

Intern rapport

Intern rapport nr. 2251

Utførelse av
betongkonstruksjoner
med krav til pene overflater



Desember 2001



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Intern rapport nr. 2251

Utførelse av betongkonstruksjoner med krav til pene overflater

Sammendrag

Rapporten omhandler hvordan byggeplassutførelsen bør være for at en skal oppnå pene betongoverflater. Rapporten behandler temaet generelt, og er ikke spesielt knyttet til utførelse av bruer etc. med betong etter vegvesenets spesifikasjoner. Den beskriver hva som er vanlige feil i utførelsen, og hva en skal legge spesiell vekt på for å unngå feil. Rapporten omhandler spørsmål knyttet til

- forskaling,
- betongsammensetning og -egenskaper,
- støpeutførelsen, og
- herding.

Hvert hovedkapittel avslutes med en oppsummering av de viktigste momentene i kapitlet. I konklusjonene til slutt trekkes hovedmomentene for den praktiske utførelsen sammen.

Rapporten går ikke inn på og viser ikke alle mulige betongoverflater som kan fremstilles med grå og farget betong. Heller ikke gis det noen anvisning på hvordan synlig betong bør beskrives.

En del av de betongoverflatene som kan framstilles er presentert i betongutstillingen på Sjursøya i Oslo. Bilder fra utstillingen kan hentes fram på adressen www.betongutstillingen.no

Emneord: *Betong, overflater, estetikk, utførelse*

Kontor: *3530 Betongkontoret*

Saksbehandler: *Reidar Kompen*

/ kareno

Dato: *Desember 2001*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Vegteknisk avdeling

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo
Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

1.	INNLEDNING	3
2	FORSKALING	5
2.1	Forskalingsshuden	5
2.1.1	Stålhud	6
2.1.2	Finérhud	6
2.1.3	Bordhud	6
2.1.4	Montering av trehud	8
2.1.5	Profilert forskaling	9
2.1.6	Drenerende duk på annen forskalingshud	10
2.2	Forskalingens tetthet	11
2.3	Forskalingens stivhet og styrke	12
2.4	Staghull	13
2.5	Forskalingsolje	14
2.6	Riving av forskaling	15
2.7	Beskyttelse mot avkjøling vinterstid	17
2.8	Støpeskjøter	19
3.	BETONGSAMMENSETNING OG –EGENSKAPER	22
3.1	Farge	22
3.2	Støpelighet	23
3.2.1	Vanlig vibrert betong	24
3.2.2	Selvkomprimerende betong	27
4.	STØPEUTFØRELSEN	29
4.1	Støpeutførelse med vibrert betong	29
4.1.1	Oppstart av støpen	29
4.1.2	Utlekking av betong videre oppover	30
4.1.3	Vibrering	32
4.1.4	Staking med lekte	33
4.1.5	Utstøping ved utsparinger og andre hindringer	33
4.1.6	Stigehastighet	34
4.2	Støpeutførelse med selvkomprimerende betong	34
4.2.1	Oppstart av støpen	36
4.2.2	Utlekking av betong videre etter oppstart	37
4.3	Spesielle forhold ved skrå forskaling og overforskaling	38
5.	HERDING	40
5.1	Kalkutslag	40
5.1.1	Hvordan oppstår kalkutslag ?	41
5.1.2	Hvordan unngå kalkutslag	42
5.1.3	Hvordan fjerne kalkutslag	42
5.2	Rustvann	43
5.3	Slag og støt	43
5.4	Bruk av membranherdner	44
5.5	Reparasjon av sår og støpefeil	44
6.	KONKLUSJONER	46

1. Innledning

Produksjon av pene og homogene betongoverflater, dvs. ”betongkonstruksjoner med spesielle krav til overflatenes utseende”, ”synlig betong” eller ”arkitektonisk betong”, stiller krav til:

- forskaling,
- betongsammensetning og –egenskaper,
- støpeutførelsen og
- herdeforholdene

Hva som er pent og stygt kan synspunktene være delte om. Når det her snakkes om ”pene” betongoverflater, menes det flater

- med jevn, gjerne relativt lys gråfarge eller annen tilsiktet farge
- uten skjolder eller flekker med avvikende fargetone, steinreir/sår eller streker utenom
- forskalingsmønsteret
- uten overflateporer som dominerer synsbildet.

Synsinntrykket av en flate avhenger i stor grad av avstanden vi har til flaten. Jo større avstanden er, desto mindre ser vi til små uregelmessigheter, og desto mer ser vi av de store struktur- eller fargeavvikene og av konstruksjonens geometriske hovedlinjer. En overflate som ser ”gyselig” ut på 1 m avstand kan se perfekt ut på 20 m avstand.

Nå er det slik at desto mer fri for uregelmessigheter en flate er, desto tydeligere framtrer de uregelmessighetene som gjenstår. Hovedforskjellen mellom finérforskaling/stålforskaling og bordforskaling er at

- finér-/stålforskaling gir blank overflate som framhever alle uregelmessigheter
- bordforskaling gir matt overflate og har i seg selv et uregelmessig mønster, slik at alle uregelmessigheter dempes ned.

Å oppnå pene betongoverflater med finér-/stålforskaling krever svært mye, og stor disiplin i utførelsen. Å oppnå pene betongoverflater med bordforskaling er svært mye enklere. I stedet for å gi seg i kast med det aller vanskeligste, kunne man i mange tilfeller vært tjent med å prøve det mindre krevende.

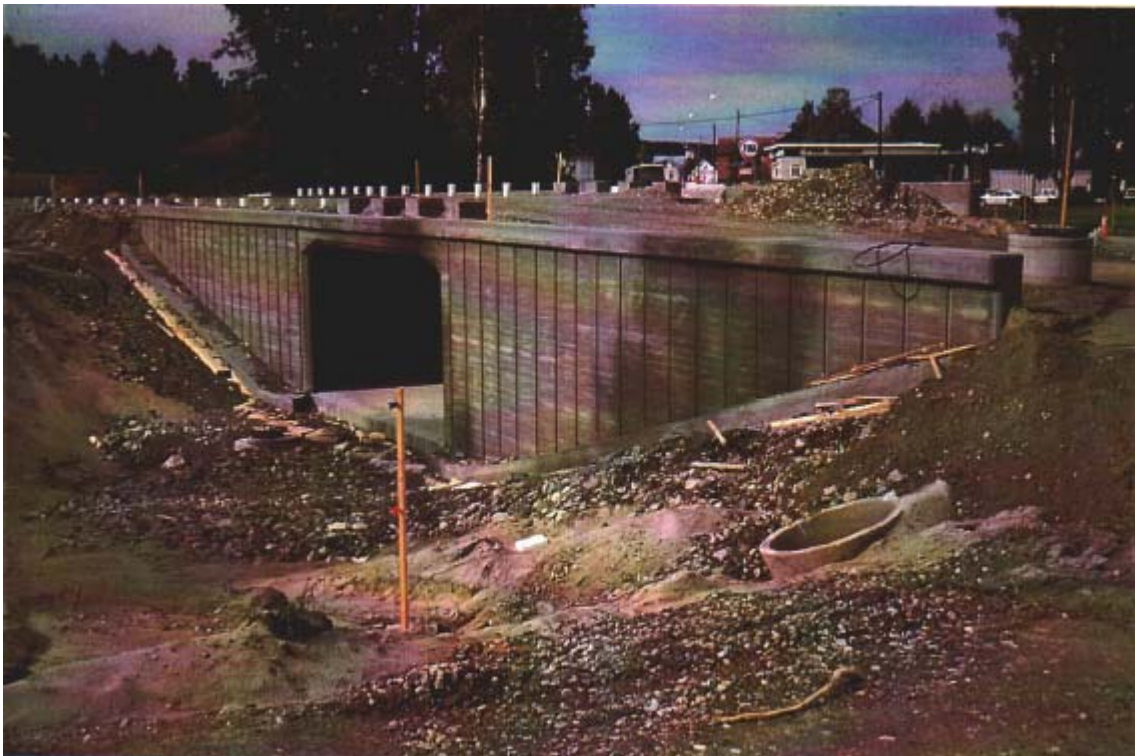


Fig. 1. Bordforskaling gir matt overflate og har i seg selv variasjoner slik at mindre uregelmessigheter oppfattes som å gi "liv" til overflaten.

Dessverre har vi ikke vært flinke til å produsere pene betongoverflater i Norge. Vi har riktignok produsert en stor mengde pene betongoverflater, men disse har like gjerne vært på konstruksjoner som skulle fylles ned med løsmasser som på konstruksjoner som skulle stå sentralt i synsfeltet. Vi har ikke hatt kunnskaper om hva som skulle til for å oppnå pene betongoverflater, og vi har vært lite flinke til å samle slike kunnskaper. Likevel – det fins en del firmaer, spesielt innen elementindustrien, som har kunnskapen og viser den på en imponerende måte.

Kunnskap alene er ikke nok for å produsere pene betongoverflater. Det trengs også ferdigheter og holdninger i arbeidslaget som gjør jobben, og i ledelsen på byggeplassen. Den nøyaktigheten som kreves i arbeidet for at det skal være sikkerhet for resultatet gjør at det kreves noen flere timeverk. Kostnadene i form av litt redusert framdrift og litt høyere ressursbruk må det være vilje til.

Pene betongoverflater kan produseres med vanlig vibrert betong og med selvkomprimerende betong. SKB har et helt spesielt potensiale for å oppnå porefrie og skjoldefrie overflater. Støpeutførelsen med SKB er også enklere enn med vibrert betong, slik at det ligger større sikkerhet for resultatet i selve metoden enn med vibrert betong., - hvis man da ikke disponerer "supermenn" til utførelsen.

2. Forskaling

Det beste resultatet en kan oppnå, er et 100 % speilbilde av forskalingsflaten i belastet tilstand. Funksjonskravene til forskalingen er at den skal være tilstrekkelig tett, tilstrekkelig sterk og stiv, og at den skal stå tilstrekkelig lenge. (Kfr. formuleringene i NS 3420, kap. L 1.c.) ”Tilstrekkelig” betyr her så høy kvalitet at støperesultatet svarer til kravene til overflater.

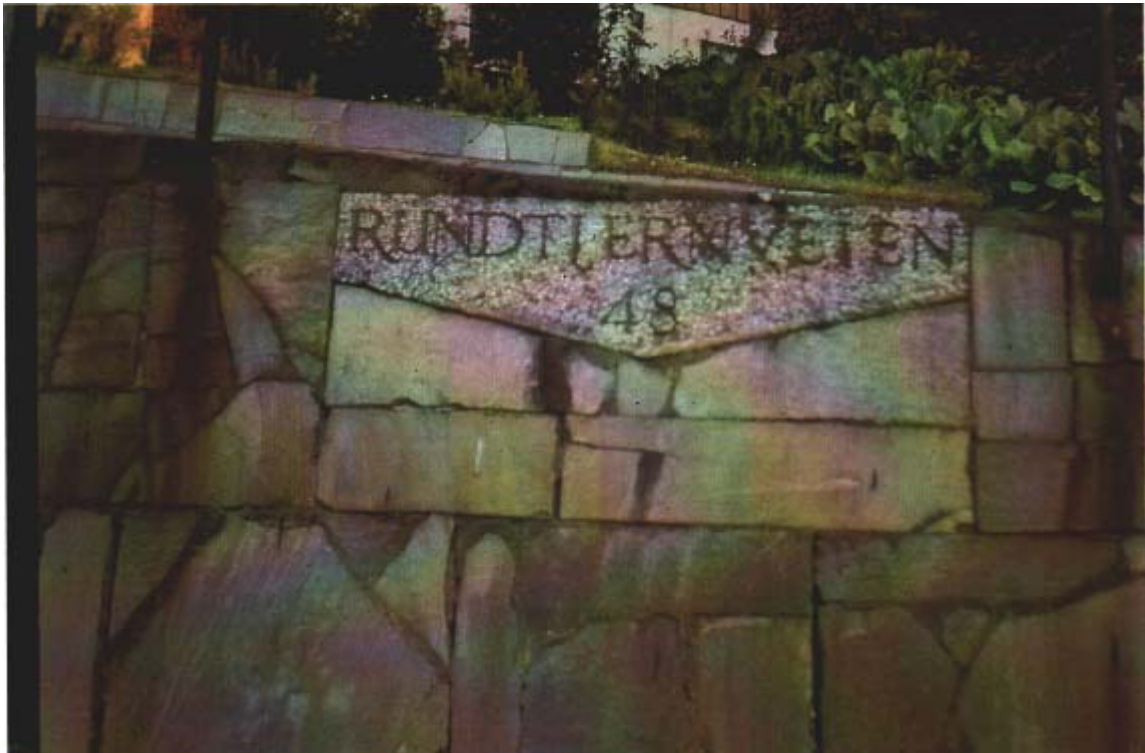


Fig. 2. Det er ikke enkelt å forskale med mønster, særlig ikke speilvendt. Bemerk bokstaven J.

2.1 Forskalingshuden

Forskalingshuden kan være:

- Glatt : stålplate eller maskinert stål
plastbelagt vannfast finér
ubehandlet, vannfast finér
høvlede bord.
- Ru : uhøvlede bord
drenerende duk på annen forskalingshud
- Profilert : bord av ulik tykkelse
bord/lekter spikret på finérhud
- Mønstret : mønstrede matriser stiftet på bakenforliggende hud

For å unngå rustmerker må alt som festes til forskalingshuden, for eksempel armeringsstoler og ev. innstøpningsgods, festes med spiker av rustfritt eller syrefast stål.

2.1.1 Stålhud

Stålhud som passes på og beskyttes mot skader har mulighet for å gi en nærmest perfekt betongoverflate. (Kfr. søylene i flyterminalen på Gardermoen.)

Forskaling av stålplater blir lett bulkete eller rustne, og så snart en slik skade har oppstått er forskalingen uegnet til synlige, ubehandlede flater.

2.1.2 Finérhud

Finérlemmer må være uten sår og hjørneskader. Ofte er finérlemmene ikke nøyaktig 90° i hjørnene, og de må derfor settes opp med samme side inn/ut for at det ikke skal bli glipper i skjøtene.

Om det benyttes systemforskaling bør det sjekkes at lemmene ikke har vært overbelastet og deformert tidligere.

Om en velger ubehandlede finérlemmer, må en være obs på at disse slites raskere og gir raskere endring av betongens farge. Det bør kontrolleres at finéren er av et treslag som ikke skiller ut sukker som retarderer sementens størkning. Finérplater av ulike typer eller ulik grad av slitasje må ikke brukes sammen.

Det fins tape som kan klebes over lemmeskjøtene og tette lekkasjene der, men bruk av slik tape har knapt forekommet i Norge.

2.1.3 Bordhud

En bordforskaling som er ”passe tett” gir etter de flestes oppfatning en meget pen betongoverflate. Å få den ”passe tett” er kanskje den største utfordringen. Dersom materialene er fuktige når forskalingen settes opp, krymper de etter hvert som de tørker ut, og det blir brede fuger hvor sementlim/mørtel renner ut mellom bordene. Når forskalingen rives har overflaten en kraftig, utstikkende grat i bordskjøtene, noe som er langt fra pent.

Bordforskaling som har tørket ut og blitt glissen, må vannes så lenge at bordene trutner og forskalingen tettes.

Dersom materialene er tørre når forskalingen settes opp og det siden kommer regnvær, vil treverket trutne, bordene står i spenn mot hverandre og de vrir seg. Resultatet av en slik forskaling blir heller ikke pent.



Fig. 3. Bordforskaling som har vært alt for glissen/utett. Burde vært bedre vannet før støp.

Under oppsetting av bordforskaling for synlige betongoverflater, må en sortere ut og kappe bort de bordene/deler av bordene som er vinde eller bøyde. Slike bord vil gi uakseptable uregelmessigheter i betongoverflaten.

Årsaken til at en normalt ikke benytter bredere forskalingsbord enn 4", er at bordene ikke skal ha for stor hvelv på seg og ikke være vinde.

Bord med vankant må selvfølgelig også kappes bort ved oppsett av forskaling for synlige betongoverflater.

Bord med ulik forhistorie gir forskjellig farge også på betongoverflaten, og må ikke brukes om hverandre på samme flate:

- brukte bord gir annen farge enn ubrukte bord
- bord hvor overflaten har vært utsatt for sollyset gir annen farge enn bord som har ligget i skyggen. Oversiden av bordene i øverste laget av en pakke gir annen farge enn bordene under, kfr. figur 4
- bord som kommer rett fra sagbruket "svetter" mer fra kvistene enn bord som har vært lagret, og gir annen markering av kvistene.

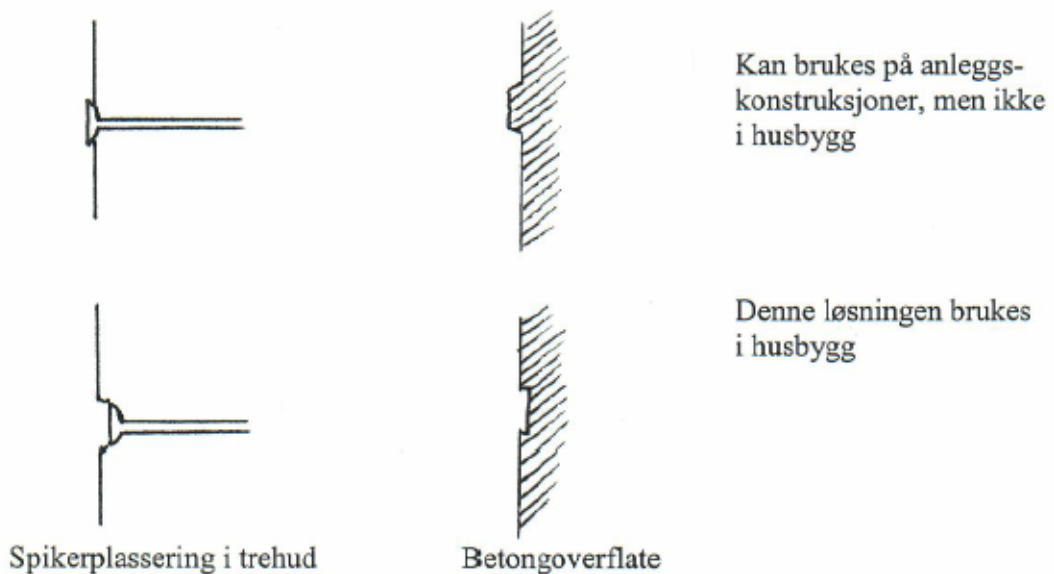


Fig. 4. Bord som har ligget "i solsteiken" gir annen farge enn bord som har vært skjernet mot sol.

2.1.4 Montering av trehud

For forskaling til synlige flater er det viktig at forskalings huden sitter tett inntil strøveden, - uten slark. For lemmeforskaling som skal brukes flere ganger kan det være en fordel å skru fast lemmene i stedet for å spikre.

I synlig forskaling til husbygg må spiker ikke slås så langt inn at hodet står innenfor hudens overflate. I så fall vil betongoverflaten få en utstikkende knast som må slipes bort.



I bordforskaling bør en tilstrebe å fordele spikerplasseringen, - hvis mulig. Markerte rekker av spiker vil lett dominere synsinntrykket av betongflaten.

2.1.5 Profilert forskaling

Profilert forskaling har dessverre blitt lite brukt i Norge. Det er synd fordi det finnes jo en uendelighet av mønstre som kan benyttes til å gi betongoverflatene et mer variert og mindre kjedelig utseende. Ofte er det lite som skal til for å endre synsinntrykket av konstruksjonen, kfr. figur 1. Et annet, enkelt mønster er vist i figur 5.

Ekstrakostnaden ved en enkel profilering er lav, man får mye for pengene. Det er imidlertid ikke vanskelig å finne kostbar profilering (som meget vel kan være pengene verd), kfr. profileringen av betongoverflatene i Stortinget T-banestasjon i Oslo.



Fig. 5. Enkel profilering med bord av ulik tykkelse.

2.1.6 Drenerende duk på annen forskalingshud

På markedet finnes det spesielt utviklede forskalingsduker som monteres utenpå den ordinære forskalingshuden. Duken er permeabel og drenerer ut så vel vann som luftblærer, slik at betongoverflaten blir porefri og av forbedret kvalitet. Ordinær strieduk har også vært benyttet for samme formål.

Erfaringene med forskalingsduk har vært positive, kfr. figur 6. Duken har gitt porefrie overflater selv mot skrå overforskaling (som er helt spesielt vanskelig å få porefri, kfr. kap. 4.3), og en matt overflate med mønster som duken.



Fig. 6. Overflate av 45° skrå vegg støpt mot forskalingsduk Formtex.

Montasje av duken har vist seg å være kritisk for å få tilsiktet resultat. Duken må strammes meget godt både vertikalt og horisontalt for å unngå at den skrukker seg under utstøpingen. Utstøpingen må utføres forsiktig med fylling av betong i tett plasserte punkter for at betongen ikke skal renne langs duken og tøye den.

En annen erfaring er at betongen må ha et visst lite overtrykk for å presse luft og vann gjennom duken. For å få porefri overflate helt opp til avsluttet støp må det forskales og støpes 10 – 15 cm høyere, for deretter å flytte den ekstra betongen dit den kan herdne.

2.2 Forskalingens tetthet

Avhengig av lekkasjenes størrelse unnslipper luftblærer og vann, sementlim, mørtel eller betong. Om sementlim unnslipper får en sandstriper i skjøtene, om mørtel unnslipper får en steinreir i skjøtene.

Forskaling for synlige flater må være så tett at en kun får smale sandstriper i bord- eller lemmeskjøtene.

Hjørnene av en forskaling er spesielt utsatt for å få lekkasjer. Dette er en viktig årsak til at en normalt bruker trekantlekt i utstikkende hjørner, i tillegg til at avfasede hjørner er mer robuste mot slag og støt. Trekantlektene tetter normalt for lekkasjene, men hvis en skal få pene, avfasede hjørner benyttes ofte trekantlekt av plast, som klemmer bedre til begge sidene av hjørnet. Uansett om det skal være skarpe eller avfasede hjørner, må forskalingen spikres godt eller sikres med stag slik at den er tett i hjørnene.



Fig. 7. Utette hjørner i forskalingen skjemmer resultatet hvor forskalingen for øvrig, betongen og utstøpingen er ok.

Vanlig vibrert betong er relativt tolerant overfor åpninger i forskalingen. Mengden betong som lekker ut er ubetydelig selv ved åpninger inntil $2-3 \times D_{\max}$. Om det oppstår lekkasjer, greier en som regel å stoppe lekkasjen. Slike lekkasjer er selvfølgelig uakseptable ved synlige flater, men dette nevnes likevel da det er ganske stor forskjell mellom vanlig vibrert og selvkomprimerende betong.

Selvkomprimerende betong tåler ikke store åpninger i forskalingen uten at større betongmengder renner ut. Åpningene bør neppe overstige D_{\max} for betongen. (Så store åpninger er uakseptable for synlige flater.) Noe en spesielt skal være på vakt mot, er åpninger som øker med belastningen, dvs. forskalingstrykket. Slike svakheter i forskalingen åpner for lekkasjer når det er mye bløt betong over lekkasjepunktet, og mye betong kan renne ut. Ved bruk av selvkomprimerende betong har en erfart en del slike episoder.

2.3 Forskalingens stivhet og styrke

For synlige overflater er det helt avgjørende at forskalingen ikke er underdimensjonert (det bør selvfølgelig ingen forskaling være) fordi:

- deformasjoner i forskalingen vil kunne vise seg som uakseptable svanker og bulninger i betongoverflaten
- hvis en skal oppnå ønsket støperesultat må en som regel støpe med høyere stigehastighet enn når en skal ta hensyn til forskalingen, dvs. betongtrykket blir større
- hvis en benytter selvkomprimerende betong og høy stigehastighet kan en risikere betongtrykk opp mot hydrostatisk trykk.

Ved lemmeforskaling må alle lemmeskjøter være understøttet. Finérlemmer kan ha ulik stivhet og få ulik nedbøyning dersom de ikke er understøttet i skjøtene. Alternativt må de være understøttet av strøved så tett at nedbøyningen mellom strøen blir neglisjerbar.

En systemforskaling har alltid (?) den fordel at den har jevn styrke, uten spesielle svake punkter. Den har heller ikke svake punkter mht. lekkasjer. Ulempen er at overflaten kan fortone seg noe "kjedelig". Likevel må det fremheves at systemforskaling bør foretrekkes til større byggverk. Det kan bevisst utformes ønskede lemmemønstre, og monotonien kan brytes ved enkel profilering.

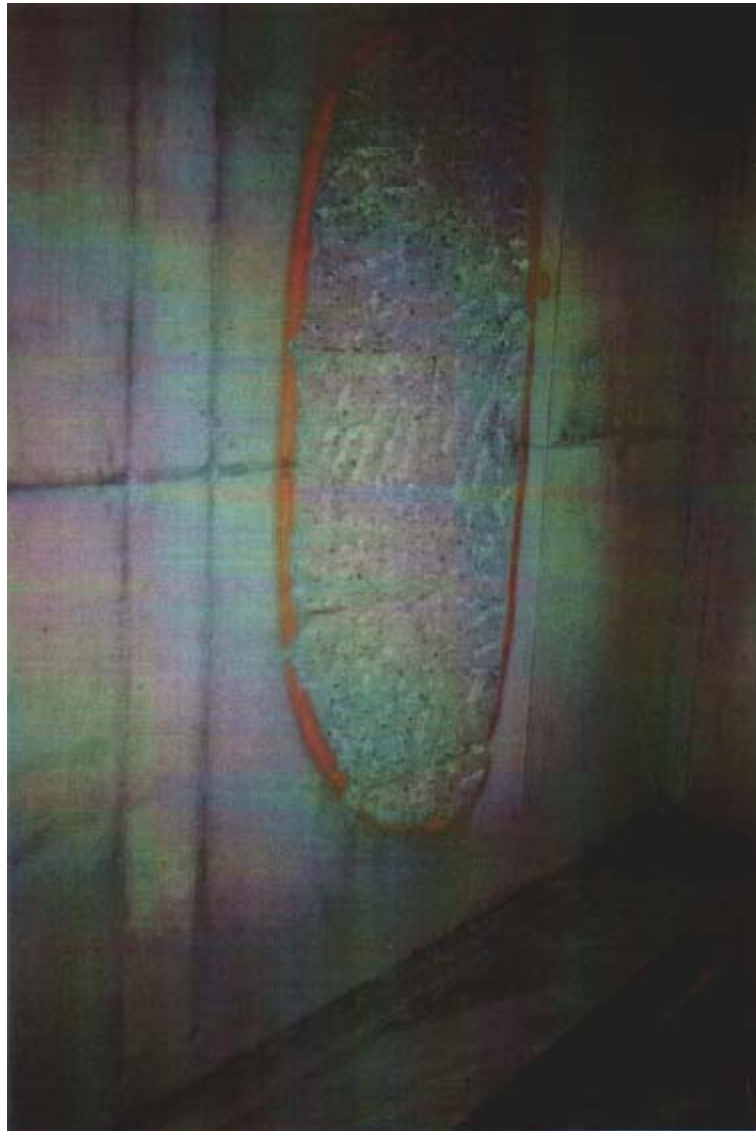


Fig. 8. Resultatet av for svak forskaling og for høy stigeastighet. Veggen "sprakk" og fikk "mage".

2.4 Staghull

For synlige betongoverflater er det et vanlig krav at staghull skal stå i et regelmessig mønster. Om forskalingen ikke gir mulighet for dette, har en supplert forskalingen med propper som imiterer staghull.

For utseendet av betongoverflaten generelt og ved staghullene spesielt, er det viktig at alle stagene blir trukket til og trukket til jevnt før støp. Hvis sementlim eller mørtel kommer inn mellom forskalingen og plastkone på stagrøret, ender det ofte med rivingskade. Plastkone må også slutte godt til forskalingen for at det ikke skal bli lekkasje ved staghullet.

Tetting av staghullene etter forskalingsriv kan lett ødelegge utseendet av en ellers pen overflate. For ikke å risikere søl med mørtel anbefales plastpropper eller koniske betongstaver i koniske hull.

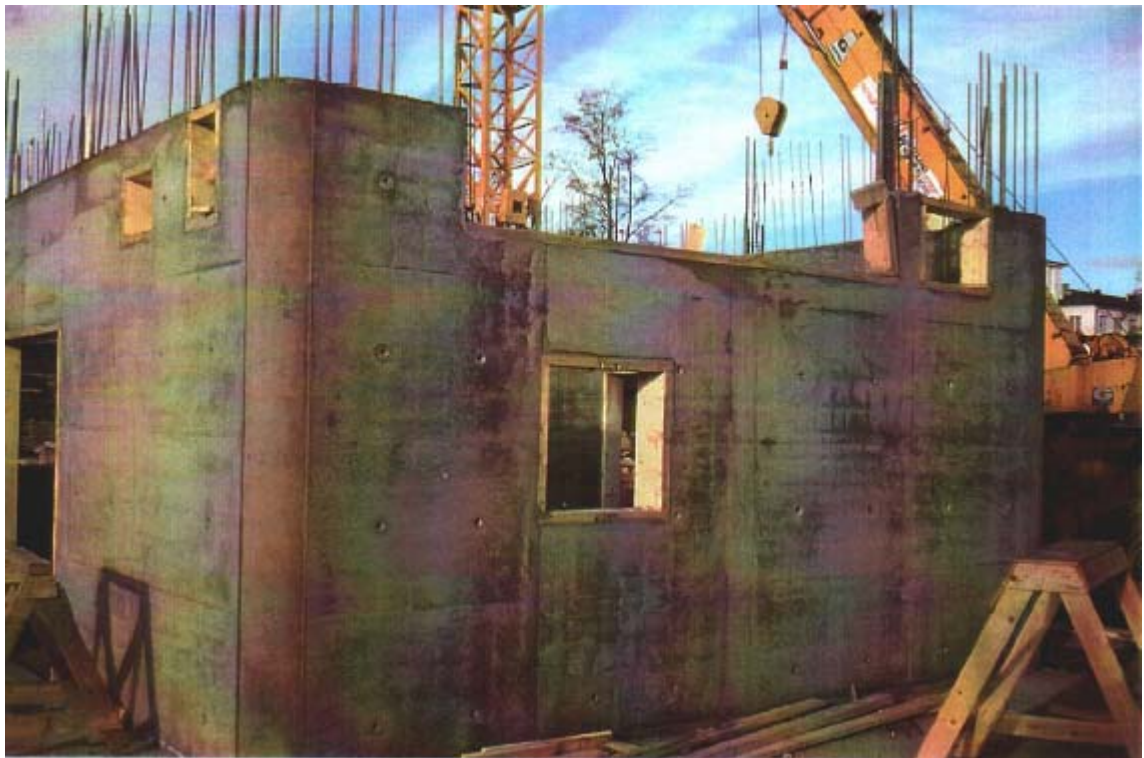


Fig. 9. Forskalingen har hatt ekstra propper som imiterer staghull.

2.5 Forskalingsolje

Bruk av forskalingsolje er nærmest en nødvendighet for å kunne rive forskalingen uten å skade verken betongoverflaten eller forskalingshuden. Også nye forskalingslemmer og nye bord trenger å bli påført forskalingsolje.

Den feilen omtrent alle utførende gjør, er å bruke for tykt med forskalingsolje. For tykt blir det enten en bruker sprøyte eller rulle. Skal en få pene, porefrie og skjoldefrie overflater, må en ha tynn og jevntykk film av forskalingsolje.

Sommerstid fordampes forskalingsoljen når forskalingen blir stående en tid før støp. Om en sprøyter eller ruller på forskalingsolje kort tid før støp (eksempelvis lukkeflaket på en systemforskaling) blir oljefilmen for tykk og ujevn. Likeledes blir oljefilmen for tykk og ujevn vinterstid, delvis fordi oljen er tykkere, delvis fordi overskuddet av olje ikke fordampes så lett. I ”finere” elementindustri er det vanlig å tørke av overskuddet av forskalingsolje med klut eller lignende etter at den er påført forskalingen.



Fig. 10. Typisk vinterstøpsresultat. Skjoldete overflate pga. for tykt og ujevnt med forskalingsolje.

Det påstås å være forskjell på forskalingsoljer, dvs. at noen gir penere overflater enn andre. Det kan godt være riktig, men felles for de alle er at de må danne tynn og jevntykk film for å gi pen, porefri og skjoldefri overflate.

En forskaling som benyttes flere ganger, blir mer og mer skitten av støv for hver gang den brukes. Støvet binder forskalingsolje, og oljefilmen blir tykkere og tykkere etterhvert, overflatene blir tilsvarende styggere etterhvert. Skal en oppnå pen overflate ved gjenbruk av forskalingen, må forskalingen vaskes med såpevann eventuelt for hver gangs bruk, før ny forskalingsolje påføres.

2.6 Riving av forskaling

Det må være en absolutt målsetting å unngå skader på betongoverflaten ved riving av forskalingen. Det vil si

- forskalingen må være slik utformet at den kan løsnes uten brutalitet, og slik at kreftene fordeles over større arealer, ikke ved bending i hjørner etc.
- forskalingen må stå så lenge at betongen over alt har oppnådd tilstrekkelig fasthet, men ikke så lenge at forskalingen har brent seg fast (eller frosset fast vinterstid).

Rekkefølgen av arbeidsoperasjoner ved riving av forskaling kan ha betydning for om det oppstår skader. Lekter/bord spikret på forskalingen for å gi mønster i betongoverflaten (profilering) må være konet for å kunne fjernes uten skader. Utsparinger bør fortrinnsvis være koniske dersom utsparingskassene skal kunne benyttes om igjen.

Spesielt vinterstid kan det by på problemer å oppnå tilstrekkelig fasthetsutvikling overalt til å unngå rivingsskader. Der det er kuldebruer (utstikkende skjøtearmering, innstøpnings-

gods, metallrammer på systemforskaling etc.), utsparing i betongvolumet (trekkerør, koblingsbokser etc.) eller utstikkende hjørner, vil fasthetsutviklingen bli dårligere. Hvis det skal produseres pene betongoverflater, er det en god regel å kle inn hele støpeobjektet med presenninger, om det da ikke er så kaldt at en også må fyre.



Fig. 11. Typisk rivingskade hvor trekkerøret er festet til forskalingen der betongens herding er dårligst.

2.7 Beskyttelse mot avkjøling vinterstid

Fargen på betongoverflaten avhenger av temperaturen betongen har herdnet ved, kfr. figur 12. Lav temperatur resulterer i mørkere overflate.



Fig. 12. Samme betongresept og samme type forskaling, men ulik herdetemperatur.

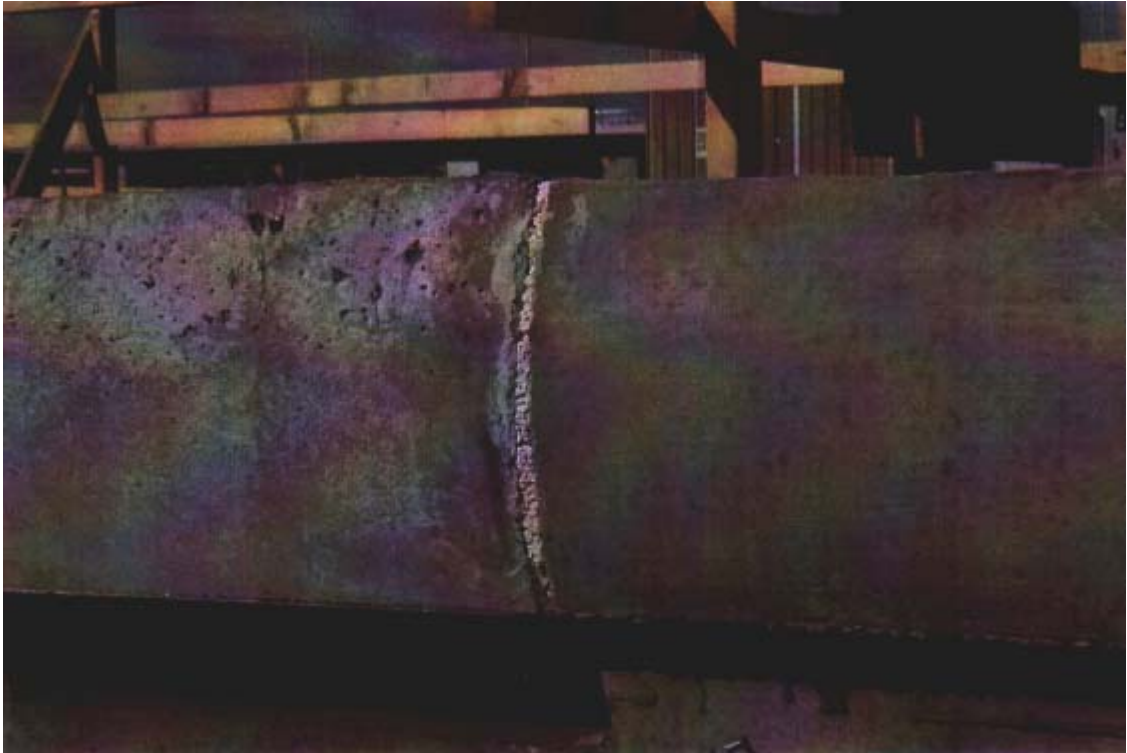


Fig. 13. Resultat av temperatur ned mot frysepunktet i betongen til venstre.

Ved temperatur i den ferske betongen ned mot frysepunktet får en ikke bare mørkere farge, overflaten blir full av porer. Hva dette skyldes er ukjent, men sammenhengen mellom årsak og resultat er helt klar. Slike poreansamlinger opptrer der det har vært ekstraordinær avkjøling, dvs. øverst mot fri overflate, på utstikkende hjørner etc.

Ved kraftig avkjøling av betongen nær forskalingen, vil denne betongen få lengre størkningstid enn betongen innenfor. Den plastiske setningen fortsetter da i lengre tid enn i betongen innenfor, og en får grove setningssprekker ut mot overflaten. Dette er et vanlig fenomen om en bruker ubeskyttet stålforskaling vinterstid.



Fig. 14. Veggene forskalt med finér, hjørnet med et 1/4 stålrør. Avkjøling fra stålrøret har gitt grove setningsskader i toppen av hjørnet.

Alle disse effektene leder til én konklusjon: Konstruksjoner som skal ha pene overflater må skjermes mot avkjøling fra betongen er støpt fram til betongen har oppnådd så høy fasthet at forskalingen kan rives.

2.8 Støpeskjøter

Støpeskjøtene er ofte de vanskeligste punktene å få til pene. En ting er fargen, det blir gjerne litt forskjellig farge avhengig av betongkonsistensen, betongtemperaturen, herdetemperaturen osv., kfr. figur 12. Fargenyanser er svært vanskelig å unngå helt, og en må tilstrebe slike støpeavsnitt at "alt en kan se på én gang er støpt på én gang". Eller at støpeavsnitt-inndelingen følger konstruksjonsdel-inndelingen.

Støpeskjøter innenfor en konstruksjonsdel er ofte ikke til å unngå, og den vil da bli synlig. For å unngå at skjøten blir stygg, benyttes to framgangsmåter:

1. Markere skjøten med en lekte på forskalingen. Lekten gir rene, rette streker som blir mer dominerende i synsbildet enn støpeskjøten. Lekter 10 x 40 mm med avrundede eller skråskjærte kanter har vært benyttet.
2. Forskalingsstag plasseres nær støpeskjøten og trekkes godt til (forspennes) før støp. Stagene kan plasseres like over eller like under støpeskjøten, men må være så nær skjøten at forskalingen ikke presses ut av betongtrykket.

Plassering av forskalingsstag nær støpeskjøter er en forutsetning for å få god komprimering og god tetthet i støpeskjøtene, og burde være obligatorisk uansett krav til overflaten. (obligatorisk krav i Prosesskode-2, prosess 84.2.



Fig. 15. Sprang og steinreir i støpeskjøt.

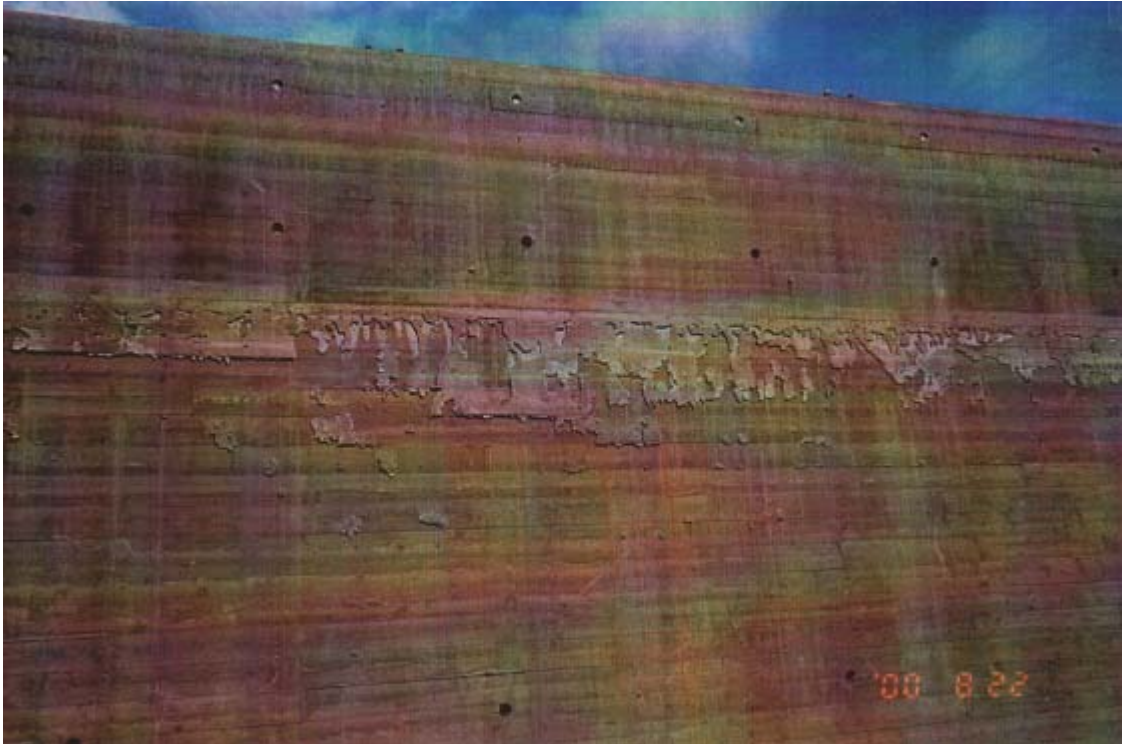


Fig. 16. Lekkasje av mørtel i støpeskjøt.

Forskaling

Forskaling for synlige overflater må være stivere, sterkere og tettere mht. lekkasjer enn det som kreves normalt. Forskalings huden må være uten skader. Forskalingsstagene settes i et regelmessig mønster og trekkes godt til før støp. Forskalingsstag settes alltid nær støpeskjøter.

Forskalingen skal være påført en tynn og jevntykk film av forskalingsolje. Dette kan gjøres ved at forskalingen etter påføring av olje står eksponert i sol og sommervarme i minst 2 døgn før den brukes, eller at overskuddet av olje tørkes av med klut. For hver ombruk av forskalingen skal den rengjøres med såpevann, før ny forskalingsolje påføres.

Vinterstid skal betongen beskyttes mot avkjøling fra utstøping fram til riving av forskaling. Om det ikke benyttes fyring i telt, skal hele støpeavsnittet inkludert utstikkende skjøtarmering kles inn med isolasjon og presenninger.

3. Betongsammensetning og –egenskaper

Delmaterialene som benyttes i betongen og mengdeforholdet mellom delmaterialene influerer i stor grad på

- fargen av betongen, og
- støpeligheten, dvs. hvor lett eller vanskelig det er å oppnå pen og feilfri utstøping.

3.1 Farge

Fargetonen til den herdede betongen bestemmes i stor utstrekning av

- fargen på finstoffene i betongen
 - o sementen
 - o silikastøv
 - o filleren i tilslaget
- v/c-forholdet for betongen (lavt v/c gir mørk farge)
- temperaturen betongen herdner ved (lav temperatur gir mørk farge)
- tilsetningsstoffene, egen farge og innvirkning på fillermengde og v/c-forhold

Forskalingshuden innvirker indirekte på fargen ved at den påvirker v/c-forholdet (suger mer eller mindre vann fra betongen, lekker ut mer eller mindre vann), og ved at den varmeisolerer betongen i en viss grad.

Industrisement gir lysere farge enn Standardsement, delvis på grunn av raskere hydratasjon og delvis på grunn av bedre binding av vannet/mindre vannutskillelse.

Silikastøv gir normalt kraftig mørkere farge på grunn av støvets mørke farge. Det fins imidlertid hvitt silikastøv til høyere pris.

Hvit sement alene gir kun lys grå farge på betongen, med mindre vanlig grå sand skiftes ut med hvit sand som har hvit filler.

Steinen og sanden utenom filleren gir knapt noe utslag på betongens overflatefarge i det hele tatt.

Viktige momenter ved proporsjonering av betong for pene overflater er:

- sørg for tilstrekkelig finstoff i betongen, minst 400 – 450 kg/m³ i vanlig vibrert betong, mer i SKB
- kravet til finstoffmengde innebærer at optimal fasthetsklasse er C40 – C45, til nød C35. C25 vil være for fillerfattig
- bruk ikke for mye vannreducerende tilsetningsstoff, slik at konsistensen blir for fintfølede overfor vanddoseringen
- hold alle ting mest mulig konstant i blanderiet og i leveransen, unngå variasjoner i delmaterialer, oppmåling og produksjon

- hvis det er krav om en annen farge enn grå, vær nøye med å unngå forurensninger som kan misfarge betongen i blanderiet.

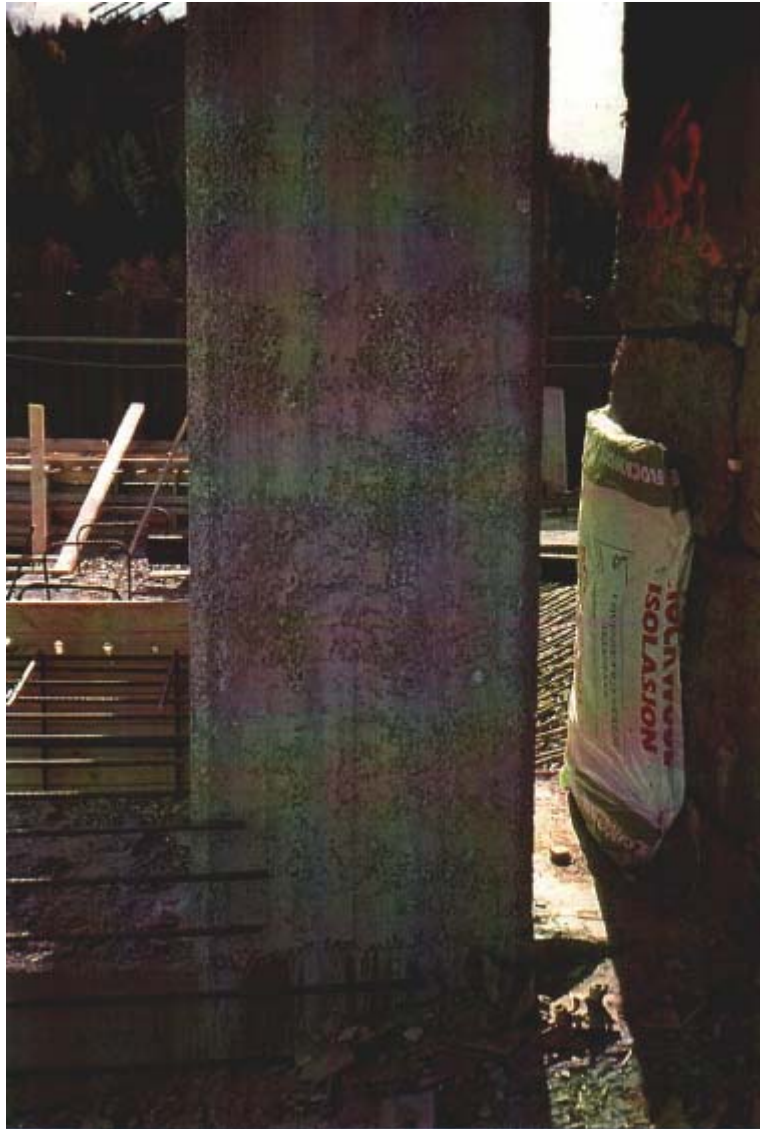


Fig. 17. Dette bedrøvelige resultatet skyldes ikke dårlig utstøping, men ekstrem mangel på filler og finsand i betongen.

3.2 Støpelighet

Begrepet støpelighet omfatter svært mye. De tre vanligste egenskapene det sies å omfatte er:

- **mobilitet**, evne til å flyte forbi hindringer og inn i trange rom
- **komprimerbarhet**, evne til å la seg påvirke ved vibrering og slippe ut innkapslet luft, bli et kompakt materiale uten hulrom
- **stabilitet**, evne til å holde seg homogen og ikke separere (vannseparasjon og/eller mørtelseparasjon).

En kan ikke påstå annet enn at støpelighet er viktig for betong til synlige betongoverflater, likevel er det på sin plass å påpeke erfaringen at:

- støpeutførelsen og forskalingen er mer avgjørende for resultatet enn betongsammensetningen
- en bør være forsiktig med ekstreme betongsammensetninger av alle slag, vanlig velproporsjonert betong trenger sjelden mer enn småjusteringer.

”Riktig sammensetning” for betong til pene, forskalte overflater kan beskrives med nyere betongteknologiske begreper knyttet til ”partikkel-matriks modellen” og betong betraktet som Binghamsk væske. Disse begrepene benyttes særlig til å beskrive SKB.

I partikkel-matriks modellen regnes betongen å bestå av to komponenter:

- partikler, som er alle tilslagskorn større enn 0,125 mm
- matriksen, som er all væske (vann, tilsetningsstoffer) og alt pulver mindre enn 0,125 mm (sement, silika, filler, ev. annet pulver).

Matriksen fyller ut hulromsvolumet i partikkelblandingen. Når matriksen har like stort volum som hulrommet, er betongen kompakt. Om matriksvolumet økes ytterligere, skyves partiklene fra hverandre, den ferske betongen får støpelighet. Desto mer partiklene skyves fra hverandre, desto mindre vil friksjon mellom partikler og desto mer vil matriksens egenskaper prege den ferske betongens egenskaper. Betongens flyteskjærspenning reduseres. Betong som skal gi pene overflater må ha et så stort matriksvolum at det overstiger hulromsvolumet til partiklene også når partiklene ikke er helt ideelt fordelt.

Matriksens egenskaper må være ”riktige”. Det vil si at

- den må være lettflytende, ha lav flyteskjærspenning, men likevel så ”seig” at den holder kontakt med partiklene og ikke separerer ut disse.
- den må være stabil uten tendens til å skille ut vann, noe som resulterer i at matriksegenskapene endres og at vannporer og vannrender dannes på utstøpte flater. Separasjon må heller ikke skje mellom andre bestanddeler.

Forskjellen mellom vibrert betong og SKB gjelder først og fremst kravene til matriksens egenskaper, dernest avstanden mellom partikler slik at friksjonen mellom disse er liten.

3.2.1 Vanlig vibrert betong

Det er to helt ulike ”skoler” med hensyn til hva som er riktig støpelighet for betong til synlige flater:

1. **Den som satser på mobilitet.** Det som karakteriserer betongen er bløt konsistens (høy slump, 20 cm eller mer), høyt sand/stein forhold og finstoffinnhold som er tilstrekkelig til å stabilisere betongen.
2. **Den som satser på komprimerbarhet.** Det som karakteriserer betongen er et velgradert tilslag med relativt mye grovt materiale (stein), noe som gir mindre behov for finstoff. Konsistensen er mer moderat, 10 – 15 cm synkmål, og dette gjør at separasjonstendensen blir liten.

I Norge er det ”skole nr. 1” som har dominert totalt. Svært få kjenner til eller har våget å anvende ”skole nr. 2”. Fordelen med ”skole nr. 1” er at en alltid unngår katastrofestøper som må meisles bort. Ulempen er at en meget sjelden oppnår perfekt resultat. Ved litt størrelse på

støpeavsnittet har det lett for å bli både porer og streker/ skjolder. Fordelen med ”skole nr. 2” er at ved perfekt utført støpearbeid får en også perfekt resultat. Ved forglemmelser og feil i støpearbeidet, eller hvis det er partier av støpen hvor en ikke kommer til skikkelig med vibratoren, blir det garantert støpesår. Betongen sladrer om utførelsen av komprimeringsarbeidet.

En skulle tro at ”skole nr, 2” var umulig å anvende der det er tett armering, men det har vist seg at ”skolen” fungerer selv ved relativt store armeringsmengder, forutsatt at betongen ikke er altfor seig. (Det vil si har for høyt finstoff- og/eller SP-innhold.)

Det kan være verd å merke seg at betong til vegger bør være mindre seig enn betong til dekker. Seig betong lar seg vanskelig kompaktere ved vibrering, dvs. det blir alltid en del porer, og det har også veldig lett for å bli en del skjolder.

Hvis betongen er for lite seig, dvs. vannet er for lite bundet i finstoffet, skilles noe vann ut av støpetrykket og en får ”vannrender” på betongoverflatene. Dette er spor etter vann som har beveget seg oppover langs forskalingen og vasket med seg finstoffet.



Fig. 18. Resultat av dårlig blandet, fillerfattig C25 med ekstrem vannutskillelse.



Fig. 19. Normal, velproporsjonert betong kan gi pene overflater, dersom øvrige vilkår er oppfylt.

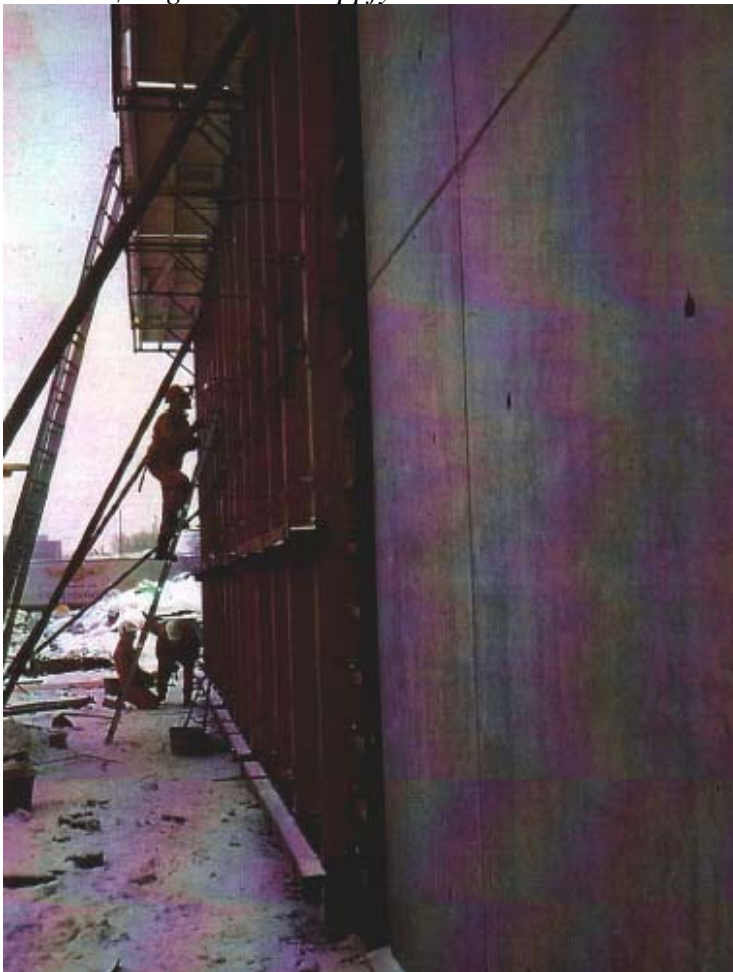


Fig.20. Som figur 19.



Fig. 21. Vannrender skyldes utskilt vann som pipler opp langs forskalingshuden.

3.2.2 Selvkomprimerende betong

Selvkomprimerende betong kan sies å være en videreutvikling av ”vibrert betong, skole nr. 1”. Betongen er både bløtere og har høyere finstoffinnhold enn det som har vært benyttet i vibrert betong. Tilsetningsstoffet og proporsjoneringen gjør at betongen komprimeres av egen vekt og egen glatthet, mobiliteten er i en helt spesiell klasse.

Stabilitet har likevel vist seg å være et tema å være opptatt av for selvkomprimerende betong. Ved de fleste anvendelsene av SV40 SKB har det vist seg at armeringsstolene av betong blir synlige på betongoverflaten. Sementlimet er så seigt og stabilt at det ikke trenger inn mellom forskalingshuden og armeringsstolene. I ett tilfelle (E-134 Heggstad – Damåsen) oppnådde en å skjule armeringsstolene helt, men til gjengjeld viste overflaten en del vannrender.



Fig. 22. Typisk støperesultat med SV-40 SKB, perfekt overflate men synlige armeringsstoler av betong.

Betongsammensetning og –egenskaper

Pene synlige betongoverflater kan oppnås med vanlig vibrert betong og med selv-komprimerende betong. Betong til synlige flater trenger høyt finstoffinnhold, optimal fasthetsklasse er C40 – C45, til nød C35. Så vel vibrert betong som SKB må være stabil og ikke vise vannutskillelse eller mørtelseparasjon.

4. Støpeutførelsen

Erfaring har vist at selve støpeutførelsen er viktigst for å oppnå gode resultater. Utførelse med SKB er enklere enn utførelse med vibrert betong, men begge metoder har sine støperegler som må følges. Mye er likt, eller nesten likt, for begge metodene.

Generelt er det slik at støpearbeid som går jevnt og trutt uten avbrudd gir penest resultat. Før arbeidet starter må derfor alt nødvendig utstyr være rigget og funksjonsprøvet, slik at en kan gjennomføre arbeidet uten omrigging og reparasjoner. Betongleveransen må gå kontinuerlig uten avbrudd, slik at det ikke oppstår pauser i støpingen på grunn av venting på betong.

Et ”juksetriks” som benyttes for å oppnå pene overflater er å vanne forskalingen rett før støp. Det vannet som legger seg på forskalingen bidrar til å bløte betongen litt mot forskalingen (øker v/c-forholdet), slik at betongen blir lettere.

4.1 Støpeutførelse med vibrert betong

4.1.1 Oppstart av støpen

Ved oppstart av støpen har det spesielt lett for å oppstå separasjon av betongen, som i verste fall kan resultere i steinreir. Startpunktet for støpingen må derfor velges

- på et av de stedene hvor det er minst separasjonspåkjennning på betongen, dvs. er
 - * minst mulig armering betongen kan slå borti (unngå skjøteområder)
 - * minst mulig fallhøyde for betongen
- på et av de stedene det ikke er risiko for at betongen spruter ut og legger seg oppå utsparinger eller hyller i forskalingen
- slik at en får en logisk fortsettelse av støpen.

Hvis det er risiko for separasjon av den første betongen som kommer i forma, kan en fire vibratoren nesten helt ned først der en starter støpingen. På den måten kan en sikre at en får vibrert best mulig også på dette stedet. Metoden er å betrakte som ordinær, standard utførelse for slanke søyler.

Et annet hjelpemiddel som kan benyttes for å få kompakt utstøping i bunnen til tross for separasjonsrisiko, er å starte opp (legge den første eller de to første floene) med betong som har 25 % redusert steinmengde. Reduksjon av steinmengden har minimal betydning for betongens farge.

Den første floa i en vegg- eller bjelkestøp krever ekstra kraftig vibrering for å bli kompakt mot underlaget. Denne betongen kan også vibreres meget kraftig uten at det er risiko for å overbelaste forskalingen. Høyden av den første floa bør være omtrent som lengden av vibratorflaska, da arbeider vibratoren best. Floa bør være mest mulig jevntykk. Å legge første floa og komprimere denne (”legge bunnen”) tar noe lengre tid enn de øvrige lagene, og bør sees på som en egen operasjon ved utstøpingen.

Om underlaget en støper mot er skrått, starter en i formas laveste punkt, og fortsetter flo for flo oppover med horisontal overflate på hver flo.

Om en skal støpe en skrå plate (mer enn noen få graders helning), starter en også i platas laveste punkt og legger flo for flo oppover.

4.1.2 Utlekking av betong videre oppover

Utlekkingen av betongen skal være slik at en kan få kompaktert den godt, - med minst mulig separasjon. Dette innebærer at betongen må legges ut i jevntykke floer som kompakteres før neste flo legges. En svært stor andel av de utstøpningene som er blitt stygge er blitt som de er fordi en ikke har lagt ut betongen i floer med jevn tykkelse.

Tykkelsen av floene velges avhengig av betongens smidighet og komprimerbarhet, eventuelt helning av forskalingen og kravene til pen overflate. Tykkelsen av floene må også tilpasses betongtilførselskapasiteten, slik at en fullfører en hel flo ("hele runden") og kan starte neste flo før betongen i foregående flo har mistet vesentlig av støpeligheten.



Fig. 23. Typisk støperesultat som følge av at betongen ikke er lagt ut i floer, og at støpingen har foregått for sakte.

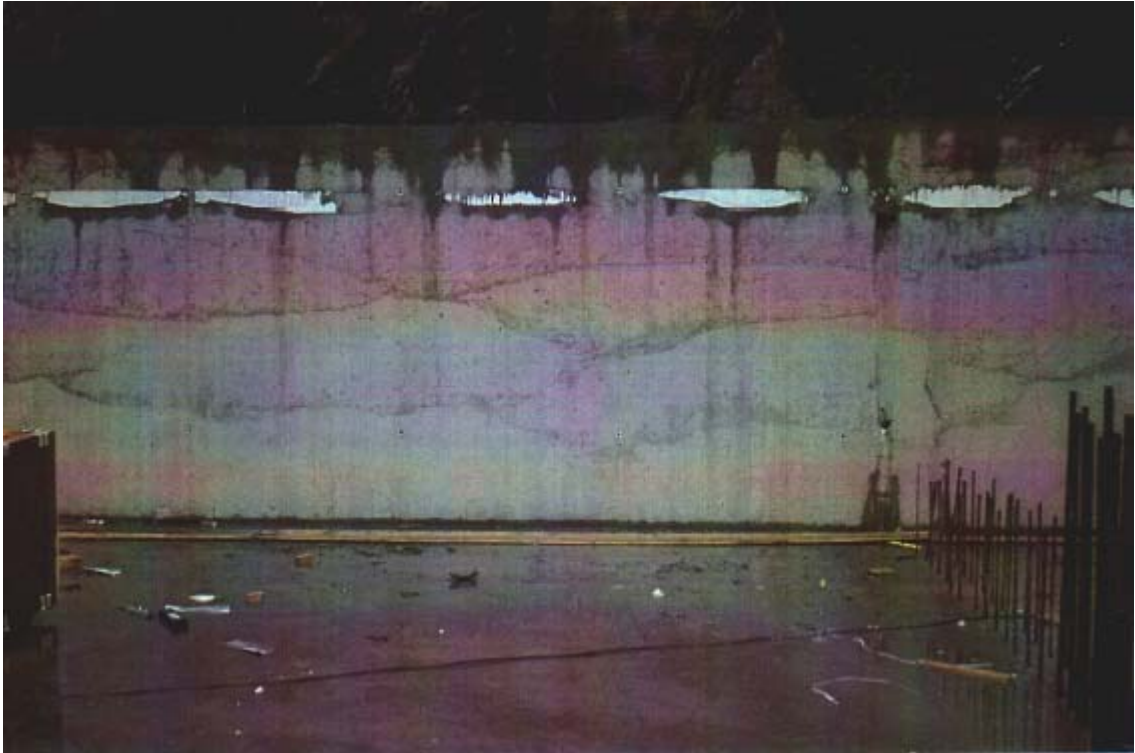


Fig.24. Som figur 23.

Det har vært benyttet flohøyder på 80 – 100 cm med godt resultat (kfr. figur 19), men dette må betegnes som flaks. Flohøyden bør være omtrent som lengden av vibratorflaska, da vibreres skjøten mellom floene når vibratoren er fullstendig neddykket i betongen. Ellers er 40 – 50 cm en god anbefaling med hensyn til flohøyde.

Dersom forskalingen er litt skrå (det skal ikke mange gradene helning til) eller det skal støpes oppunder overforskaling, må flohøyden reduseres og vibrasjonsarbeidet økes vesentlig. Flohøyden under slike forhold bør reduseres til 20 – 30 cm, eventuelt enda mindre. For å få rimelig jevntykke floer må betongen fylles kontinuerlig over støpefronten (spesiell veggtobb i tårnkran som knapt nok er i bruk lenger, eller kontinuerlig flytting av pumpe slangene i tykkere vegger/bjelker), eller det må fylles i punkter som ligger rimelig tett avhengig av betongens utflytning.



Fig. 25. Spesiell søyletobb til venstre, veggtobb til høyre.

4.1.3 Vibrering

Generelt bør det velges den største vibratoren som får plass i forskalingen, armeringstettheten tatt i betraktning. Om en må velge en liten vibrator på grunn av armeringstettheten, må en være klar over at en liten vibrator også har mindre effekt og det må settes større krav til betongkonsistensen.

Vibratorflaska skal stå vertikalt i betongen når den brukes. **Vibratoren skal føres raskt ned i betongen gjennom skjøten til betonglaget under og trekkes sakte opp igjen.** Årsaken til at en skal føre vibratoren raskt ned er at det er lettere å få ut innkapslet luft om en unngår å komprimere betongen i toppen først. En gammel regel sier at vibratoren skal føres 10 – 15 cm gjennom lagskjøten, men hovedpoenget er at vibratoren kommer gjennom skjøten, ikke centimetrene. Vibratoren skal trekkes sakte opp for at den skal greie å transportere luftblærene med seg opp og ut. **Erfaringsmessig er det ingen andre tiltak som er tilnærmedesvis så effektive med hensyn til å oppnå porefrie overflater som det å trekke vibratoren sakte opp.** De aller fleste betongarbeiderne trekker vibratoren alt for raskt opp.

Vibratoren skal brukes systematisk slik at all betong komprimeres tilstrekkelig. En gammel regel sier at vibratoren skal settes ned i punkter med innbyrdes avstand 8 – 10 ganger diameteren av vibratoren, der det ikke er spesielle hindringer for komprimeringen. Tett armering, innstøpningsgoods etc. medfører at det må vibreres tettere. For å få pene, porefrie overflater settes vibratoren i en avstand 1 – 2 ganger stavdiameteren fra forskalingsshuden.

Hvor lenge skal det vibreres ? Noe enkelt svar på dette kan ikke gis, det er betongens komprimerbarhet (evne til å slippe fra seg innkapslet luft) som er avgjørende. En må følge med på støperesultatene og se hvordan de er. Tilfredsstillende resultat er en kvittering på tilstrekkelig vibrering. Men glem ikke at det å trekke vibratoren sakte opp er det viktigste.

Ofte har konstruksjoner som er pene og godt utstøpte en del grove porer helt i toppen. Det kommer av måten en avslutter støpingen på. En fyller forsiktig på toppen og bruker vibratoren til å "fordele betongen med" inntil forma er akkurat full, så går en videre langs forma og gjør det samme. Og så glemmer man å gå tilbake og vibrere all betongen på toppen slik resten av betongen er vibrert, - ved å trekke vibratoren sakte opp.

4.1.4 Staking med lekte

I stedet for vibrering kan en stake med en lekte eller et bord langs forskalingsshuden. Metoden forutsetter ganske bløt betong. Metoden kan ikke antas å gi tilsvarende komprimeringsgrad som vibrering, men er en god erstatning hvis en ikke kommer til med vibrator.

Staking av bløt betong med lekte gir alltid pene og porefrie overflater, og kan derfor anbefales der det er avgjørende å oppnå porefrihet. Arbeidsmengden ved staking er ikke mindre enn ved vibrering, så det er lite å hente i så måte.

4.1.5 Utstøping ved utsparinger og andre hindringer

Utsparinger og hindringer innebærer at en ikke kommer til med vibratoren slik en ønsker. Dette øker risikoen for avvik i overflatens utseende betraktelig.

Det er flere framgangsmåter for å oppnå god utstøping under og rundt hindringer, men en av de sikreste og mest oversiktlige er følgende:

Støp opp og vibrer betongen til ca. 30 cm under hindringen, da er det passelig åpning til å fylle opp det resterende i én operasjon. Når neste betonglag legges ut, fyll ekstra betong **ved siden av** hindringen, sett vibratoren ned i den ekstra betongmengden i nivå under hindringen og la vibratoren gå. Fyll på mer betong slik at betong presses inn under hinderet ved hjelp av det ekstra betongtrykket den ekstra betongen gir, og den flyten i betongen vibreringen gir. Når betongen kommer fram på motsatt side av der en fyller betong, helt oppunder hindringen, er en sikker på at hele volumet under hindringen er fylt.

Denne metoden kan benyttes for alle typer hindringer, dvs. utsparinger, innstøpningsgods, tett armerte områder osv.

I mange tilfeller er hindringen så stor at en ønsker å komme til med vibrator også under hindringen. Dette kan gjøres på to måter:

1. Stavvibratoren kan bindes fast med plaststrips til en armeringsstang $\text{Ø}^k 16$ eller $\text{Ø}^k 20$, og vibratoren kan settes der en ønsker. (Stiv stang i stedet for fleksibel slange.)
2. En kan sette et 4" plastrør til det området hvor en ønsker å vibrere, og så tre vibratoren ned inni plastrøret. Når vibratoren er i bunnen, kan en starte vibratoren og trekke røret litt opp slik at vibratoreffekten virker bedre på betongen.

Disse to metodene kan med fordel benyttes også der veggforskalingen er litt skrå (for eksempel støttemurer med helning 10 : 1), hvor vibratoren ellers ikke kommer tilstrekkelig nær den skrå flaten som blir synlig.

4.1.6 Stigehastighet

Konstruksjoner som skal ha pene overflater må støpes kontinuerlig uten avbrudd, og med så høy stigehastighet at betongen i laget det til enhver tid støpes mot ikke har mistet konsistens i nevneverdig grad. Støpefronter som ligger stille så lenge at betongen mister konsistens eller får ”skorpe”, noe som både kan skyldes uttørking og betongens egen tiksotropi, vil gi mørkere streker på betongoverflaten. Strekene kan se ut som kaldskjøter, men er det ikke. Eksempler på resultater er vist i figur 23 og 24.

Den optimale stigehastigheten for å oppnå pene overflater er trolig 1 – 2 m/time, høyere hastighet trengs ved høy betongtemperatur.

I forrige utgave av NS 3420 kap. L (og de foregående utgavene av standarden) sto det at støpehastigheten for vanntette konstruksjoner ikke måtte overstige 0,5 m/time. Med de betongtypene vi benytter i dag ville så liten støpehastighet resultere i en mengde mørke streker på betongoverflatene. For høyere betongkvaliteter og sommertemperaturer ville det endog gi risiko for kaldskjøter.

Risikoen ved å støpe med høy stigehastighet er at betongen skal sprekke opp (for eksempel ved bøyer i søyler) på grunn av plastisk setning. Erfaringsmessig opptrer denne opprissingen kun på den øverste meteren av støpeavsnittet, hvor betongtrykket er minst. Å revibrere betongen i den øverste 1,5 meteren av støpeavsnittet 1 – 2 timer etter at støpingen er avsluttet er det rådet som vanligvis gis for å sikre mot plastisk setningsriss.

4.2 Støpeutførelse med selvkomprimerende betong

SKB har spesielle egenskaper i forhold til normalbetong. Den er proporsjonert med henblikk på å oppnå lang utflyting og god stabilitet/liten separasjonstendens. SKB har dessuten en tiksotrop karakter, dvs. den mister flyteevnen når den ligger i ro, men gjenvinner flyteevnen når den røres om.

Til tross for at stabilitet er tilstrebet for SKB, er det ikke til å komme utenom at så bløt betong er svært separasjonsømfintlig. Separasjon kan skje blant annet ved fritt fall og slag mot armering etc., ved glidning på skråplan, og ved lang utflyting i formen. SKB er alltid sammensatt med et overskudd av mørtel i forhold til det som kreves for å fylle ut mellom steinkornene, og et overskudd av matriks i forhold til det som kreves for å fylle ut mellom sandkornene. Når betongen flyter ut, får tilslagspartiklene kontakt, og de pakker seg med stor tetthet. Overskuddet av mørtel og overskuddet av matriks skilles ut og blir anriktet i utflytingsfronten. Jo lenger betongen flyter ut, desto mindre blir det av grove tilslagspartikler i fronten. Den utstøpte betongen kan bli inhomogen, som vist på figur 26.

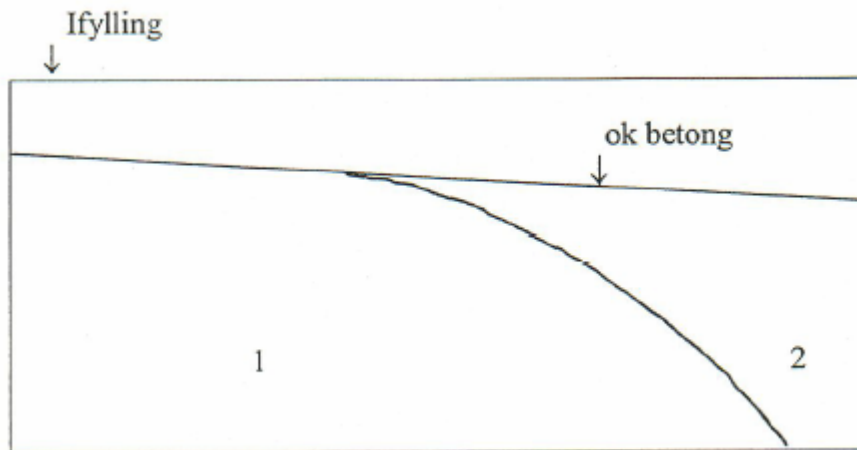


Fig. 26. Sannsynlig inhomogenitet ved for lang utflyting.

- 1 Betong med grove tilslagspartikler
- 2 Mørtel og matriks, uten eller med svært lite stein

Når SKB har ligget i ro en tid, vil den ha fått en tiksotropisk tilstivning. Om det også foregår noe uttørking, vil SKB få en hardere overflateskorpe. Når ny, fersk SKB flyter ut oppå en slik skorpe, skjer ingen sammenblanding av lagene. På overflaten vil en få synlige streker som viser lagskjøtene. I verste fall kan en få noen millimeter manglende utfylling, som vist på figur 27. Et typisk eksempel som viser resultatet i praksis er vist på figur 28.

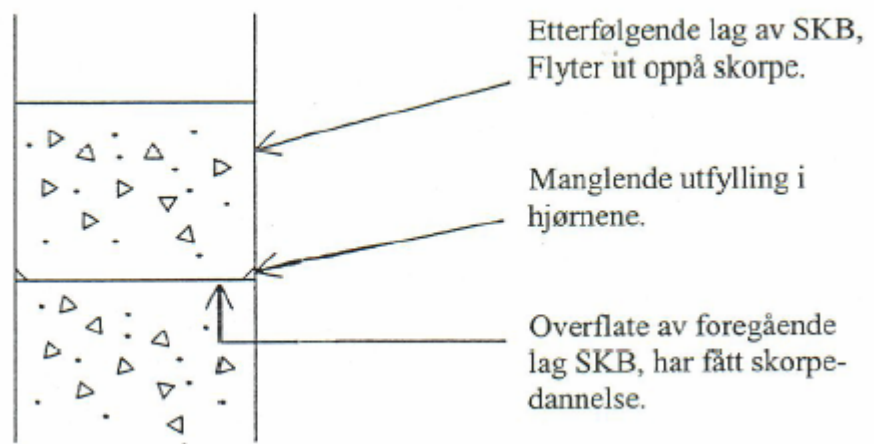


Fig. 27. Risiko for synlige lagskjøter med SKB.

Utførelse med selvkomprimerende betong er enklere og vesentlig mindre arbeidskrevende enn med vibrert betong. Til gjengjeld må det stilles større krav til riktig og jevn konsistens for betongen, og det er enda mer viktig å unngå separasjon før og idet betongen fylles i formen. Ved bruk av vibrert betong kan en i stor grad "reparere" den separasjonen som måtte oppstå, ved bruk av SKB foregår ingen etterfølgende bearbeiding som retter opp resultatet i tilsvarende grad. Selvfølgelig kan også SKB vibreres selv om det gir fare for separasjon, eller den kan stokes med lekte, men slikt arbeid legger man normalt ikke opp til å gjøre når man først velger SKB.



Fig. 28. Eksempel på "floender", manglende utfylling hvor bløt SKB flyter ut oppå skorpe av SKB under.

Ut fra det foranstående gjelder følgende prinsipper for utstøping av SKB:

1. Håndteringen av betongen fram til fylling i formen og selve fyllingen i formen må være uten separasjonspåvirkning på betongen.
2. Utflytingslengden i formen må begrenses slik at separasjon ved lang utflyting unngås.
3. Utstøpingen må gå kontinuerlig uten avbrudd med så stor hastighet at skorpedannelse på overflaten unngås, eller støpemetoden må være slik at eventuell skorpe alltid brytes opp.

Ut fra erfaringene så langt bør pumpestøp med neddykket slange anses som den prefererte og normale støpemetoden for SKB. SKB er meget lett pumpbar, og det bør ikke by på problemer å pumpe SKB gjennom 4" rør, muligens heller ikke 3" rør. Pumpa sikrer at betongen kommer fram til støpestedet uten separasjon og uten tiksotrop tilstivning.

Støping med kran og tobb er anvendbart kun for relativt korte vegger på grunn av støpekapasiteten. (Normalt 12 – 16 m³/time, men avhengig av tobbstørrelse og kranens manøvrering.)

4.2.1 Oppstart av støpen

Erfaring har vist at det lett kan oppstå separasjon og steinreir der støpen starter.

Ved pumpestøp må pumperøret/slangen smøres opp før den settes i formen. Den første betongen som pumpes gjennom legger igjen mye av sementlimet på rør-/slangeveggen, og betongen som kommer ut er vesentlig mer steinrik enn hva SKB er. Denne "steinproppen" må være ute av røret/slangen før en begynner å pumpe opp i formen.

For å redusere separasjonen mest mulig ved start av støp bør pumpe­slangen føres helt ned til bunnen av formen, og kun ha ca. 10 cm klaring mot underlaget. Pumpen bør starte et sted hvor pumpe­slangen kan komme ned til bunnen. Pumpe­slangen bør settes ned i punkter med avstand ikke over 10 m (maks. 5 m utflyting til hver side).

Ved tobbstøp bør det fortrinnsvis brukes trakt med strømpe ned til bunnen ved oppstart av støpen, ev. andre hjelpemidler med tilsvarende virkning, for å redusere separasjonen mest mulig. Hvor det er god plass til å slippe SKB ned i formen uten at den slår mot armering kan fritt fall benyttes. Den første betongen som slippes ned vil da separere, men trolig uten at det oppstår steinreir. Betongen som følger etter vil ”drukne” de steinene som er slått ut av den første betongen.

Ved tobbstøp er det spesielt viktig å starte et sted hvor det vil være minst mulig separasjonspåvirkning på betongen, - som ved vibrert betong.

4.2.2 Utlegging av betong videre etter oppstart

Ved pumpestøp holdes pumpe­slangens munning normalt dykket 20 – 30 cm ned i allerede utstøpt betong. Dersom ekstremt tett armering eller andre hindringer begrenser utflytingen, kan betongtrykket økes ved å dykke slangemunningen ca 1 m ned i betongen. Også om utflytingsevnen for betongen er dårligere enn ønsket, kan dette kompenseres med større neddykkingsdybde for pumpe­slangen.

Ifyllingssted bør skifte så ofte at skorpedannelse på overflaten og separasjon i utflytingsfronten minimeres. Dersom det er dannet skorpe på overflaten, må pumpe­slangen settes ned med mindre avstand, og etter at pumpingen har startet på nytt sted kan pumpe­slangen med fordel senkes ca. 1 m ned for å bryte opp skorpen over en større lengde. I det pumpingen starter på nytt sted bør neddykkingen kun være 20 – 30 cm for at luft i pumpeledningen lettere skal komme opp og ikke bli innelukket.

Under utstøping med betong som har full utflytingsevne, vil overflaten vanligvis få et fall på 1 – 2 %. Dersom fallet ok vegg skal være større, må en enten

- vente til betongen har mistet noe av sin flyteevne, eller
- støpe toppen av veggen med normalbetong som vibreres, vått i vått med SKB under, eller
- støpe oppunder overforskaling. Eksempel på framgangsmåte for støp oppunder overforskaling er vist i figur 29.

Ved støp av SKB med kran og tobb må følgende iakttas:

- det må sjekkes at det ikke skjer separasjon på grunn av risting og skaking på tobben,
- fyllingen i veggen må skje gjennom trakt ved lav eller tykk vegg, trakt med slange eller strømpe ved høy og/eller tynn vegg, eventuelt gjennom slange på tobben,
- sted for fylling må skifte hele tiden slik at skorpedannelse unngås.

4.3 Spesielle forhold ved skrå forskaling og overforskaling

Betongoverflater mot horisontal forskaling (uk dekker, bjelker etc.) er meget enkelt å oppnå pene og porefrie. Risikomomentene er kun:

- forurensning av treflis, biter av jernbindertråd etc. på forskalingen (dårlig rengjøring)
- dammer med forskalingsolje
- misfarging av forskalingshuden fra rusten armering
- avbrudd i støpingen, ”lepper” som ligger lenge og blir dårlig komprimert sammen med betong som utstøpes seinere.

Betongoverflater mot vertikal forskaling er vanskeligere å oppnå pene og porefrie, men det lar seg gjøre. Det er slike flater det i hovedsak er tenkt på gjennom hele denne rapporten.

Betongoverflater mot overforskaling og oppunder skrå forskaling er betydelig vanskeligere, eller nærmest umulige å få totalt porefrie med mindre spesielle tiltak gjøres. Det skal ikke mange grader helning til på forskalingen før problemene viser seg.

Ett tiltak som har vist tilfredsstillende resultater på skrå overforskaling er drenerende forskalingsduk, kfr. pkt. 2.1.6. Et annet tiltak som har vist meget gode resultater er bruk av SKB som pumpes inn med rør neddykket 0,5 – 1,0 m i allerede utstøpt betong, kfr. figur 29. Om en skal få til godt resultat med vibrert betong må det fylles meget tynne lag (0,1 – 0,2 m) om gangen, det må vibreres ekstremt godt nær oppunder forskalingen, og forskalingen må ha godt med lekkasjepunkter. Forskaling bestående av 2” lekter med ca. 1 mm åpninger mellom hver lekt har vært benyttet.

Støpeutførelsen

Feil ved støpeutførelsen er hyppigste årsak til at betongoverflater ikke blir så pene som de skulle ha vært. Det eneste som er spesielt for utstøping av pene overflater, er at utstøpingen må foregå kontinuerlig uten avbrudd og med en støpehastighet på 1 – 2 m/t, dvs. noe raskere enn normalt. For øvrig er det de ordinære reglene for støping av vanlig betong som gjelder:

- lagvis utlegging, vanligvis 40 – 50 cm lagtykkelse
- vibrering av hvert lag (flo) sammen med laget under
- føring av vibratoren *raskt* ned i betongen, og trekking av den *sakte* opp igjen.

Utstøping med SKB er enklere og mindre arbeidskrevende enn med vibrert betong, men også for SKB gjelder støpereglene. Normalt bør pumpestøp benyttes for SKB. Pumpeslangen bør holdes dykket 20 – 30 cm, og den må flyttes så ofte at det verken

- dannes overflateskorpe, eller
- foregår utflyting av betongen vesentlig utover ca. 5 m.

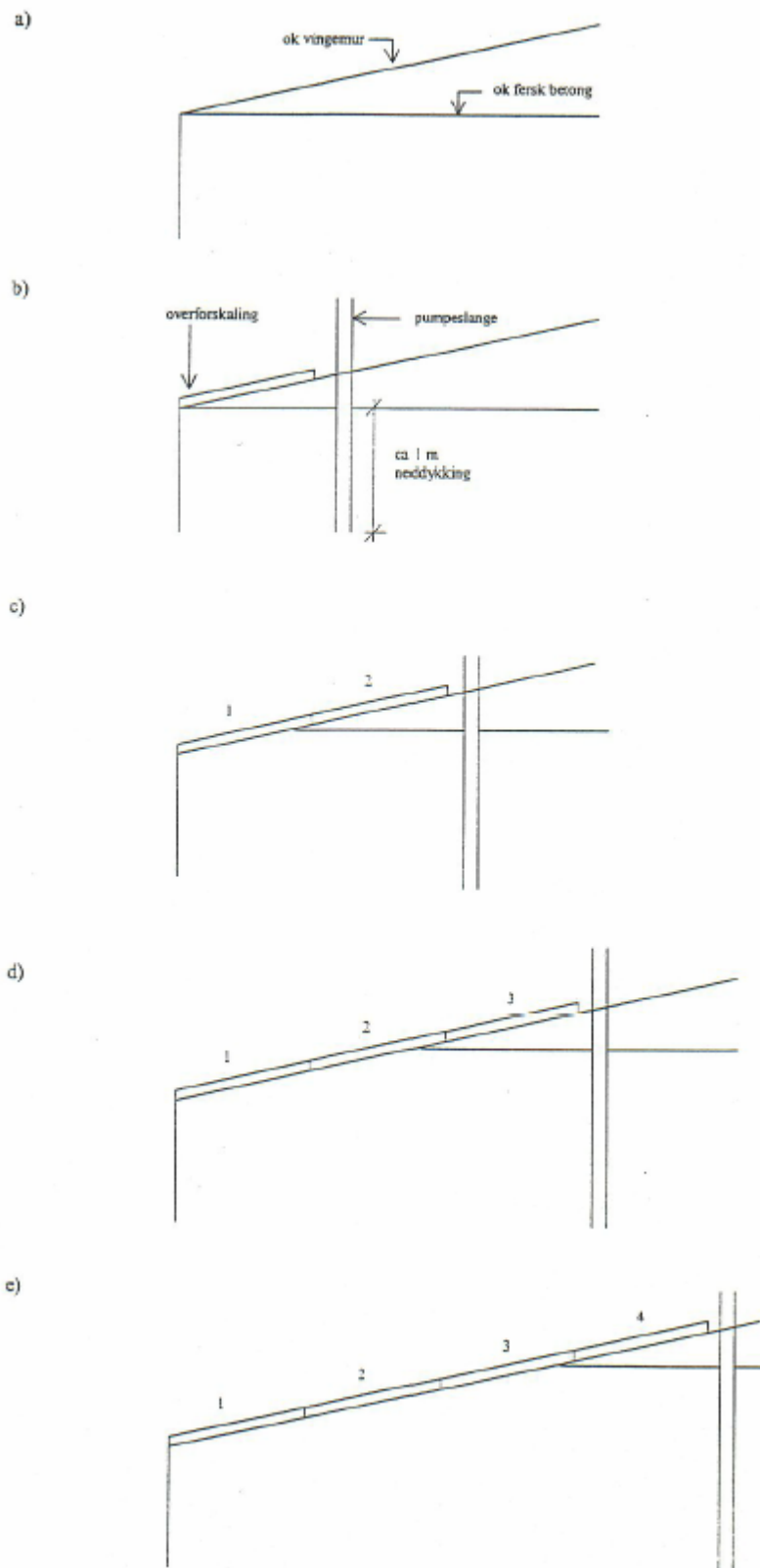


Fig. 29. Fremgangsmåte ved støp av vegg med skrå avslutning i overkant (vingemur) med SKB.

5. Herding

Generelt omfatter herdetiltakene å sørge for at

- betongen har tilstrekkelig temperatur og fuktighet til at materialets egenskaper utvikles,
- betongen ikke utsettes for skadelige påvirkninger.

For synlige betongoverflater inkluderer skadelige påvirkninger fukt på en slik måte at det resulterer i misfarging ved

- kalkutslag eller
- rustvann.

Valg av herdetiltak for synlige betongoverflater innebærer følgelig et dilemma, egentlig skulle man både beholde betongen fuktig og beskytte den mot vann.

5.1 Kalkutslag

Kalkutslag (også feilaktig kalt saltutslag) er et lyst, nesten hvitt belegg på betongoverflaten se figur 30 og 31. Kalkutslaget består av kalsiumkarbonat CaCO_3 , dannet av CaO fra betongen og CO_2 fra luften. Belegget er det samme som svært ofte sees på nesten nye teglsteinsmurer og som utfelling fra vannførende sprekker i betong.

Kalkutslag synes å dannes hyppigere på betong med høyt sementinnhold og stor tetthet enn på betong av lavere kvalitet.



Fig. 30. Da forskalingen for støpeavsnitt 1 og 3 fra venstre ble revet var det tørrvær, for avsnitt 2 og 4 regnvær.



Fig. 31. Kalkutslag som følge av regnvær kort tid etter avforming. Bemerk hvordan veggen oppunder kantbjelken har vært beskyttet.

5.1.1 Hvordan oppstår kalkutslag ?

Ved sementens reaksjon med vann dannes kalsiumsilikat hydrater (som gir betongen styrke) og kalsiumhydroksyd Ca(OH)_2 , dvs. CaO oppløst i vann. CaO er meget lettøselig i vann, og Ca(OH)_2 er en vesentlig bestanddel i betongens porevann. Konsentrasjonen av Ca(OH)_2 vil også være høy i vannet på overflaten av betongen, når den herdes fuktig.

Når vann fordampes fra betongens overflate, øker konsentrasjonen av Ca(OH)_2 i det gjenværende vannet. Ca(OH)_2 reagerer kjemisk med CO_2 fra luften, og danner det tungtløselige CaCO_3 . Når fuktfronten ligger nær inntil, men på utsiden av betongoverflaten, avleires CaCO_3 på betongoverflaten. Om fuktfronten ligger innenfor betongoverflaten (dvs. betongen er overflatetørr), vil CaCO_3 avleires i betongens poresystem. Det er denne prosessen (inntrengning av CO_2 inn til der Ca(OH)_2 fins oppløst i porevann, kjemisk

reaksjon mellom CO_2 og Ca(OH)_2) som kalles karbonatisering. Karbonatisering av ytterhuden på betongen beskytter mot videre transport av Ca(OH)_2 ut til betongoverflaten. Kalkutslag oppstår på ung, nylig avforsalet betong som ennå har høy vannmetningsgrad og relativt åpent poresystem. På mer ”modne” betongkonstruksjoner oppstår kalkutfelling kun dersom det foregår en vanntransport gjennom betongen.

Vilkårene som skal til for at det skal bli kalkutslag er altså at en samtidig har:

- ung betong uten en karbonatisert overflatehinne
- høy vannmetningsgrad i betongen
- fuktfronten akkurat i overflaten av betongen

5.1.2 Hvordan unngå kalkutslag

Om en skal unngå kalkutslag, må minst ett av vilkårene nevnt ovenfor ikke være oppfylt. I praksis kan en sikre seg mot kalkutslag på to måter:

1. Sørge for en tykk vannfilm og rennende vann så lenge en skal opprettholde fuktig herding, spyle av herdevannet og la betongen bli raskt overflatetørr når den fuktige herdingen avsluttes.
2. Beskytte betongoverflaten mot fukt fra det øyeblikket den avforsalet og inntil overflatehuden er karbonatisert. (En tidels eller noen hundredels millimeter karbonatiseringsdybde er tilstrekkelig.) Til å beskytte mot fukt brukes en presenning som må ligge løst over, ikke direkte inntil betongen. Vanligvis holder det at presenningen ligger i 3 – 4 døgn, men hvis den holdes på plass i en uke, er en sikker.

5.1.3 Hvordan fjerne kalkutslag

Rådet, som er å finne i eldre litteratur, er å:

1. Først vanne konstruksjonen slik at betongen blir vannmettet.
2. Påføre betongoverflaten saltsyre med konsentrasjon 5 – 10 %.
3. La saltsyren ”arbeide” og løse opp kalken, deretter spyle av saltsyre og kalk.

Hensikten med å vanne først er å hindre saltsyren (HCl) i å bli sugd inn i betongen og gjøre skade der. Erfaring har vist at det ikke er så enkelt å fjerne kalkutslag på betong. Muligens er det tålmodighet, som skal til for at saltsyren skal få virke, som mangler.

I de seinere årene har sandblåsing eller sandvasking (høytrykkspyling med sandtilsetning) vært de metodene som har vært anvendt for å fjerne kalkutfelling. Metodene er effektive, men de sliter på, eventuelt fjerner, betongens overflatehud.

5.2 Rustvann

Konstruksjonsdeler som har utstikkende skjøtejern på toppen og blir stående en tid, får ofte misfarging av rustvann som renner nedover. Rustmerker oppstår også fra spiker for feste av armeringsstoler etc. dersom spikrene ikke er av rustfritt eller syrefast stål.

Rustmerkene er vanskelige å fjerne. I praksis må også disse fjernes ved sandblåsing eller sandvasking. Hvis støvingen ved sandblåsing kan tolereres, er denne metoden å foretrekke fordi en ikke risikerer å misfarge hele konstruksjonsdelen med rustvann.

Konstruksjonsdeler med utstikkende skjøtarmering på toppen må beskyttes mot nedbør inntil skjøtejernene er innstøpt. Det må også påses at jern- og ståldeler ikke støttes mot konstruksjonsdelen så lenge fuktighet kan komme til.

5.3 Slag og støt

I byggeperioden kan konstruksjonsdeler være utsatt for slag og støt som gir overflate- og kantskader. For spesielt utsatte deler bør det monteres beskyttelse, se figur 32.



Fig. 32. Hjørnebeskyttelse med bord montert på ferdige søyler i byggetida.

5.4 Bruk av membranherdner

Membranherdner har vært benyttet i relativt stort omfang for å beskytte konstruksjonsdeler mot tidlig uttørking. Av membranherdnere fins det flere typer, både med voks og akryl som membranmateriale, og med organiske løsemidler eller vann som løsemiddel.

Membranherdnere fordamper og forsvinner fra betongoverflaten over tid. Allerede 24 timer etter påføring vil vanligvis så mye være fordampet at membranen er brutt. Ved påføring av membranherdner brukes som regel sprøyte, og mengden membranherdner vil variere over overflaten. Noen steder vil det være et tykt lag membranherdner, som tar lang tid (flere år) før den forsvinner helt. I mellomtiden er derfor overflaten meget skjoldete, og den vil forbli skjoldete over meget lang tid fordi betongen har fått forskjellig herdeforløp.

Betongoverflater som har blitt påført membranherdner og siden utsatt for regn eller vanning, har blitt usedvanlig skjoldete. I enkelte tilfeller (f.eks. Makrellbekken T-banestasjon, Oslo) har en måttet sandvaske av overflatehuden for å få et akseptabelt utseende.

De fleste betongoverflater som skal stå synlige og være pene må behandles med anti-grafitti behandling. Denne kan ikke påføres oppå membran huden, dvs. eventuell membranherdner må fjernes først med sandblåsing, sandvasking eller tilsvarende metode.

En kan konkludere at membranherdner er en dårlig herdemetode for forskalte overflater generelt. For synlige overflater spesielt er det en uheldig metode fordi den lager skjolder som vil prege synsinntrykket i lang tid, og membranherdneren må fjernes før anti-grafitti behandling.

5.5 Reparasjon av sår og støpefeil

For synlige betongoverflater bør det vurderes nøye hva som egentlig er nødvendig og hva som vil tjene resultatet best:

- å la støpefeil bli stående ubehandlet. (Dette må i tilfelle gjelde uregelmessigheter som er i overgangen til sår.)
- å reparere feilen ved utmeisling og mørtling,
- å rive hele støpeavsnittet og utføre det hele på nytt.

Alt for ofte blir reparasjonene mer skjemmende enn de opprinnelige feilene, se for eksempel figur 33 hvor alle porer over 15 mm er sparklet.

Blank overflate fremkommet ved støp mot glatt finér- eller stålhud er nærmest umulig å reparere uten at reparasjonen blir synlig. Matt overflate fra uhøvlede bord kan derimot repareres slik at utbedringen knapt synes. Etter ilegging av reparasjonsmørtelen legges bordbiter mot den bløte mørtelen, og bordmønsteret bankes inn i mørteloverflaten ved å slå på bordene med hammer.

Med hensyn til farge på mørtelen må en prøve seg fram (lage seg et fargekart) ved å blande ulike mengder svart pigment i en lysere reparasjonsmørtel. Alternativt kan en sikte ut mørtel fra den samme typen betong som har vært brukt. Selv med en slik fremgangsmåte kan det bli noe fargeavvik, men ved bare å bruke en standard reparasjonsmørtel blir det garantert større avvik.

Det er en generell erfaring at fargevariasjoner avtar med årene, og at værpåkjeningen etter hvert setter større preg på overflatenes utseende enn de opprinnelige fargevariasjonene. Utjevning av farge kan imidlertid ta så lang tid at en ikke må satse på denne effekten under utførelsen av konstruksjonen.



Fig. 33. Alle porer over 15 mm sparklet, uten at det er blitt særlig vakrere.

Herding

Betongoverflater som er synlige og skal være pene må ikke utsettes for regn, vanning eller annen fuktighet den første uka etter avforming, men skjermes mot slik påkjønning med løstliggende presenning. Videre må konstruksjonsdeler med utstikkende skjøtarmering på toppen skjermes mot regn etc. som kan gi renning av rustvann fram til skjøtejernene er innstøpt. Membranherdner bør ikke brukes på synlige overflater som normalt skal gis anti-grafittbehandling eller annen type overflatebehandling.

Hvis fuktig herding av betongen skal gjennomføres, bør dette starte først etter at konstruksjonen er holdt tørr i en uke.

6. Konklusjoner

Hva som er pent og hva som er stygt beror på øynene som ser, på smak og behag. Hvorvidt et byggverk oppfattes som pent, avhenger i stor grad også av omgivelsene og hvordan byggverket ”glir inn i omgivelsene”. Oppfatningen av byggverket og av betongoverflatenes utseende avhenger også av avstanden en ser byggverket eller overflaten fra.

Det må dessverre innrømmes at norsk betongbransje har vært lite flinke til å framstille betongoverflater som ser pene ut på nært hold. Med ”pent” menes flater som har jevn farge (ikke skjolder) og er tilnærmet porefrie. Slike overflater er produsert i stort omfang, men det har vært tilfeldig om de er havnet der de ville blitt synlige, og det var ønske om slike flater. Det har vært hevdet at porer og fargevariasjon er en del av betongens naturlige egenskaper, noe som hører betongoverflater til. Til en viss grad er dette riktig, men utsagnet har også vært brukt som unnskyldning for at en ikke har fått til det som var tilstrebet. Utsagnet ”det spennende med betong er at en ikke vet hva en får før forskalingen er revet” er ikke noen ros av betongmaterialet eller betongbransjen.

Produksjon av pene, porefrie og skjoldfrie betongoverflater krever kunnskap, ferdigheter, tid til å gjøre det en må, og ikke minst disiplin. Det er forferdelig mange små tuer som kan velte lasset, og en kommer ikke til målet ved å unngå bare de fleste små tuene.

De momentene som oftest har vært ansvarlig for at en har mislykkes med å produsere pene betongoverflater er:

1. Utstøpingen, at en ikke legger ut betongen i noenlunde jevntykke lag og følgelig får varierende og manglende vibrering, spesielt i lagskjøter. (Med SKB har en nå mulighet for enklere utstøping, men også SKB har sine ”regler”.)
2. Forskalingsoljen påført for tykt og for ujevnt. Forskalingsoljen må enten få tid til å fordampe før støp, eller den må påføres tynt og jevnt.
3. Støpeskjøtene blir stygge fordi forskalingen presses ut fra det første støpeavsnittet, noe som igjen skyldes mangel på forskalingsstag eller for dårlig tiltrukne stag nær inntil støpeskjøtene.
4. Utettheter i forskalingen hvor vann og mørtel lekker ut, støpetrykket blir redusert. Spesielt utsatte steder er hjørner, kjøter i forskalingsshuden og staghull.
5. Ulik temperatur i ulike deler av støpeavsnittet under størkning/herding. Spesielt avkjøling til nær frysepunktet resulterer i masse porer.
6. Tykt og ujevnt med membranherdner påført etter forskalingsriv.
7. Kalkutfelling i varierende grad avhengig av hvordan støpeavsnittet har blitt eksponert for fuktighet den aller første tiden etter at forskalingen er fjernet.

Valg av overflatetype (type forskalingshud) og konstruksjonsutforming bestemmer i stor grad vanskelighetsgraden av oppgaven å produsere pene betongoverflater. Så vel arkitekter som entreprenører vil ha utbytte av å samarbeide om utformingsdetaljer, forutsatt at de begge har de nødvendige kunnskapene innenfor sitt ansvarsområde.