre 35 % (det vil si 0,35) av bindemidlet (maksimum tillatt flygeaskemengde er 40 %). Vi skal bruke en CEM II-sement hvor oppgitt flygeaskemengde (FA_c/c) er 17 %.

Fra likning (8) får vi at: $\frac{FA_b}{c} = \frac{FA^* - \frac{FA_c}{c}(1-s^*)}{1-FA^*-s^*} = \frac{0,35-0,17(1-0,04)}{1-0,35-0,04} = 0,3062$, og fra likning (9) får

vi at:

$$\frac{s}{c} = \frac{s^* \left(1 + \frac{FA_b}{c}\right)}{1-s^*} = \frac{0,04(1+0,3062)}{1-0,04} = 0,0544.$$

Videre får vi i uttrykket for masseforholdet, likning (3), som følger:

$$m = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\frac{s}{c}+0,7\frac{FA_b}{c}} = \frac{\frac{v}{c}}{1+2,0\cdot 0,0544+0,7\cdot 0,3062} = \frac{\frac{v}{c}}{1,3231} = 0,43, \text{ og vi får da en sementmengde}$$

$$(c) = \frac{v}{0,43 \cdot 1,3231} = \frac{165}{0,43 \cdot 1,3231} = 290,0 \text{ kg}$$

Med forholdet $\frac{FA_b}{c} = 0,3062$ blir mengden tilsatt flygeaske ved blanding (FA_b) = $0,3062 \cdot c = 0,3062 \cdot 290,0 = 88,7 \text{ kg}$. Og med forholdet $\frac{s}{c} = 0,0544$ blir mengden silikastøv (s) = $0,0544 \cdot c = 0,0544 \cdot 290,0 = 15,8 \text{ kg}$.

Vann og bindemiddelsammensetningen blir da som følger:

Bestanddel	Kg pr. m^3 betong	Densitet (kg/liter)	Volum (liter) pr. m^3 betong
Fritt vann	165	1,0	$165/1=165$
Sement	290,0	2,99*	$290/2,99=97,0$
Tilsatt flygeaske	88,7	2,3**	$88,7/2,3=38,6$
Silikastøv	15,8	2,2	$15,8/2,2=7,2$
			Pastavolum= $165 + 97,0 + 38,6 + 7,2 = 307,8$ liter

** anvendt densitet er gjeldende densitet oppgitt for Anlegg FA-sementen. Densiteten varierer med sementtypen. **) Oppgitt densitet for flygeaske i løst vekt levert fra Norcem.*

Kontroll av bindemiddelsammensetningen:

Mengde bindemiddel = summen av sement, tilsatt flygeaske og silikastøv, det vil si $290,0+88,7+15,8 = 394,5 \text{ kg}$

Flygeaske:

- mengde flygeaske i sementen: 290,0 kg sement og 17 % av dette er flygeaske, det vil si $290,0 \times 0,17 = 49,3$ kg
- mengde tilsatt flygeaske er 88,7 kg
- total flygeaskemengde er $49,3 + 88,7 = 138,0$ kg
- andel flygeaske av bindemiddelmengden = $138,0 / 394,5 = 0,35$ (35 %)

Silikastøv:

- mengde silikastøv = 15,8 kg
- andel silikastøv av bindemiddelmengden = $15,8 / 394,5 = 0,04$ (4 %)

Masseforhold:

- effektiv bindemiddelmengde = sement + $2,0 \times$ silikastøvmengden + $0,7 \times$ mengde tilsatt flygeaske = $290,0 + 2,0 \times 15,8 + 0,7 \times 88,7 = 383,7$ kg
- masseforhold = vanninnhold / effektiv bindemiddelmengde = $165 / 383,7 = 0,43$

Bindemiddelsammensetningen og masseforholdet for denne betongresepten stemmer derfor med det som er forutsatt ved denne proporsjoneringen av en SV-Lavvarme.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen