

Intern rapport

Intern rapport
nr. 1572

Produksjon og utstøping av brubetong



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Oktober 1992

Veglaboratoriet

Intern rapport nr. 1572

Produksjon og utstøping av brubetong

Sammendrag

Produksjon av støpelig betong og utførelse av betongkonstruksjoner med betong som har lavt masseforhold, $m = 0,40$ og lavere, har i mange tilfelle vist seg problematisk i praksis.

Det er imidlertid vunnet en rekke erfaringer om hvordan problemene kan løses eller reduseres.

Rapporten beskriver hvilke problemer som er vanlige, hvorfor problemene oppstår, og gir veiledning til betongprodusenter og utførende i produksjon og byggeplassutførelse for løsning av vanlige problemer som resulterer i dårlige støperesultater.

Rapporten påpeker dessuten problemområder som er observert, men som det hittil ikke er funnet fullgode løsninger på.

Emneord: *Betong, Betongproduksjon, Byggeplassutførelse, Høyfast betong, Høypresterende betong*

Seksjon: 45 - Betong
Saksbehandler: R. Kompen
Dato: Oktober 1992

/BN

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Veglaboratoriet
Postboks 6390 Etterstad, 0604 OSLO
Telefon (02) 63 99 00, Telefax (02) 46 74 21

Forord

Produksjon og utstøpning av betong har vist seg å være vanskeligere jo lavere betongens v/c-forhold er. En har omfattende kunnskap og erfaring i bygging med normale betongkvaliteter, men det har vist seg at tradisjonelle produksjonsmåter ikke alltid er tilstrekkelige for høykvalitetsbetong.

Vegvesenet spesifiserer idag betongtyper som i stor grad krever spesielle produksjons- og utførelses-teknikker. Hensikten med dette heftet er å oppsummere de spesielle erfaringene som idag eksisterer, som en veiledning for betongprodusenter og utførende.

Omfanget av de praktiske problemene med brubetong varierer med tilslag, produksjonsutstyr og øvrige forutsetninger. Mens enkelte praktisk talt ikke har problemer med v/c=0,40, fortøner slik betong seg bortimot umulig for andre. Enkelte har de samme problemene med v/c=0,40 som andre har med v/c=0,33. Behovet for "gode råd" er derfor varierende. Om det er betongprodusenten eller den utførende som har problemer er et definisjonsspørsmål. Manglende støpelighet kan være et spørsmål både om betongproduksjon og om utstøping/bearbeidingsteknikk.

Anbefalingene som er gitt i heftet bør sees på som et repertoar av muligheter en kan benytte seg av i den grad det er problemer med å anvende betong med lavt v/c-forhold. Der det ikke eksisterer spesielle produksjonsproblemer er det selvsagt heller ikke behov for omlegging til å følge de rådene som er gitt, utover muligheten de gir til mer økonomisk produksjon.

I N N H O L D :	SIDE:
1. SPESIFIKASJON FOR BRUBETONG	3
2. BETONGTEKNOLOGISK BAKGRUNN, HVORFOR ER BETONG MED LAVT V/C-FORHOLD ANNERLEDES?	3
2.1 vannbehov	3
2.2 seighet, sammenhengsevne	5
2.3 avhengighet av tilsetningsstoff	6
3. VALG AV DELMATERIALER	6
3.1 sand	6
3.2 grovt tilslag	8
3.3 sammensatt tilslag	8
3.4 sement	9
3.5 silikastøv	10
3.6 tilsetningsstoff	10
4. PROPORSJONERING	12
4.1 framgangsmåte for valg av pastamengde	14
5. BLANDING AV BETONG, DRIFT AV BLANDEANLEGG	15
5.1 blandevannets effekt	15
5.2 kontroll av vanninnholdet	15
5.3 blandeprosedyre	16
5.4 om blandeanleggenes utrustning	18
6. TRANSPORT AV BETONG	19
7. BEHANDLING OG UTSTØPING AV BETONG	19
7.1 støpelighet	20
7.2 valg av utstyr	20
7.3 støping	20
7.4 avretting og pussing	20
8. HERDETILTAK	22
9. PRØVNING	23
9.1 fasthetsprøving	23
9.2 luftinnhold	24

1. SPESIFIKASJON FOR BRUBETONG

Betong for bruer og kaier er spesifisert i Vegvesenets Prosesskode-2 (Håndbok 026). Den vanligste spesifikasjonen, som også er den som gir de største produksjonsproblemene er:

- Fasthetsklasse C45
- Miljøklasse MA, $m = v/(c+2 \cdot s) \leq 0,40$
- Luftinnhold $5 \pm 1,5\%$
- "Ren" Portlandsement, dvs. P30 eller P30-4A (el. tilsv.)
- Silikainnhold min 2%, maks 5% av sementvekten

Prosesskoden har andre miljøklasse-krav og andre begrensninger for silikastøv-mengden enn NS 3420. Virkningsfaktor $K=2,0$ for silikastøv er også et avvik fra NS 3420. Kravet til luftinnhold kan tolkes som minimum 3,5%, maksimum 6,5%. Luft-kravet gjelder kun for betong som er utsatt for frysing/tining i fuktig tilstand.

2. BETONGTEKNOLOGISK BAKGRUNN, HVORFOR ER BETONG MED LAVT V/C-FORHOLD ANDERLEDES?

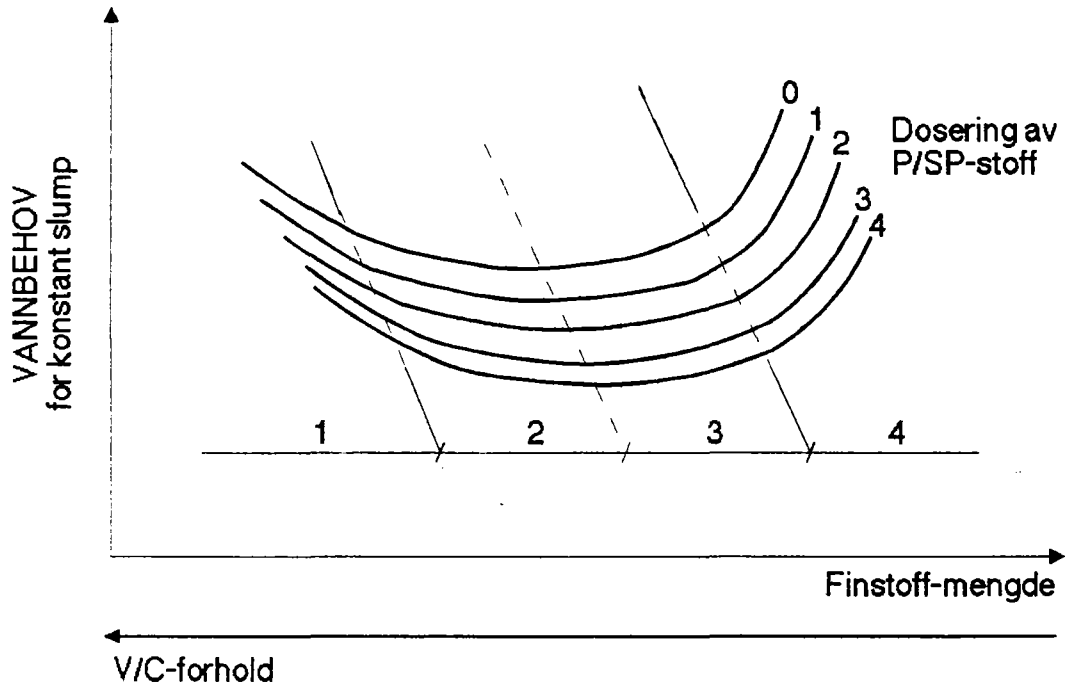
Problemene med betong som har lavt v/c-forhold er hovedsaklig:

1. Å oppnå akseptabel støpelighet
2. Å oppnå at støpeligheten holder seg tilstrekkelig lenge
3. Nøyaktighet/reproduserbarhet for fasthetsprøvning.
4. Tendens til opprissing

For å oppnå lavt v/c-forhold eller masseforhold må det benyttes høyt sementinnhold eller lavt vanninnhold, eller begge deler. Årsakene til at betong med lavt masseforhold gir andre problemer enn det en tidligere har vært vant til er illustrert i avsnittene nedenfor.

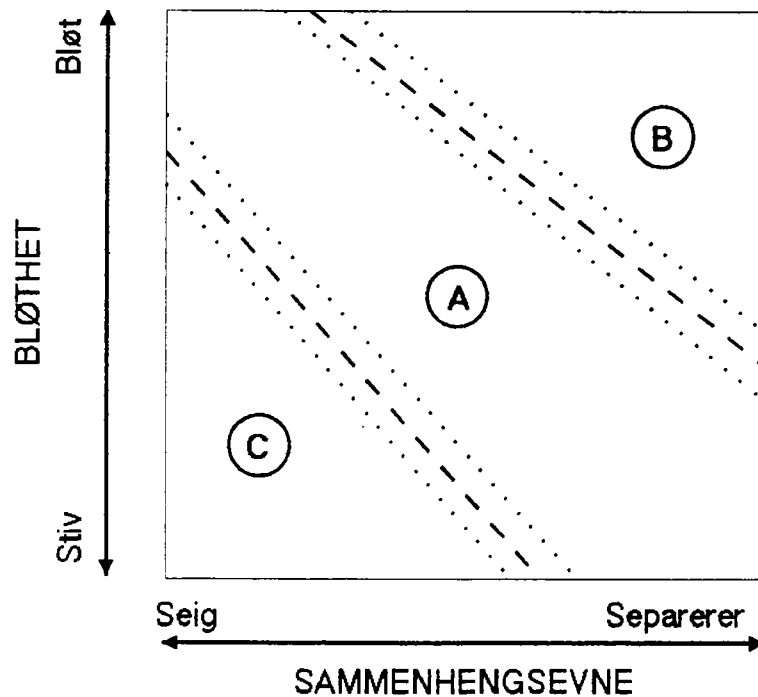
2.1 Vannbehov

For et gitt tilslag varierer vannbehovet for en gitt konsistens med sementinnhold og dosering av vannreducerende tilsetningsstoff i prinsippet som vist på Fig. 1.



Figur 1

Vanninnholdet kan reduseres betydelig med vannreducerende tilsetningsstoff, men støpeligheten er ikke den samme uavhengig av om den er oppnådd med tilsetningsstoff eller vann. I den grad kravet til v/c-forholdet ikke kan oppnås med redusert vanninnhold må det oppnås med økt sementmengde. Ved høye sementmengder øker imidlertid vannbehovet med sementmengden, kanskje så mye at v/c-forholdet ikke lar seg senke uten å ytterligere øke doseringen av tilsetningsstoff.



FIGUR 2 FERSK BETONGS EGENSKAPER, PRINSIPP-SKISSE

- A) VELEGNET KOMBINASJON AV EGENSKAPER, ØNSKET OMRÅDE
- B) ØNSKET OMRÅDE, BETONGEN HAR FOR STOR SEPARASJONETENDENS TIL Å KUNNE VÆRE SÅ BLØT
- C) ØNSKET OMRÅDE, BETONG SOM BÅDE ER STIV OG SEIG ER VANSKELIG KOMPRIMERBAR

2.2 Seighet, sammenhengsevne

For betong av tidligere normale kvaliteter, C25 og C35, består støpelighetsproblemene oftest i dårlig sammenhengsevne, betongen viser mer eller mindre vannutskillelse og/eller mørtelseparasjon. Økning av sement- eller fillerinnholdet er ofte den enkleste måten å bedre sammenhengsevnen på.

Støpelighetsproblemet for betong med lavt v/c-forhold er det motsatte, dvs. den har for kraftig sammenhengsevne og er for seig. Det er vanskelig å løse dette problemet uten å øke v/c-forholdet. Stor seighet gjør at betongen klistrer seg fast på armering, forskaling og arbeidsredskap. Stavvibratorer og annet komprimeringsutstyr får dårligere effekt enn det vi erfaringsmessig er vant til.

2.3 Avhengighet av tilsetningsstoff

Utstrakt bruk av vannreducerende tilsetningsstoff er en forutsetning for å oppnå støpelig betong med lavt masseforhold. Dette medfører også at de enkelte tilsetningsstoffenes særegenheter vil prege støpeligheten i en helt annen grad enn for tidligere normale kvaliteter.

3. VALG AV DELMATERIALER

De viktigste momentene for vurdering og valg av delmaterialer er den innvirkningen de har på betongens

- a) vannbehov
- b) støpelighet
- c) fasthetsegenskaper

I stor grad avgjør vannbehovet også støpeligheten og praktisk oppnåelig fasthet. Det er derfor å tilstrebe at delmaterialer og blandedprosedyre resulterer i så lavt vannbehov som mulig.

I praksis er mulighetene til valg av delmaterialer ofte begrenset, dvs. valg av noe annet enn normalt tilgjengelige delmaterialer vil kunne medføre betydelige tilleggskostnader. Anbefalingene må derfor ikke sees på som absolutte krav, men må vurderes i en kostnad/nytte sammenheng.

3.1 Sand (fingrus)

Første forutsetning for å kunne produsere betong med kontrollert og lavt v/c-forhold samtidig som støpeligheten er brukbar, er at betongens vannbehov er konstant. I første rekke er det sanden som bestemmer vannbehovet.

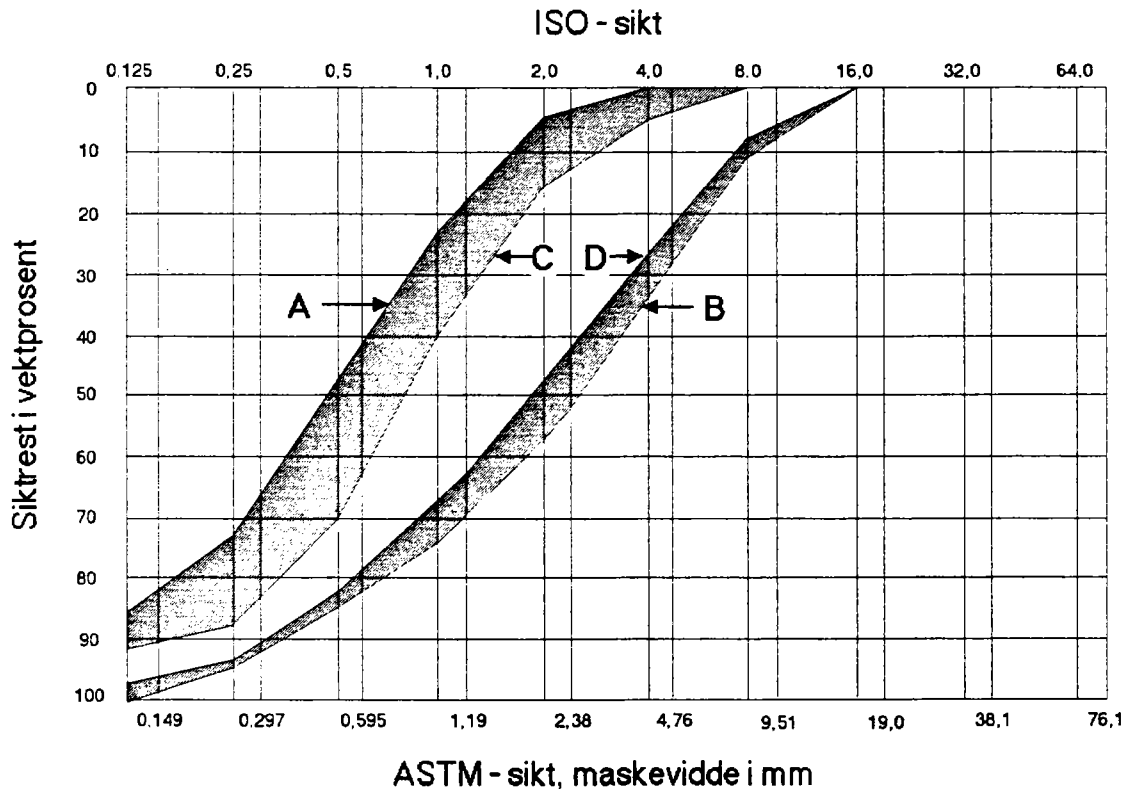
Sanden bør derfor tilstrebnes produsert med så liten variasjon i korngradering og slaminnhold som mulig. En erfaren showelkjører i sandtaket har betydelige muligheter til å påvirke variasjonene i sanden, forutsatt at han informeres om målsetningen og kontinuerlig får tilbakemelding om hvordan korngraderingen på sanden er.

Betong med lavt v/c-forhold er enklere å produsere med en grovkornet sand med relativt lavt finstoffinnhold. Sandtyper som gir gunstig støpelighet for C25 og C35 betong gir oftest høyt vannbehov og seig betong ved lavt v/c-forhold.

Erfaringsmessig er sand siktet på 8 mm med $FM_{1,0} = 2,95 - 3,20$ og 6-10% korn mindre enn 0,25 mm gunstig ved v/c = 0,40. Ved v/c i området 0,35 er $FM_{1,0} = 3,10 - 3,20$ gunstig mht. vannbehov og støpelighet. Gunstig slaminnhold for sanden er 3-6%, helst ikke over 8%. Med sand siktet på 8 mm og $FM_{1,0}$ lavere enn ca. 2,6, er det tvilsomt om det kan produseres støpelig betong med v/c = 0,40.

Lav finhetsmodul betyr at sanden har høyt finstoffinnhold eller at en eller to fine fraksjoner (oftest i området 0,5-2,0 mm) utgjør en stor andel av sanden. Generelt bør ingen fraksjon overstige 25%, og absolutt ikke overstige 30%, av det totale sandmaterialet.

Gunstig korngradering for betongsand generelt og for brubetong spesielt er vist i Fig. 3.



FIGUR 3 GUNSTIG KORNGRADERING FOR

A → B : BETONG GENERELT
C → D : BETONG MED LAVT MASSEFORHOLD

Kornformen av sanden har også større betydning for betong med lavt masseforhold enn for vanlig betong. Sandtyper med flisig men kantrundet form er oftest gunstig i vanlig betong, men gir høyt vannbehov og stor seighet ved lavt masseforhold. Knusestøv og finstoffrik knust sand forbedrer ofte støpeligheten for vanlig betong, men kan øke vannbehovet katastrofalt ved lave masseforhold. Selv mindre andeler knust sand bør unngås benyttet, hvis det ikke kontrolleres og påvises at den knuste sanden ikke øker vannbehovet.

"Sandpukkel" eller endog partikkelsprang er ganske vanlig i norsk betong. For normale betongkvaliteter er dette uten særlig stor betydning, men for betong med lavt masseforhold kan dette alene føre til så stor økning av vannbehovet at problemer oppstår. Se forøvrig Kap. 3.3.

3.2 Grovt tilslag

Brukonstruksjoner er ofte tett armerte. Maksimal kornstørrelse må derfor som hovedregel begrenses til 26 mm, ofte helst 22 mm, for å oppnå sikker utstøpning. Om steinen er flisig må maksimal kornstørrelse begrenses mer enn om den er rundet eller kubisk.

Kubisert pukke er normalt gunstigst å benytte. Såvel natursingel som vanlig pukke er som regel akseptabelt. Pukke gir oftest 3-4 l/m³ høyere vannbehov enn singel, men gir til gjengjeld 3-4 MPa høyere fasthet ved samme v/c-forhold.

Grovt tilslag med dårlig reinsiktingsgrad kan være årsak til store variasjoner i vannbehovet. En bør derfor være kritisk oppmerksom mot mengden knusestøv i pukke og mengden sand i natursingel. Om knusestøv har høyt innhold av glimmer, vil det i spesiell grad øke vannbehovet.

Det grove tilslaget bør være velgradert, i likhet med det fine. Spesielt pukke er ofte ganske ensgradert. En betegnelse som f.eks. 16-26 mm pukke sier ikke noe om graderingen. Det bør sjekkes visuelt om steinen er ensgradert eller velgradert.

3.3 Sammensatt tilslag

Det er selvfølgelig den sammensatte korngraderingen, og ikke graderingen av det enkelte delmaterialet, som har betydning for betongegenskapene.

En bør være spesielt oppmerksom overfor mulig "sandpukkel" og relativt enskornig grovt tilslag, som kan medføre betydelig økning av vannbehovet. En jevnt stigende og konkav kornkurve gir oftest det laveste vannbehovet og den beste støpeligheten.

Mange betongprodusenter har mye å vinne ved å legge inn en del 8-12 mm eller 4-12 mm i sin betongresept. Spesielt de som har partikkelsprang i sin kornkurve ved at de benytter f.eks. 0-8 mm og 16-26 mm har mye på vinne ved å jevne ut kurven. Sandmengden kan ofte reduseres omtrent like mye som en legger inn av 8-16 mm stein.

Betong med v/c-forhold 0,40 kan som regel ha så mye som 58-60 % korn større enn 4 mm. Erfaringen har likevel vist at tapet mht. vannbehov/ tilsetningsstoffbehov er ubetydelig ved bruk av noe høyere sandmengde, som gir større sikkerhet mot steinreir.

3.4 Sement

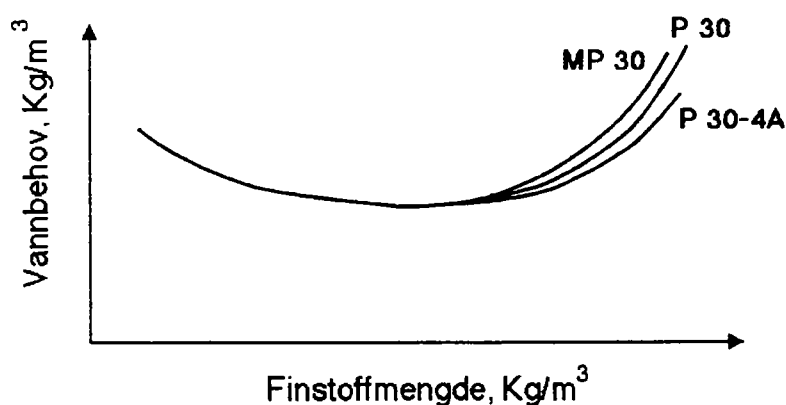
Prosesskoden forutsetter bruk av "ren Portland-sement", dvs. P30 eller P30-4A, som skal kombineres med 2 - 5 % silika av sementvekten. MP30 sement kan benyttes etter godkjenning fra byggherren.

Mht. valg av sementtype bør en kjenne til følgende:

A) Vannbehov

Økning i vannbehov med økende finstoffinnhold starter med et noe lavere finstoffinnhold med MP30 enn med P30, og ved et litt høyere finstoffinnhold med P30-4A enn med P30. For enkelte tilslagsforekomster kan derfor den reelle forskjellen i vannbehov være vesentlig.

Kfr. Fig. 4



FIGUR 4 SEMENTTYPERS PRAKTISKE INNVIRKNING PÅ VANNBEHOVET

B) Støpelighet

MP30 sement gir betydelig seigere betong enn P30 og P30-4A. P30-4A beholder støpeligheten over lengre tid og er langt mindre "hissig" i starten enn P30 og MP30.

C) Fasthet

P30-4A ("plattformsementen") gir betydelig høyere fasthet enn P30 og MP30 ved samme v/c-forhold. P30-4A gir 30-35 % høyere fasthet, dvs. ca. 20 MPa økt fasthet ved v/c = 0,40.

D) Alkali-innhold

P30 og MP30 sement er høyalkali-sementer med en alkalie-ekvivalent på 1,15-1,20%, mens P30-4A er lavalkali med 0,62-0,65 %. Dette har stor betydning dersom tilslaget skulle være alkalie-reaktivt. (Alkali-aggregat reaksjon)

MP30 er en meget gunstig sement for C25 og C35, men mindre gunstig pga. vannbehov og støpelighet ved lave v/c -forhold. P30-4A er utviklet for å ha meget gunstige støpelighetsegenskaper ved v/c = 0,40 og lavere.

3.5 Silikastøv

Silikastøv leveres i tørr form og i slurry-form, dvs. tørrstoff/vann = 50/50. Silikaslurry har i prinsippet litt større virkningsgrad enn pulver, men forskjellen er så liten (maks. 10 %) at det ikke har praktisk betydning.

3.6 Tilsetningsstoff

Utstrakt bruk av tilsetningsstoff er å betrakte som en forutsetning for å oppnå brukbar støpelighet med v/c = 0,40 og lavere. Følgende typer tilsetningsstoff er aktuelle: L, P/LP, SP, R

3.6.1 L-stoff:

Det finnes ulike kjemikalier. Hvilket stoff som gir best stabilitet varierer fra sted til sted og er avhengig bl.a. av tilslag og blandemaskintype.

3.6.2 P/LP-stoff:

Hvor det er problemer med å oppnå stabilt luftinnhold kan LP være fordelaktig framfor P. De fleste stedene gir P og LP ingen forskjell.

3.6.3 SP-stoff:

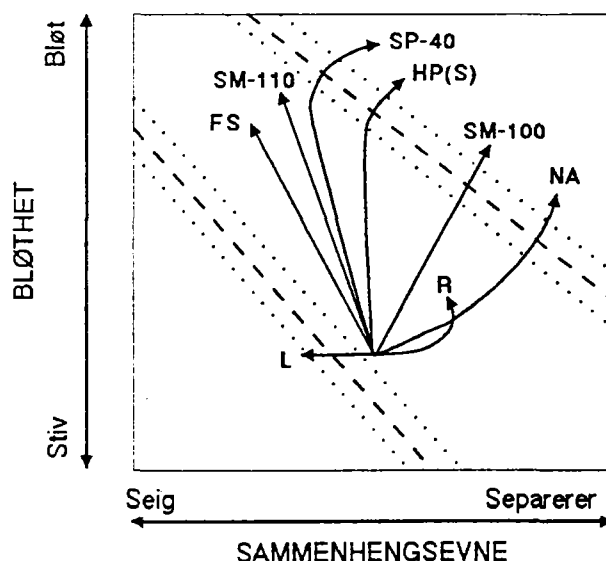
SP-stoffene på markedet virker tildels forskjellig mht;

- A) evne til å oppløse eller skape seighet
- B) varighet/virkningstid

En grov oversikt er vist i Tabell 1. og Fig. 5. Naftalener kan gi ustabil luft. Dersom SP-stoff etterdoseres på byggeplass bør det benyttes stoff med ca. 40% tørrstoff for å beholde best mulig kontroll med masseforholdet. Enkelte SP-stoff virker noe retarderende ved høye doseringer, men dette er vanligvis uten betydning for brubetong. I de fleste tilfeller (spesielt dersom betongen er seig) lønner det seg å benytte et SP-stoff som oppløser seighet (SM-100, HP(K), SP-1 eller naftalener). Dersom betongen viser separasjonstendens bør det benyttes et SP-stoff som skaper seighet (FS, SM-110). Det kan ofte være gunstig å benytte kombinasjon av flere SP-stoff for å regulere seighet/separasjonstendens. (F.eks. SM-100 + SP40, SP40 + Mighty etc.). FS og SM-100 har, selv om de gir tilsynelatende stor seighet, gitt betong med meget gode komprimerings-egenskaper.

TABELL 1.

SEIGHET/SAMMENHENGSEVNE	SP-STOFF	FORLENGET VIRKN. TID	TYPE STOFF
SKAPER ↑	- PERAMIN FS - SIKAMENT 110 - SP-40, FF-40, HP(S)-40 - PERAMIN F	X	MELAMIN
	- SP-25, FF-25, HP(S)		
	- SIKAMENT 100, HP(K), SP-1	X	MODIFISERT MELAMIN OG BLAND. PROD.
	- PA(B), HP, SIKAMENT NA	X	NAFTALEN
OPPLØSER ↓	- MIGHTY 150	X	



FIGUR 5 TILSETNINGSSTOFFENES VIRKNING PÅ FERSK BETONGS EGENSKAPER, PRINSIPP-SKISSE

4.6.4 R-stoff:

Bruk av R-stoff er langt mer aktuelt for betong med lavt v/c-forhold enn betong av "normale" kvaliteter. R-stoff virker spesielt gunstig på støpeligheten, idet komprimerbarheten ved bruk av vibrator bedres uten at betongens egentlige separasjonstendens øker. Dersom det er ønskelig å retardere betongen et bestemt antall timer, hverken mer eller mindre, har bruk av R-stoff betydelige fordeler framfor P/LP. Den samme fordelene har også fosfatbasert R-stoff fremfor glukonat-basert R-stoff.

4. PROPORSJONERING

Viktige vurderinger i proporsjoneringen er:

- sand/stein-forhold
- silikamengde i % av sementvekten
- sementpastamengde, dvs. sement og vanninnhold
- tilsetningsstoff dosering, mengde P- og SP-stoff

Målsetningen ved proporsjoneringen vil være, i tillegg til å oppnå foreskrevne fasthet og masseforhold, å oppnå en støpelig betong som også beholder støpeligheten tilstrekkelig lenge.

Tilslagssammensetning er behandlet i kap. 3.

Erfaring tyder på at valget av silikamengde innenfor området 2-5% er det mest vesentlige for betongegenskapene så lenge en kan benytte en virkningsfaktor $k=2,0$ ved beregning av masseforholdet. Finstoffrike/slamrike tilslag kan imidlertid tilsi lave silika-doseringer.

Foreskrevne fasthet og masseforhold kan oppnås med høyst forskjellige pastamengder. Masseforhold $m = v/c + 2 \cdot s = 0,40$ og $0,35$ kan oppnås med vann og sement/silikamengder som vist i Tabell 2. og 3. Tabellene dekker det vanligste området av vannbehov med norske tilslag.

TABELL 2 SEMENT- OG SILIKAMENGDER VED $m=0,40$

VANNMENGDE KG/M ³		150	160	170	180	190
2% SILIKA	SEMENT	361	385	409	433	457
	SILIKA	7	8	8	9	9
5% SILIKA	SEMENT	341	364	386	409	432
	SILIKA	17	18	19	20	22

TABELL 3. SEMENT- OG SILIKAMENGDER VED $m=0,35$

VANNMENGDEN KG/M^3		150	160	170	180	190
2% SILIKA	SEMENT SILIKA	412 8	440 9	467 9.5	495 10	522 10.5
5% SILIKA	SEMENT SILIKA	390 19.5	416 21	442 22	468 23.5	494 25

Disse tabellene viser at masseforhold under 0,40 knapt vil være mulig med tilslag som ikke har lavt vannbehov.

Ulike tilslag har forskjellig vannbehov. Med ett og samme tilslag må mengden tilsetningsstoff økes betraktelig ved reduksjon av vann- og sementmengden. Med økende mengde tilsetningsstoff endres støpeligheten betydelig, og betongen blir mindre komprimerbar selv om den ser like bløt ut og har samme synkmål. Om vanninnholdet blir for lavt mister betongen konsistensen og støpeligheten meget raskt.

Praktisk erfaring tyder på at vanninnholdet i betongen må holdes over en viss kritisk grense for at den skal beholde støpeligheten etter at blandingen er avsluttet. Denne grensen er forskjellig fra tilslag til tilslag og fra blandeanlegg til blandeanlegg. Erfaringer har vist verdier fra 152 til 178 kg/m^3 . Den kritiske grensen nås ved forskjellige doseringer av tilsetningsstoff, verdier fra ca. 8 til ca. 12 kg/m^3 har vært erfart. Hvis en først ligger over denne grenseverdien for vanninnhold, synes det som en kan variere sementmengden en del opp- og nedover uten at det fører til endring i konsistenstapforløpet.

Den kritiske grensen for vanninnhold kan synes å være ganske skarp. 2-3 liter vann pr. m^3 kan være avgjørende for om støpeligheten er bra eller helt ubrukbar 15 minutter etter blanding.

Etterdosering av SP-stoff gir heller ikke varig konsistensgevinst dersom vanninnholdet er under kritisk grense.

Problemet for en betongprodusent er å bestemme vanninnholdet slik at støpeligheten beholdes, samtidig som det ikke legges så høyt at sement- og silikamengden blir så stor at betongens vannbehov øker.

Høye P/LP-doseringer har vist seg å gi raskt konsistenstap. Det anbefales i dag P/LP-doseringer i området 2,0-3,5 kg/m³. For å unngå et konsistenstap som ligner falskstørkning av sementen anbefaler Norcem P/LP-doseringer på max

0,8% av sementvekten med P30-4A

1,5% av sementvekten med P30 og MP30

Erfaring har vist at den praktiske grensen kan ligge både noe høyere og noe lavere enn disse grenseverdiene.

4.1 Framgangsmåte for valg av pastamengde

Om en har problemer med å oppnå rimelig varig støpelighet av betong med lavt masseforhold, kan følgende forsøksprosedyre i full skala anbefales:

- A) Som utgangspunkt, la oss si at dagens resept (som gir for raskt konsistenstap) inneholder 160 kg vann, 365 kg sement P30 og 18 kg silika

$$(v/c + 2 \cdot s = 160 / (365 + 2 \cdot 18) = 0,40)$$

P og SP stoff doseres til ca. 20 cm synkmål.

- B) Forsøk en blanding med 10 kg mer vann pr. m³, juster sement og silikamengden tilsvarende. Dvs. 170 kg vann, 387 kg sement P30 og 19 kg silika. Konsistensen justeres til ca. 20 cm synkmål med en lavere tilsetningsstoffdosering enn i den opprinnelige blandingen. Konsistenstapet registreres over tid. Hvis konsistensen holder seg godt over tid (ca. 1 time), ligger det kritiske vanninnholdet lavere enn 170 kg/m³ (fortsett da på pkt. C1). Hvis konsistensen fortsatt tapes raskt, ligger det kritiske vanninnholdet høyere enn 170 kg/m³. (fortsett da på pkt. C2)

- C1) Forsøk en blanding med 165 kg vann pr m³, 375 kg P30 og 19 kg silika. Registrer som i pkt. B.

- C2) Forsøk en blanding med 180 kg vann pr. m³, 410 kg P30 og 20 kg silika. Registrer som i pkt. B.

Ved systematisk fremgangsmåte som antydnet vil en finne hvor den praktiske grensen for vanninnhold ligger. Hvis en ikke finner en slik grense, dvs. raskt konsistenstap opptrer uansett, betyr det sannsynligvis at basis vannbehov for blandingen er for høyt.

Noen vil kanskje reagere på at en kan ende opp med svært høyt sementinnhold og dermed dårlig økonomi. Praksis har vist at en sparer mer på tilsetningsstoff enn en må betale ekstra for sement ved å benytte et vanninnhold over den kritiske grensa. Det har ofte vist seg at om en har 4 liter for lite vann i betongen, går det i gjennomsnitt med 4-5 liter ekstra tilsetningsstoff pr. m³ for å få støpt den ut.

5. BLANDING AV BETONG, DRIFT AV BLANDEANLEGG

Produksjon av betong med lavt masseforhold krever en annen nøyaktighet enn det som før har vært vanlig, samt at det bør/må tas hensyn til produksjonsmessige forhold som påvirker vannbehovet.

5.1 Blandevannets effekt

Det har vist seg i praksis at:

- A) fukt i tilslag har dårligere effekt enn tilsatt vann
- B) spedevann har langt dårligere effekt enn hovedvannet

Dette har følgende praktiske konsekvenser:

- A) tilslaget bør tilstrebes å ha lavt fuktinnhold, i området 2-4%. Fukt utover ca. 5% bidrar ofte ikke i det hele tatt til økt støpelighet.
- B) alt vann bør tilsettes på en gang, speding bør unngås.

Den vanlige måten å blande betong på ved å tilsette det meste av blandevannet først og deretter spe til riktig konsistens er ofte ikke brukbar. Metoden fører til at betongens totale vannbehov blir altfor høyt.

I praksis er det vanskelig å oppnå lavt fuktinnhold i sanden. Dette kan neppe oppnås uten lagring under tak, og at en lar den nederste 0,5 m av haugen bli liggende ved lasting over til blandeanlegget.

5.2 Kontroll av vanninnholdet

Ofte er følgende punkter svake i eksisterende blandeanlegg mht. kontrollen med vanninnholdet:

- A) ukontrollert og varierende etterrenning av vann fra doseringanlegget
- B) varierende fuktinnhold i bunn av tilslags-silo

Risikoen for ukontrollert etterrenning medfører at egen vannvekt sterkt er å foretrekke framfor måleur etc.

I en tilslagssilo vil fukt i tilslaget vandre nedover. Når det ikke tømmes fra siloen vil fuktinnholdet bli meget høyt i materialet over luken i bunn av siloen. Materialet over dette vil bli ganske tørt, mens materialet over dette igjen vil ha en jevnere/normal fuktighet. Dersom det er fukt av betydning i materialene i siloen, vil fuktinnholdet i tappet materiale endre seg så raskt at det er umulig å fange opp dette ved kontroller. Konsekvensen er, dersom en skal ha full kontroll med masseforholdet, at en må:

- A) enten tappe ned siloer med 2-4 tonn materiale (avhengig av silo-størrelse) før produksjonsstart dersom siloen har stått ubrukt en tid (f.eks. natta over), eller
- B) la siloen stå tom ved lengre produksjonsavbrudd, og fyll den opp igjen umiddelbart før produksjonsstart.

Vinterstid kan en ha noe tilsvarende problemer med fukt, dvs. uttørking, av materialer i siloer med varmluft-tørking. Produsenter med slike anlegg er sannsynligvis kjent med problemet, og at det derfor er viktig å benytte passende intensitet og varighet med varm og kald luft.

5.3 Blandeprosedyre

Rekkefølgen og forskyvningen i tid av materialer inn i blandemaskinen, er av de faktorene som har avgjørende betydning for oppnådd konsistens og etterfølgende konsistenstap. I spesiell grad avhenger tilsetningsstoffenes virkning av tidspunktet disse kommer inn i blandemaskinen (Kfr. "Sikametoden").

Det er flere forskjellige typer blandemaskiner og blandeanlegg, og det kan derfor ikke angis noen generelt overlegen blandeprosedyre. Følgende hovedmomenter angis:

- A) Før blanding starter, måles fukt-innholdet i tilslagene. Mengden tillatt blandevann beregnes.
- B) Tilslag, sement og vann mates inn i en slik rekkefølge og hastighet at groing unngås og maskinenes motorkapasitet ikke overskrides.
- C) Alt tillatt blandevann tilsettes som hovedvann. Det skal ikke benyttes spedvann.
- D) P eller LP (lignosulfonat) starter å komme inn etter 75-80% av hovedvannet, og skal være ferdig før hovedvannet er ferdig. Se forøvrig kommentar 1.
- E) L-stoff tilsettes uavhengig av P/LP, og bør ikke komme i direkte kontakt med P/LP, se kommentar 2.
- F) SP-stoff bør tilsettes forsinket, dvs. 15 sek. eller mer etter at alle delmaterialer er kommet inn i blandemaskinen og fått en forblending. Se kommentar 3.
- G) Blandetiden bør forlenges min. 30 sek., som regel min. 60 sek. i forhold til normal blandetid. Blanding utover det som gir stabilt, lavt wattmeter-utslag er nødvendig for å oppnå full effekt av tilsetningsstoffene og smidig konsistens. Se kommentar 4.

H) Dersom konsistensen må justeres, må dette gjøres med SP-stoff.

KOMMENTAR 1, P/LP-TILSETTING

Det er viktig at P/LP tilsettes i oppbløtet sement eller sementvann. Dersom P/LP kommer i direkte kontakt med tørr sement vil P/LP-stoffet absorberes og gi mindre virkning på vannet ved at det retarderer sementens umiddelbare reaksjon med vann. Dette forårsaker lavere utgangskonsistens og raskere konsistenstap.

Om P/LP fortsetter å komme inn etter at hovedvannet er ferdig, vil P/LP gi større retarding. Dette er som regel ikke ønsket.

Mange blandeverk har for trang(t) rør/slange eller for slakk helning fra tilsetningsstoffvekta ned til blanderen, til at tilsetningen av P/LP går raskt nok. Disse blandeverkene ville spare mye på å bygge om dette.

I praksis vil mange blandeverk, spesielt de med store blandemaskiner, ha problemer med å finne riktig tidspunkt for P/LP-tilsetning, fordi det optimale tidspunktet vil være avhengig av størrelsen på satsen. Dette betyr at en må prøve å finne et kompromiss. Gevinsten ved optimalt tilsetnings-tidspunkt er imidlertid så klar i forhold til den vanlige tilsetningsmåten, P sammen med blandevannet i starten, at det kan være lønnsomt å tenke kreativt.

KOMMENTAR 2, L-TILSETNING

Det er stor usikkerhet om hva som er "riktig" tidspunkt for L-tilsetning, enten helt i starten eller etter forblending av betongen.

P og LP inneholder små mengder skumdemper, noe som i alle fall virker negativt på L-stoffet. De ulike fabrikat av P og LP stoffer inneholder ulike mengder skumdemper (P mest). Skifte av P-stoff leverandør kan derfor gi endring i problemer med luftinnhold.

KOMMENTAR 3, SP-TILSETNING

Størst nytte av SP-stoffer vil en ha ved tilsetning på byggeplassen. Betongmottakeren vil imidlertid foretrekke at betongen er leveringsklar ved ankomst, hvis dette er mulig. I mange tilfeller må en benytte SP-stoff som blandehjelpemiddel på blanderiet, og tilsette ytterligere SP-stoff ved ankomst byggeplass.

KOMMENTAR 4

Økt blandetid gir redusert blandekapasitet. I tillegg kan kravene til nøyaktighet i prosessen forøvrig også gi sterkt redusert leveringskapasitet.

I blanderier med liten blandemaskin, og hvor det trengs mange blandinger for å få fullt lass kan dette skape et ekstra problem utover kapasitetsreduksjonen: De første blandinger kan bli temmelig "gamle" før siste blanding er ferdig. Ved kombinasjonen liten blandemaskin og automixer kan det lønne seg å kjøre redusert blandetid på de 3-4 første m³ og etterblende disse i automixeren. Automixeren må da gå på blande-hastighet hele tiden.

5.4 Om blandeanleggenes utrustning

Blandeanleggets utrustning svarer som regel godt til det som var normale krav, og ikke alltid til det som bør være tilfelle for å produsere betong med lave masseforhold. I mange tilfeller, som det før nevnte utstyret for P-tilsetning, kan det være små detaljer som betyr mye.

Generelt har mange blanderier for få tilsetningsstoffvekter, måleglass e.l. til å få utnyttet tilsetningsstoffene optimalt. Et annet punkt er finmating av delmaterialene inn på vekten. Produksjon av stabil betong med lavt masseforhold krever større oppmålingsnøyaktighet enn det mange blanderier gir mulighet for. Dette er idag fullt mulig å løse, men det krever investeringer.

Moderne databaserte styringssystemer er idag vanlig på fabrikkbetongstasjoner. Disse gir som regel god kontroll over det de kan kontrollere, men har generelt en svakhet: De er ikke oppbygd for å kunne justere og optimalisere innmatnings- og blande-prosedyren fritt. I nye versjoner av styringssystemene bør en kunne bestemme

- A) Tidspunkt for start av hvert delmateriale inn i blandemaskinen.
- B) Hastigheten eller tidsforbruket for hvert delmateriale inn i blandemaskinen.
- C) Mulighet for pause i innmatningen (gjelder spesielt tilslag inn i store blandere).
- D) Mulighet for å benytte samme tilsetningsstoffvekt for ulike tilsetningsstoff på ulike tidspunkt i innmatningen.
- E) Mulighet for å spe med SP-stoff direkte fra styrepulten, uten å slå av automatikk.
- F) Masseforholdet med 3 desimalers nøyaktighet. Dette er et behov ved $m=0,36$ og lavere.

Det antas at ustabil blandedprosedyre kan være årsak til variasjonene en opplever når det gjelder konsistens, konsistenstap og reell støpelighet. Dersom P/LP tilsettes slik at det kommer delvis i kontakt med tørr sement, delvis med oppbløtt vann, må en regne med at effekten av P-stoffet vil variere fra dag til dag (avhengig av bl.a. fukt i tilslaget) og kanskje fra blanding til blanding.

6. TRANSPORT AV BETONG

Betong transporteres vanligvis under agitering (sakte roterende trommel). Hvis betongens konsistens skal kunne justeres ved ankomst eller etter venting på byggeplassen, må betongen leveres i automixer.

Konsistenstap er et av hovedproblemene med betong med lavt masseforhold. I mange tilfeller har det vist seg at en får økende temperatur ("varmgang") i betong med lavt masseforhold, under transporten. Varmgangen skyldes antakelig høy friksjon i massen, evt. fortsettelse av sementens initielle reaksjon med vann (Se kap. 5.3, kommentar 1). Agitering under transport kan også øke fukttapet fra betongen under transport, både i kaldt og i varmt vær.

Både varmgang i betongmassen og fukttap fører til økt konsistenstap. Ved lange transporter kan det derfor lønne seg å la trommelen stå stille under transporten, for så å blande betongen opp igjen ved ankomst byggeplass. Betenkeligheten er først og fremst om en greier å dra trommelen igang igjen!

7. BEHANDLING OG UTSTØPING AV BETONG

Hovedforskjellene mellom høyfast betong og normalbetong når det gjelder utstøping og behandling på byggeplass er:

- 1) Støpeligheten av høyfast betong er annerleders.
- 2) Støpeligheten tapes raskere enn det en er vant til.
- 3) Høyfast betong har påtagelig tilbøyelighet til opprissing.
- 4) Konstruksjoner med høyfast betong er som regel kraftigere eller tettere armert.

I det etterfølgende skal vi komme inn på en del problemstillinger som en må forvente å møte ved behandling av høyfast betong.

7.1 Støpelighet

Høyfast betong er alltid mer eller mindre seig. Sammenhengsevnen og klebrigheten er betydelig større enn for normal betong. Høyfast betong har også som regel raskere tap av støpelighet enn "normalbetong". I tillegg til ordinært synktap viser høyfast betong en slags koagulering eller "snerking", massen blir tixotrop.

Utseendet av høyfast betong kan lett lure en erfaren betongstøper. Betongen kan være blank i overflaten og se ut til å ha gode flyteegenskaper, men krever som regel mer vibrering enn det en vil tro. For at høyfast betong skal ha samme reelle støpelighet med vibrator som "normalbetong", må synkmålet være betydelig høyere. Betong med masseforhold 0,40 må ha et synkmål på ca. 18 cm for å ha noenlunde tilsvarende støpelighet som en C35 med 12 cm synkmål. Erfarne betongstøpere vil være engstelig for å overvibrere betongen. For høyfast betong er det som regel knapt noen risiko for overvibrering.

7.2 Valg av utstyr

Pumping av høyfast betong er aldri noe problem før en kommer ned i ekstremt lave v/c-forhold. Pumping forbedrer i mange tilfeller betongens støpelighet vesentlig.

Bruk av lomme eller karusell frarådes ved bruk av høyfast betong nettopp på grunn av faren for raskt støpelighetstap. Ved mottak av betong må en alltid regne med å kontrollere konsistens/støpelighet før betongen tømmes.

Økt vibreringsbehov for betong med lavt masseforhold medfører at det trengs flere vibratører for å holde den samme støpehastigheten som ved normalbetong. Generelt bør stavvibratører for høyfast betong ha en diameter på ca. 55 mm eller mer for å gi brukbar effekt. Det er forskjell på effekten av vibratører av ulike fabrikat.

7.3 Støping

Stavvibratører har dårlig effekt på seig betong. Trykkbølgene sprer seg ikke så langt fra vibratoren, fordi de blir kraftig dempet i massen. Ved kombinasjon av seig betong, kraftig armering og stor overdekning, er det derfor stor risiko for støpesår eller dårlig komprimering. Høyfast betong må derfor vibreres kraftigere og med tettere nedstikk av vibratoren enn ved utstøping av normale betongkvaliteter.

Raskt tap av støpelighet gjør at en har kort tid på seg fra levering til utstøping. Det er en fordel å starte vibrering så snart betongen er kommet i formen. Dersom en lar betongen ligge i ro i formen en stund før en starter vibreringsarbeidet, kan en risikere å måtte mangedoble vibreringsinnsatsen. Utstøping av høyfast betong krever derfor flere vibratører enn ved normal betong. Dersom vibreringskapasiteten viser seg å være for liten, er det nødvendig å redusere betongtilførselen inntil forholdet er rettet på. I motsatt fall kan vibreringen bli så krevende at betongtilførselen må stanse helt.

For å oppnå best mulig støpelighet ved tobbtipp, kan det være en fordel å kjøre betongtrommelen på full hastighet noen omdreininger like før fylling av hver tobb.

Tendensen som høyfast betong har til koagulering/tap av støpelighet gjør det enda mer problematisk å "holde liv i" en stor støpefront. Støpeplaner som forutsetter en stor støpefront eller at en støpefront blir liggende i ro lenge, er derfor svært uheldig. Et eksempel på dette er brubanestøp med en feltvis belastningsrekkefølge på stillas/understøttelse.

Langsom utstøping med seig betong vil alltid gi skjolder og mørke striper i lagskjøtene, uten at dette har noe med kaldskjøter å gjøre. Konstruksjoner utstøpt etter NS 3420's krav til vanntette konstruksjoner, dvs. maks stigehastighet 0,5 m/time, vil nesten uten unntak få slike skjolder ved bruk av høyfast betong.

Ved stor konstruksjonshøyde og normal/høy lufttemperatur (dvs. en får undervarme) må stigehastigheten være betydelig høyere enn 0,5 m/time for å unngå direkte kaldskjøter. For å unngå skjolder og risiko for kaldskjøter anbefales større stigehastighet samt revibrering av betongen. For vegger og høye bjelker vil revibrering i mange tilfeller bety høyere krav til styrke og stivhet for forskalingen.

7.4 Avretting og pussing

Betongens seighet gjør at den suger seg fast og blir trukket med av vanlige pussebrett av tre, plast og stål. Den beste redskaperen å pusse seig betong med er en bit av en isoporplate.

Bedømmelse av riktig pussetidspunkt er vanskeligere med høyfast betong enn med "normalbetong". Koaguleringen kan gi inntrykk av at tiden er inne for pussing, men både skorpedannelse og bevegelse fra pussemaskinen kan føre til at en beveger seg på en "hengemyr".

Høyfast betong med høyt innhold av plastifiserende tilsetningsstoffer viser ofte betydelig variasjon i størkningstidspunkt. I særlig grad opptrer dette ved justering av konsistens med SP-stoff på byggeplassen. Disse variasjonene kan også være betydelig innenfor ett og samme betonglass. Når størkningen først starter utvikler den seg som regel raskt. Det er derfor ofte et problem at betongen er i hardeste laget til å kunne pusses på mange felter, mens den er for bløt til å kunne pusses på felter innimellom.

Ved avretting viser betong med høye doseringer av tilsetningsstoff mer siging enn "normalbetong". Oppumping av betong bak en vibrobrygge kan derfor bli vesentlig. Kraftig armerte dekker med fall kan være problematiske fordi det kreves bløt konsistens for å oppnå sikker utstøping rundt armeringen samtidig som den bløte konsistensen gir sig i overflaten.

8. HERDETILTAK

Hvor følsom betong med lavt masseforhold er overfor herdetiltakene har en ennå ikke visshet om. På den ene siden tilsier det lave masseforholdet at det trengs tilførsel av vann for å oppnå god herding i overflate-sjiktet. På den andre siden blir slik betong raskt så tett at den neppe kan suge til seg vann av betydning.

Frie, uforskalte flater av betong med lavt masseforhold har vist en meget stor tilbøyelighet til opprissing i plastisk fase. Opprissingen kan komme fra 15 minutter opp til 5-6 timer etter utstøpning. Plastisk svinn riss kjenner en også fra "normalbetong". Det spesielle med høyfast betong er at opprissingen oftest ikke hindres ved de herdetiltak som fungerer godt for "normalbetong".

Årsaken til denne opprissingstendensen er ennå ikke klarlagt. Sannsynligvis er den en kombinasjon av rissmekanismer som alltid er tilstede i større eller mindre grad, og en ukjent mekanisme som er spesielt sterk i betong med lavt masseforhold. Rissmekanismer som alltid er tilstede er:

- 1) Plastisk svinn pga. ytre uttørking.
- 2) Temperaturdifferanser.
- 3) Siging i overflaten.
- 4) Plastisk setning.
- 5) Setninger og rystelser i reis/forskaling.

100% effektive mottiltak for å unngå opprissingen kjenner en ennå ikke. Opprissingstendensen synes å være kraftigere jo seigere betongen er og jo raskere støpelighetstapet er. Stiv betong synes å ha mindre risstendens enn bløt betong.

I de fleste tilfeller hvor det er registrert omfattende rissutvikling, har anerkjente beskyttelsestiltak som membranherdner, vanning, tildekking med plastfolie eller diffusjonstett isolasjon vist seg utilstrekkelig. Problemet med opprissing må derfor tas alvorlig. De beste anbefalinger en kan gi pr. idag for å redusere opprissingen til et minimum er:

- 1) Trekke av overflata sakte (med vibrobrygge).
- 2) Å påføre en effektiv membranherdner i rikelig mengde umiddelbart etter avretting. Hvert eneste minutt betongoverflaten blir liggende ubeskyttet etter avretting vil forværre situasjonen.
- 3) Så snart betongen har mistet noe konsistens og det har oppstått en skorpe på overflaten kan en påføre en "fog-spray" av vann på overflaten. Dette kan skje fra 1/2 til 2 timer etter avretting, altså lenge før overflaten kan belastes. Overflaten må holdes kontinuerlig våt med fin dusjing helt til ordinær vanning kan starte, eller plastfolie kan legges på den våte overflaten.

Det gjenstår ennå å finne effektive og praktisk gjennomførbare herde- og beskyttelsestiltak for vinterforhold. Både belastningen og skadene på membranherdneren som skyldes bruk av isolasjonsmatter av skumplast på ikke avbundet betong, synes å øke risstendensen.

9. PRØVNING

I likhet med all annen behandling av betong med lavt masseforhold, er også prøvningen mer krevende. En kan ikke si å ha full oversikt over hvilke små faktorer som er avgjørende ved f.eks. fasthetsprøving. Det må uansett legges stor vekt på at selve prøveuttaket gir en representativ prøve.

9.1 Fasthetsprøving

For betong av fasthetsklasse C45 og høyere bør det kun benyttes stålformer. Plexiglass-former har, særlig etter noen tids benyttelse, vist seg å få "runde" endeflater, og sideflatene er aldri garantert plan-parallelle.

Betongterninger bør alltid komprimeres ved bruk av stikkstang og med flyndreskje langs kantene. Det skader ikke å banke formene eller dunke de mot gulvet. Komprimeringen kan bli for dårlig, aldri for god. Best avtrekking av overflaten (betongen er alltid seig) får en med en isoporplate.

Etter utstøping tildekkes terningene med plastfolie.

Utstøpte betongterninger må få stå i ro inntil betongen har oppnådd fasthet. Transport av utstøpte terninger før betongen har herdnet, kan skade prøvene og gjøre de ugyldige.

Ved trykkprøving må en sentrere terningen nøyaktig i trykkpressa. Selv små avvik kan gi store utslag på resultatet.

Fasthetsprøving av C45-C65 viser ofte en intern spredning (internt mellom terningen som utgjør samme prøve) på 1,5-3,0 MPa. Dette betyr at en må ha en del prøver for å kunne si noe om det er betongkvaliteter eller prøvingsutførelsen som varierer.

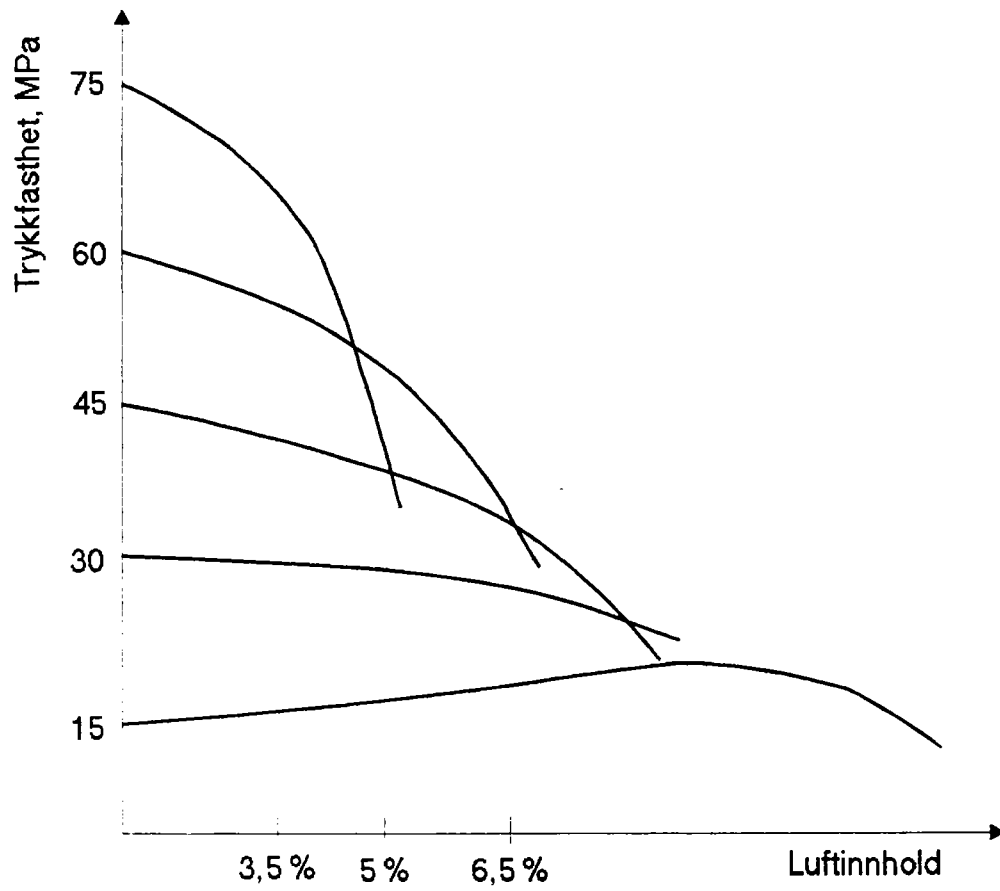
9.2 Luftinnhold

Det fins indikasjoner på at luftmålere (trykkmetoden) gir systematisk for lavt luftvolum fra 4,5-5,0% luftinnhold og oppover. Feilen synes å øke med økende luftinnhold. En bør regne med at graden av feil vil kunne variere med sementinnhold og tilslagets gradering.

Både for å unngå feilmåling, dvs at en har kontroll med luftinnholdet, og for å unngå drastisk fasthetstap, anbefales det å tilstrebe 4,0-4,5% luftinnhold i fersk betong.

Utfra betongprøving utført på flere prosjekter har en fått et inntrykk av at fastheten reduseres drastisk når luftinnholdet overstiger en viss grense, og at denne grensen er lavere jo lavere masseforholdet er. Kfr. fig. 6.

Årsaken kan være den før nevnte feilen ved luftmålere. Det kan også være en konsekvens av indre opprissing. Når antallet luftporer blir tilstrekkelig høyt, skjer det opprissing mellom porene. Porene fungerer altså som riss-indikatorer, og gjør at rissene blir grovere og lengre slik at større fasthetsreduksjon blir resultatet.



FIGUR 6 MULIG SAMMENHENG MELLOM FASTHET
OG MÅLT LUFTINNHold?
UDOKUMENTERT INNTRYKK