Udstøbning

Højkvalitetsbeton
Entreprenørens teknologi – Anvisning

Rapport nr. 108
1997

Vejdirektoratet

IRRD Information

Title in Danish	Højkvalitetsbeton, Entreprenørens Teknologi. Udstøbning, Anvisning.
Title in English	High Performance Concrete - The Contractors Technology. Concreting, Recommendation.
Authors	Ole Viggo Andersen, Marlene Haugaard, Erik Stoklund Larsen, Find Meyer, Christian Munch-Petersen og Carsten Munch Plum
Subject classification	Field 32: Concrete 32
Key words	Concrete 4755 High Strength 5537 Cast in situ concrete 4781 Contractor 0127 Design 9011 Dictionary 8596 Specification (standard) 0138 Research Project 8557 Denmark 8028
Abstract	This report forms a part of the Danish Road Directorate's research programme called High Performance Concrete - The Contractor's Technology (abbreviated to HETEK). The report gives recommendations for execution of typical complicated structural details.
Front page photo	The front page photo shows the pylons of the Faroe Bridge between Faroe and Falster, Denmark. The pylons are cast against inclined formwork.

INDHOLDSFORTEGNELSE

0. FORORD **4**

1. INDLEDNING **5**
1.1 Formål 5

2. TYPISKE KRAV **6**

3. PLANLÆGNING **7**
3.1 Geometri 7
3.1.1 Skrå afgrænsninger 7
3.1.2 Afvandingsprofiler 11
3.1.3 Vægdimensioner 13
3.1.4 Støbeskel 15
3.1.5 Udsparinger 17
3.1.6 Recesser 20
3.1.7 Affasninger 22
3.1.8 Trapezformede riller og drypnæser 23
3.2 Indstøbte dele 24
3.2.1 Kantjern 24
3.2.2 Udsparingsrør 25
3.2.3 Kølerør 27
3.2.4 Fugebånd 29
3.3 Slap armering 30
3.3.1 Dæklag 30
3.3.2 Afstand mellem armeringsjern 31
3.3.3 Stød og forankring 33
3.4 Forspænding 34

4. DOKUMENTATION **35**

5. REFERENCER **36**

0. FORORD

Erhvervsministeriet ved Udviklingskontraktudvalget har medfinansieret det af Vejdirektoratet initierede betonteknologiske forskningsprojekt HETEK - Højkvalitetsbeton, Entreprenørens Teknologi. Højkvalitetbeton er i HETEK projektet defineret som en beton i en konstruktion placeret i aggressivt miljø med mindst 100 års levetid.

Projektet blev opdelt i 8 delopgaver, som hver for sig repræsenterede et selvstændigt emne med betydning for betonens kvalitet og levetid:

- Chloridindtrængning
- Prøvning af frostbestandighed
- Selvudtørring
- Hærdeteknologi
- Udstøbning og bearbejdning (komprimering)
- Efterbehandling
- Vejledning i forprøvning af beton
- Reparationer i udførelsesfasen

De 8 delopgaver er blevet løst af forskellige konsortier og firmaer, som er specialister indenfor hver deres delemne. Under jævnlige møder mellem alle opgaveløsere er løsningen af de enkelte delopgaver blevet koordineret og informationer udvekslet. Denne model for løsning af HETEK projektet har i høj grad medvirket til at forny og intensivere samarbejdet mellem universiteter, institutter, betonlaboratorier, rådgivere og entreprenører.

HETEK projektet er blevet gennemført i perioden november 1995 til marts 1997 med Vejdirektoratet som projektleder.

Resultatet af projektarbejdet er rapporteret i en samling rapporter, som er blevet udgivet af Vejdirektoratet. Essensen af rapporterne er endvidere blevet trykt i nogle kortfattede og præcise anvisninger, der ligeledes er blevet udgivet af Vejdirektoratet.

Nærværende anvisning er baseret på arbejdet udført i HETEK-delopgaven vedrørende udstøbning og bearbejdning (komprimering). For yderligere information om emnet henvises til referencelisten.

Vejdirektoratet, maj 1997.

1. INDLEDNING

En armeret betonkonstruktions forventede levetid opnås normalt kun under forudsætning af, at udførelsen er helt fejlfri.

Meget komplicerede konstruktionsdele med vanskelig geometri og/eller tætliggende armering gør udførelsen problematisk. Derved øges risikoen for at fejl opstår ved udstøbningen - også selv om udstøbningen udføres omhyggeligt efter veltilrettelagte metoder. De beskrevne udførelsesmetoder, som er tilpasset den komplicerede konstruktionsudformning, har primært til formål at undgå grove fejl. Udførelsesmetoderne kan således være anderledes end sædvanlig anvendte metoder og medfører ofte en kvalitetsreduktion af sådanne vanskelige detaljer.

For hver enkelt konstruktionsdetalje beskriver anvisningen de udførelsesvanskeligheder, som denne medfører. Ofte indeholder konstruktioner flere vanskelige detaljer i kombination f.eks. udsparinger, tætliggende armering og indstøbningsdele. De herved øgede vanskeligheder og risici for fejl må vurderes på grundlag af de samlede udførelsesmæssige vanskeligheder.

1.1 Formål

Anvisningens formål er at påpege detaljer ved konstruktionsudformning, som medfører forøget risiko for fejl ved udførelse af betonarbejdet, og som derfor skal have særlig opmærksomhed ved planlægning af udførelsen. Anvisningen giver, hvor det er muligt, forslag til alternative bedre løsninger.

Vel vidende, at disse løsninger ikke altid kan accepteres, giver anvisningen forslag til entreprenørmæssig bedst muligt udførelsesmetode.

Anvisningen kan også benyttes til vurdering af et bygværks sværhedsgrad ved tilbudsgivning og eventuelt som grundlag for udarbejdelse af fravigelsesbegæringer for særligt vanskelige detaljer.

Anvisningen er udarbejdet med tanke på in-situ støbte betonkonstruktioner, som udføres med højkvalitetsbeton i aggressive miljøer, men kan også med fordel benyttes til mere traditionelle konstruktioner.

2. TYPISKE KRAV

Det funktionelle krav til udstøbning er, at den friske beton udfylder formen helt, samt at armering, afstandsholdere og indstøbte dele omsluttes helt. Betonen skal vibreres således, at hovedparten af den indkapslede luft uddrives, og at betonen bliver ensartet, uden hulrum og uden separation af tilslag og pasta.

Af særlig betydning er dæklagets kvalitet, da det er dette, der beskytter armeringen mod korrosion.

Der må således ikke forekomme stenreder eller revner, som kan tilskrives mangelfuld udstøbning og vibrering.

Normalt må porer i overfladen efter luftindeslutninger kun forekomme i begrænset omfang.

Vejregler, udbuds- og anlægsforskrifter for betonbroer [6] anfører f.eks.:

- Porer over ø 10 mm og porer med dybde større end 5 mm i betonoverfladen repareres.
- Porer i størrelse ø 5-10 mm må maksimalt forekommer med 50 stk. pr. 10 m^2 væg og ikke udpræget i samlinger.

3. PLANLÆGNING

Planlægning af udstøbning sker bl.a. ved udarbejdelse af støbeprogrammer. Støbeprogrammet skal indeholde oplysninger om udførelsesmetode for vanskelige detaljer angående:

- Geometri
- Indstøbte dele
- Slap armering
- Forspænding
- Evt. andre specielle forhold afhængigt af det aktuelle projekt

Til støtte for planlægningen gives i det følgende eksempler på sådanne vanskelige detaljer. Det beskrives, hvad problemet er, og hvor det er muligt, gives forslag til afhjælpning i udførelsesfasen. I andre tilfælde må entreprenøren anmode om at få projektet ændret ved en fravigelsesbegæring.

Forundersøgelser kan gennemføres ved forprøvning på prøvelegemer, hvis udformning og armering afspejler de faktiske, vanskelige konstruktionsdetaljer. Der henvises til [1].

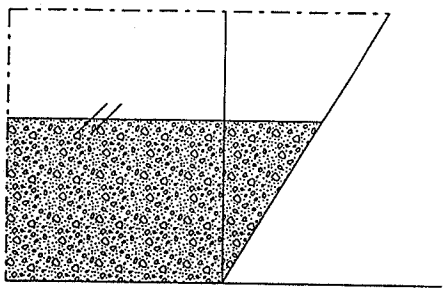
3.1 Geometri

Konstruktioner med lodrette og vandrette afgrænsninger giver udførelsesmæssigt de bedste resultater.

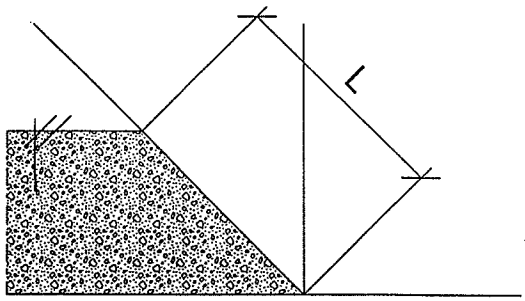
Alligevel vælges ofte en konstruktionsudformning med skrå afgrænsninger af hensyn til f.eks. afvanding, æstetik eller funktion.

3.1.1 Skrå afgrænsninger

Skrå afgræsninger kan have to principielt forskellige forløb som vist på Figur 1a og 1b.



Figur 1a. Skrå afgrænsning med stump vinkel. Lodret snit



Figur 1b. Skrå afgrænsning med spids vinkel. Lodret snit

Skrå afgrænsninger med stump vinkel - se Figur 1a - kan sædvanligvis udføres uden vanskeligheder.

Problem

Skrå afgrænsninger med spids vinkel - se Fig. 1b - skal normalt støbes mod overform. Effektiv vibrering under overformen er imidlertid vanskelig at udføre, særlig hvis støbesektionens udstrækning, L, er betragtelig.

Problemet er, at luftbobler og evt. overskudsvand ved bleeding under vibreringen stiger op langs overformen og her skal bevæge sig længere end ved en lodret form. Hensynet til et passende luftindhold i konstruktioner, som er udsat for frost, betyder, at vibreringsomfanget må begrænses.

Med normalt anvendt og anbefalet vibreringsomfang jf. [2] vil ikke alle luftansamlinger under overformen forsvinde. Resultatet bliver en overflade med porer som ofte er ½-1 cm dybe. Dette betyder igen en lokal reduktion af dæklaget. Vand og snavs som indeholder aggressive stoffer kan aflejres i de små huller og fremskynde nedbrydning.

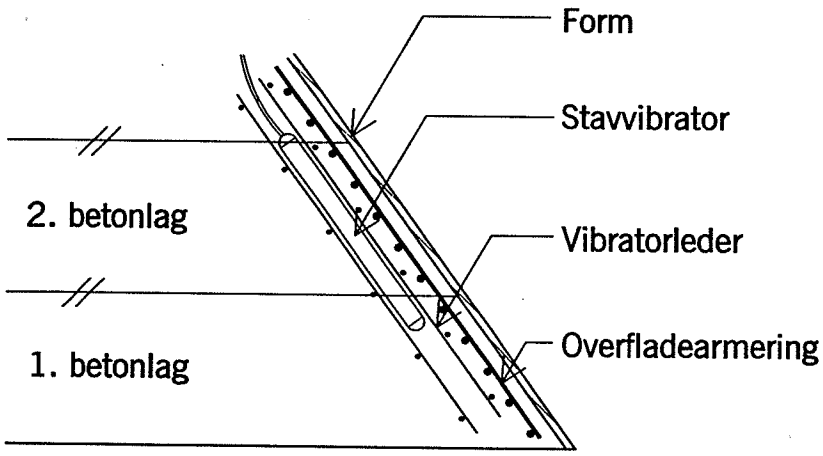
Omfanget af sådanne defekter er større, jo mere spids vinklen er jf. Figur 1b.

Afhjælpning

For at sikre bedst mulig vibrering af betonen under formen, kan der benyttes vibratorledere, som vist på Figur 2. Lederne kan f.eks. udføres af 5 langsgående rundjern ø8 påsvejst ringe med passende diameter.

Vibrering med stavvibrator i selve dæklaget er normalt ikke tilrådeligt.

Relativt tynde støbelag kan forbedre resultatet.



Figur 2. Vibrering af beton under skrå form

Selv med denne udførelsesmetode er det vanskeligt at overholde kravene til forekomst af porer i overfladen.

Det kan derfor overvejes at foreslå et forøget dæklag svarende til porernes dybde. Hvis bygherrens tilsyn kan acceptere luftporerne ved det øgede dæklag, er det en simpel og sikker løsning.

Problem

Når den skrå hældningsvinkel bliver meget spids (20 - 30°), kan betonen ikke længere støbes mod en ubrudt overform.
Det skyldes, at vibrering med stavvibrator - i disse tilfælde - ikke kan sikres effektivt end ikke med brug af vibratorledere.

Støbning uden brug af overform er heller ikke altid en acceptabel løsning. Vibrering fører til skred i betonen, og ved den efterfølgende afretning er der risiko for inhomogeniteter i overfladelaget. Figur 3 og 4 viser skred i en hældende betonoverflade efter vibrering. Først når hældningsvinklen er tilstrækkelig lille, kan støbning gennemføres uden brug af overform.

Udstøbning af hældende betonoverflader skal begynde i den laveste ende. Der støbes opad for at undgå skred af hele støbningen.

Størrelsen af denne hældningsvinkel afhænger af bl.a. betonens sætmål og armeringstætheden. Vejledende størrelser fremgår af Tabel I. Det konkrete projekt kan indeholde krav om brug af overform ved hældningsvikler, som er mindre.

Figur 3. Vibrering i hældende uarmeret betonplade. Hældningsvinklen er ca. 10° (175 ‰) og stavvibratorens diameter 65 mm

Figur 4. Skred i betonen som følge af vibrering. Udbredelsen er ca. 1 m i diameter. For armeret beton er udbredelsen mindre, men der kan opstå lunker og revner ved armeringen

Armeringstæthed (Armeringsmængde i kg/m³ beton)	Sætmål mm	Største anbefalede hældning uden brug af overform	
		Vinkel i °	Hældning i ‰
Kun armeret i underside	60-90	5	80
Mindre end 100. Fordelt i både over- og underside	60-90	5-9	80-150
100-150. Fordelt i både over- og underside samt bøjlearmering	60-120	9-12	150-210
Mere end 150. Fordelt i både over- og underside samt bøjlearmering	60-120	12-14	210-250

Tabel I. Største hældning uden brug af overform

For de hældningsvinkler, hvor udførelsen ikke kan ske uden brug af overform (Tabel I) og heller ikke mod en ubrudt form (20-30°), kan følgende fremgangsmåde benyttes.

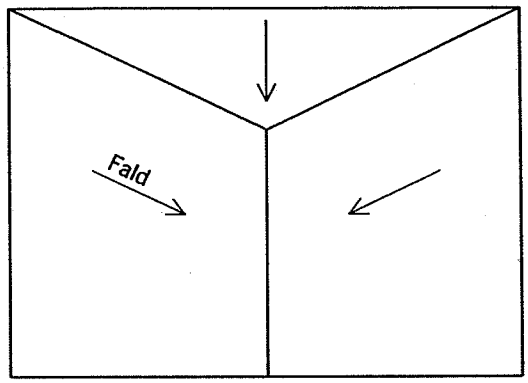
Overformen udføres i sektioner, hvis højde svarer til tykkelsen af et støbelag. Formsektionerne anbringes og fastgøres efterhånden som støbningen skrider frem. For at undgå porer i overfladen kan formen fjernes på et tidspunkt, hvor bearbejdning med pudsebræt endnu er mulig, og hvor betonen er tilstrækkelig kohæsiv til, at skred ikke forekommer. Bearbejdningen skal ske fra gangbro.

3.1.2 Afvandingsprofiler

Jo mere hældningen nærmer sig vandret, des mindre er risikoen for skred i betonen ved støbning uden overform.

Særlige forhold ved betonoverflader med komplekse profiler kan dog medføre vanskeligheder.

Sådanne komplekse profiler forekommer f.eks. ved afvandingsprofiler som vist Figur 5.



Figur 5. Betonoverflade med kompleks afvandingsprofil

Problem

Udførelsesmæssigt er det vanskeligt at overholde den foreskrevne geometri i Figur 5, også selv om der benyttes ledere og afretningsskinner. Vanskelighederne giver forøget risiko for inhomogeniteter specielt i overfladelaget. Hvis hovedarmeringen er anbragt i denne zone, forringes korrosionsbeskyttelsen.

For at undgå sætningsrevner, skal det øverste betonlag omkring og over armeringen først udstøbes, når den underliggende beton har sat sig. Vibrering af overfladelaget udføres med bjælkevibrator, som bevæges på stift understøttede ledere.
Hvis armeringsarrangementet er meget stift, kan bjælkevibratoren forsynes med "meder", som f.eks. kan være fladjern svejst på bjælkevibratorens underside. Medernes højde skal svare til dæklagets tykkelse. Når bjælkevibratorens meder har kontakt med armeringsjernene, bliver dæklagstykkelsen korrekt. Ved denne fremgangsmåde sættes oversidearmeringen i svingninger. Hvis betonen i overfladelaget er begyndt at afbinde, kan svingningerne føre til defekter. Derfor bør metoden kun benyttes, når udførelsen kan foretages inden begyndende afbinding er indtruffet for beton omkring svingende armering. Hvis det er muligt at anbringe ledere udenfor konstruktionen, undgås ovennævnte problemer. Der er udviklet stive afretningsbjælker netop til dette formål.

Hvis overfladen skal glittes anbefales dette udført manuelt ved at benytte vibratorbjælken som gangbro og arbejdsplatform.

Erfaringerne viser, at glitning med mekanisk glitteudstyr (helikopter) giver forøget risiko for inhomogeniteter og styrkemæssige svækkelser i dæklaget.

3.1.3 Vægdimensioner

Udstøbningsvanskeligheder i vægge kan skyldes enten lille vægtykkelse eller stor væghøjde.

Problem tynde vægge

Udstøbning af beton i tynde vægge med armering i begge sider eller enkeltarmering i midten kan være vanskelig og somme tider umulig. Støberør og/eller pumpeslanger skal kunne passere uhindret mellem armeringsnettene eller mellem armeringsnet og form. Hvis væggens top er affaset eller forstærket med kantjern, kan passagemulighederne være yderligere begrænsede.
Den indvendige diameter af pumpeslanger og støberør er sædvanligvis 125 eller 100 mm.

Fri afstand 150 mm

For at sikre fri passage af støberør og/eller pumpeslanger skal vægtykkelsen derfor være så stor, at den frie afstand mellem armeringsnettene er mindst 150 mm.

Afhjælpning fri afstand < 150 mm

Der findes pumpeslanger med diameter 75 mm. Brug af disse indebærer imidlertid forøget risiko for pumpestop særlig ved pumpning af beton med større (32 og 25 mm) sten. Flexible slanger (strømper) af stof, som f.eks. brandslanger, kan deformeres og derved passere gennem smallere åbninger. Den flexible slange monteres på pumpeslangen.

Ved udstøbning med flexibel slange er det vigtigt, at udmundingen hele tiden holdes over den allerede udstøbte beton i væggen. Dækkes udmundingen af beton, kan trykket i slangen blive så stort, at den sprænges.

Problem høje vægge

Støbning og komprimering af betonen i høje vægge er vanskelig. Ensartet tykkelse af støbelag og korrekt placering af stavvibratorer i disse kan være meget vanskelig på grund af dårligt udsyn.

Udsynet er generelt nedsat ved stor væghøjde og nedsættes yderligere ved lille vægtykkelse, skrå væg og/eller kompliceret armering.
Derudover viser erfaringen, at det kan være svært at opnå det for frostbestandighed krævede luftindhold i den nederste zone af høje vægge, fordi trykket i den flydende betonmasse er stort.

Afhjælpning

For at minimere risikoen for støbefejl og for ukonditionsmæssigt luftindhold i vægge kan følgende vejledende maximale støbehøjder (total væghøjde eller afstand mellem støbeskel) anføres:

H_{max} = 8 m	for vægtykkelse over 0,6 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring 1).
H_{max} = 6 m	for vægtykkelse over 0,6 m, skrå form og/eller uhensigtsmæssig armeringsføring 1).
H_{max} = 6 m	for vægtykkelse 0,4-0,6 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring.
H_{max} = 5 m	for vægtykkelse 0,3-0,4 m, lodret form og hensigtsmæssig armeringsføring.
H_{max} = 4 m	for vægtykkelse under 0,6 m, skrå form og/eller uhensigtsmæssig armeringsføring.

Note 1) Ved hensigtsmæssig armeringsføring forstås i denne forbindelse armering, som tillader udsyn såvel mellem armeringsnettene som i dæklaget i begge sider.
Uhensigtsmæssig armeringsføring er f.eks. tætliggende bøjler og/eller vandrette stødjern i væggens top. Det kan også være udsparingsrør for spændarmering.

Udførelse

Sikring af støbelag med ensartet tykkelse er vanskelig ved høje vægge. Den tilstræbte lagtykkelse fastlægges på grundlag af [1] og [2]. Afstanden mellem nedstik af pumpeslange skal nøje fastlægges på grundlag af betonens sætmål. Nedstiksafstanden bør ikke være større end 2 m. Den tid, der pumpes ved hvert nedstik, afpasses således, at betonlaget får den tilstræbte tykkelse.
Hvis støbelagenes tykkelse ikke er under kontrol, og udsynet er dårligt, er det umuligt at sikre korrekt nedstik med stavvibrator.

"Vinduer"

Dårligt udsyn kan i nogen grad afhjælpes ved at arrangere "vinduer" i formen (Figur 6).

Figur 6. Form med åbninger "vinduer" for vibrering

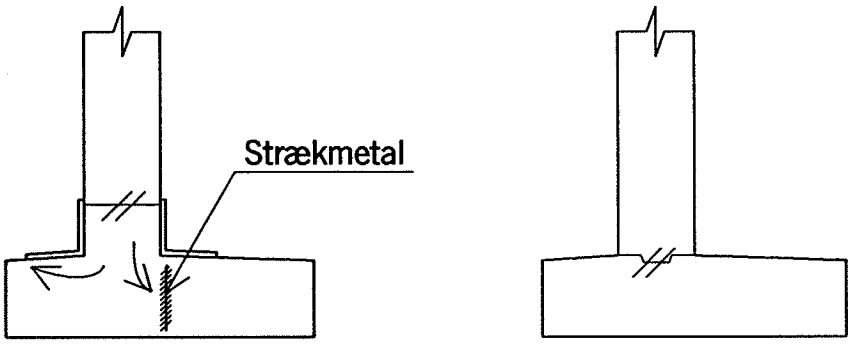
3.1.4 Støbeskel

Støbeskelsplacering kan have stor indflydelse på betonarbejdets udførelse.

Som omtalt i afsnit 3.1.3 bør f.eks. vægstøbninger ikke blive for høje, da det medfører forøget risiko for støbefejl på grund af dårligt udsyn. Meget høje vægge kan derfor - ved støbeskel - opdeles i sektioner med passende højde. Hvis denne opdeling er anderledes end forudsat i projektet, kræver det accept fra bygherrens tilsyn.

Andre forhold gør sig gældende ved overgang mellem to forskellige tværsnitsformer. Overgang væg/fundament er behandlet i eksempel 1.

Eksempel 1. Tværsnit væg/fundament



Støbeskel placeret i væggen over fundament

Støbeskel placeret i fundamentets top

Ofte placeres støbeskel mellem fundament og væg et stykke oppe i væggen, som vist på venstre figur. Der kan være holdbarhedsmæssige grunde hertil.

Ved støbning af vægdelen under støbeskellet er der, på grund af betonens tryk, risiko for bevægelser i oversiden af fundamentsbetonen. Disse bevægelser kan medføre inhomogeniteter.
Des højere over fundamentet støbeskellet er anbragt, jo større er risikoen.

Problemet kan afhjælpes ved at placere støbeskellet i fundamentets top, som vist på højre figur. Det kræver accept fra bygherrens tilsyn. Hvis der skal anbringes fugebånd, er denne løsning ikke mulig på grund af armering i fundamentets overside.

De nævnte bevægelser kan hindres ved at anbringe overform (skørt) på fundamentet, som vist. Dette indebærer på den anden side, at overfladen bliver ujævn efter opstigende luftbobler, som omtalt afsnit 3.1.1. En anden mulighed er at anbringe strækmetal i fundamentet. Strækmetal er imidlertid flexibelt og ikke særlig stift og bør derfor kun benyttes, hvis trykket fra beton og vibrering ikke er for stort (støbeskellets højde over fundamentet bør vejledende ikke overstige 0,5 m). Strækmetal kan virke revneanvisende, derfor anbefales brug af skørt.

3.1.5 Udsparinger

Udsparinger er generelt til gene for udstøbningsprocesserne. I værste fald kan generne blive så store, at der er reel risiko for fejl. De forhold som har størst betydning er:

- Udsparingernes geometri
- Udsparingernes placering
- Armering
- Fugebånd

I det følgende belyses forholdene.

Problem Udsparing, geometri

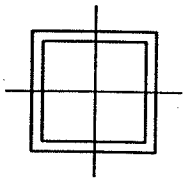
Det primære problem ved udførelse af udsparinger er at sikre korrekt udstøbning under udsparingen. Desuden vil den nederste flade, som er overforskallet, være særligt udsat for forekomst af porer efter opstigende luftbobler. Vanskelighederne øges yderligere ved kompleks armering.

De beskrevne problemer er størst for udsparinger med stor horisontal udstrækning.

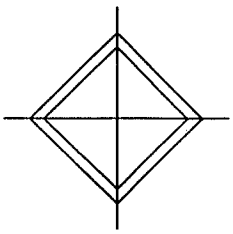
For relativt tykke vægge og bjælker er cirkulære, ovale og rhombeformede udsparinger bedre end kvadratiske og rektangulære, fordi opstigende luftbobler har større mulighed for at undslippe. Armeringsarrangementet er imidlertid mere komplekst for de første nævnte former, da armeringsjernene sædvanligvis ikke kan indpasses i hovednettenes planer. Derved kan der blive indtil 4 lag armering i hver side af væggen lokalt omkring udsparingen. Cirkulære, ovale og rhombeformede udsparinger er derfor kun fordelagtige for relativt tykke vægge og bjælker.

Afhjælpning

Ofte udføres udsparinger til cirkulære rør kvadratiske. Når røret senere er anbragt, efterstøbes hulrummet. Hvis væggen er tilstrækkelig tyk (armeringshensyn), kan udsparingen med fordel vendes 45°, som vist Figur 10b. Denne udformning letter også den efterfølgende tilstøbning omkring røret. Ændring skal accepteres af bygherrens tilsyn.



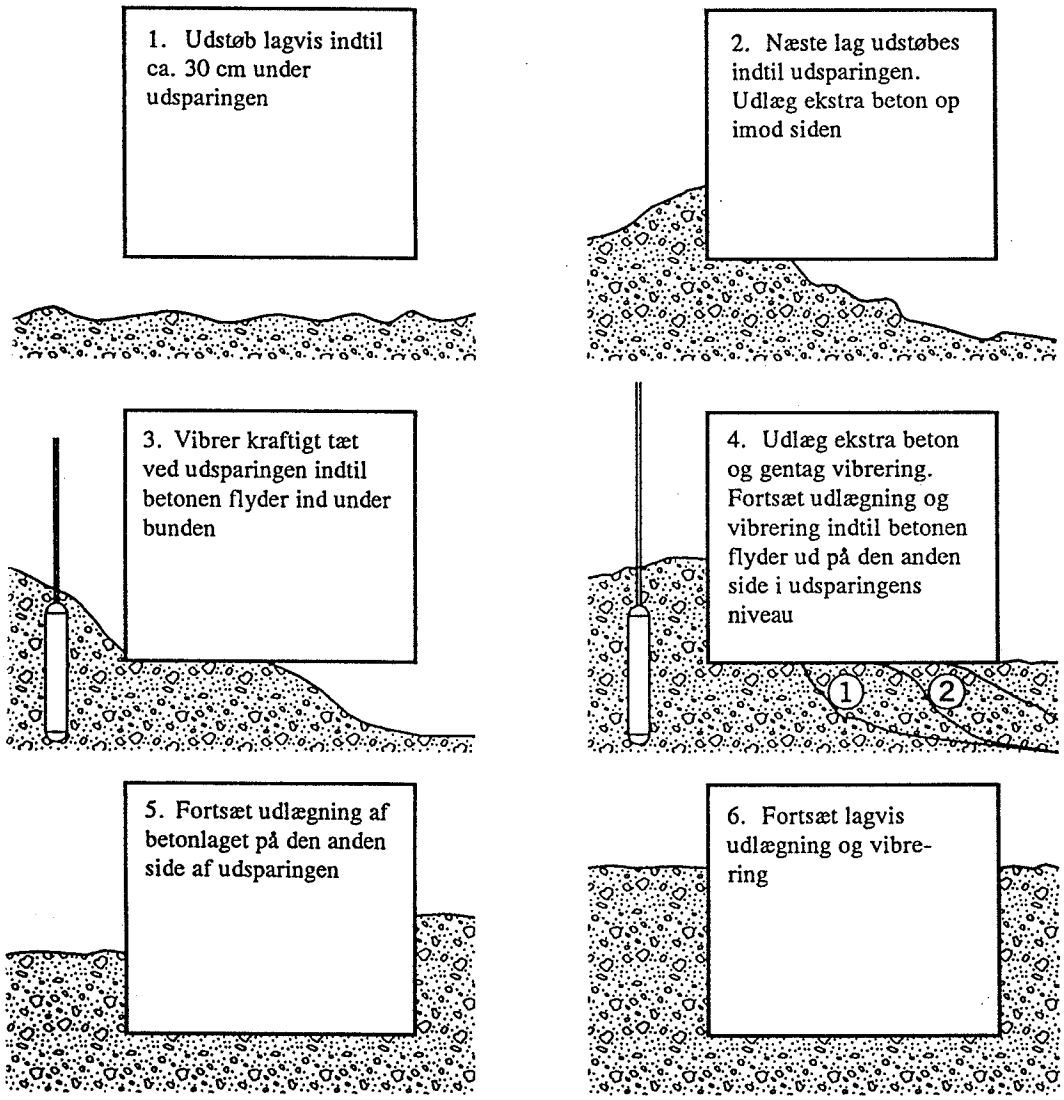
Figur 7a. Kvadratisk udsparing, traditionel placering



Figur 7b. Kvadratisk udsparing drejet 45°. Fordelagtigt ved relativt tykke vægge

Udførelse

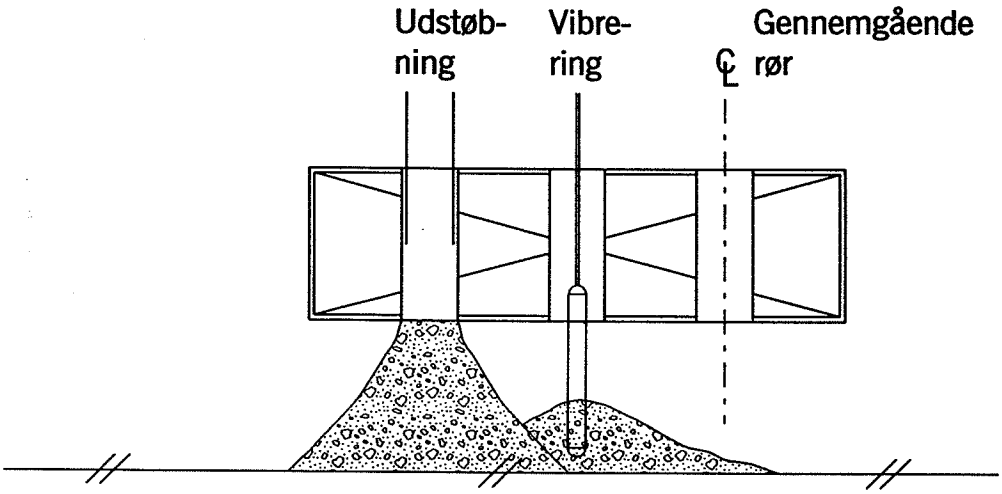
Udstøbning under udsparinger udføres bedst som vist på Figur 8. For at mindske omfanget af porer i den nederste flade i rektangulære udsparinger kan man, hvis formopbygningen tillader det, vente med at placere udsparingens bund, indtil støbningen er nået op i dette niveau og er afrettet.



Figur 8. Udstøbning af beton under udsparing

Udstøbning, store udsparinger

Har udsparingen stor horisonal udstrækning (længde over 1 m) kan udstøbning udføres gennem rør, der føres gennem udsparingen, som vist på Figur 9. Afstanden mellem rørene er afhængig af betonens konsistens, men bør normalt ikke være over 1,0 m.



Figur 9. Udstøbning og vibrering af beton under udsparing med stor horisontal udstrækning

Udsparing placering

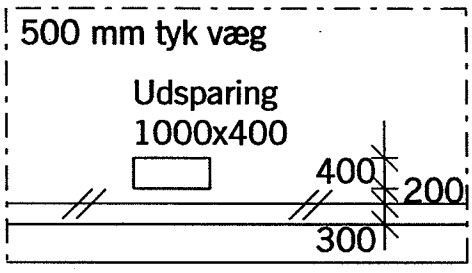
De tidligere beskrevne vanskeligheder øges væsentligt, hvis afstanden fra udsparingens underside til det underliggende støbeskel er lille.

For at sikre rimelige udførelsesforhold må afstanden fra udsparingens underside til det underliggende støbeskel ikke være mindre end halvdelen af udsparingens længde.
I Eksempel 2 behandles disse forhold.

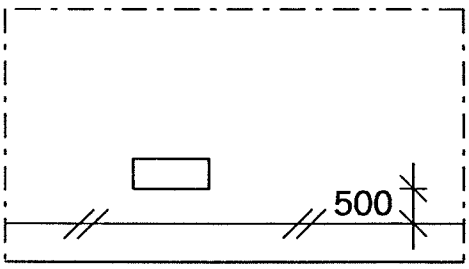
Udsparing Armering og fugebånd

Sædvanligvis ilægges supplerende armering langs udsparingens kanter. Hvis udsparingen efter tilstøbning bliver udsat for vandtryk, kan også indstøbning af fugebånd i udsparingens midte være krævet.
I nogle tilfælde, hvor en senere tilstøbning skal foretages, kan det være forlangt, at udsparingen forsynes med stødjern.
Alle disse forhold kan enkeltvis eller i kombination umuliggøre udstøbningsmetoden gennem rør, som vist på Figur 9. Kun ved meget tykke vægge kan det måske lade sig gøre.

Eksempel 2.
Figuren til venstre viser en uhensigtsmæssig placering både af støbeskel (se afsnit 3.1.4) og af udsparing. Den 1,0 m lange udsparing er anbragt 0,2 m over støbeskel, hvilket er mindre end halvdelen af udsparingens længde.
Ved at flytte støbeskellet til oversiden af fundamentet som vist på figuren til højre, opnås netop den tilrådelige afstand (0,5 m) mellem støbeskel og udsparing. Samtidig opnås den gunstigste støbesskelsplacering.
Alternativt kan højden af udsparingen forøges med 200 mm. Herved går udsparingen helt ned til støbeskel, og der skal derfor slet ikke udstøbes under udsparingen. Eventuelle ændringer skal accepteres af bygherrens tilsyn.



1 m lang udsparing anbragt 200 mm over støbeskel



Samme udsparing anbragt 0,5 m over støbeskel

Afhjælpning Armering og fugebånd

Armering og fugebånd omkring lange udsparinger (over 1 m), skal ilægges således, at der er mulighed for at føre støberør gennem udsparingen, som det er vist på Figur 9. Hvis dette kræver ændringer i forhold til projektet, skal disse accepteres af bygherrens tilsyn.

Hvis udførelsesmetoden med støbning gennem rør ikke er mulig p.g.a. armering m.v., er en anden mulighed at skære hul i selve vægformene. Herved bliver der adgang til udsparingskassen og beton kan muligvis udstøbes gennem midlertidige åbninger i udsparingskassens bund.

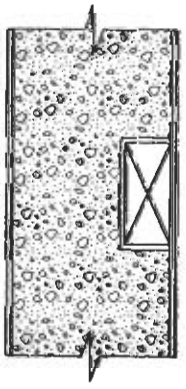
3.1.6 Recesser

Gener ved udstøbning og komprimering af beton under recesser er af samme art som ved udsparinger. Jo dybere recessen er, jo større er ligheden.

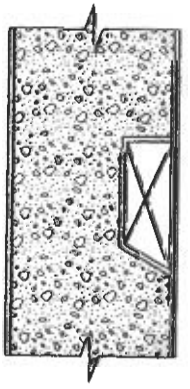
Problem

Det generelle problem er, at opstigende luftbobler samler sig under den nederste, vandrette recessform. Efter afforskalling fremstår denne betonflade ofte med porer efter luftansamlingerne (Figur 10).

Figur 10. Recess med porer efter luftansamlinger



Figur 11a. Recess med vandret underside



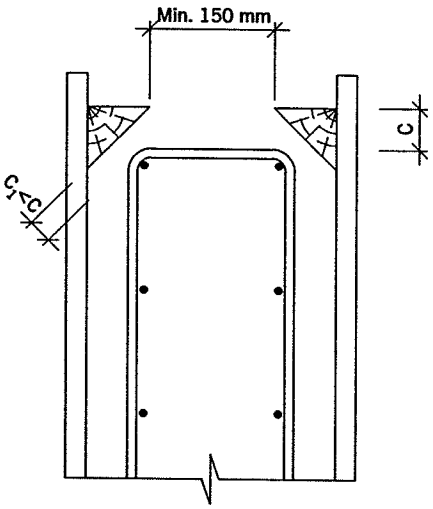
Figur 11b. Recess med skrå underside

Omfanget af huller i den nederste, vandrette flade kan reduceres, hvis den udføres med skrå underside, som vist på Figur 11b. Den bedste løsning er imidlertid at forøge dæklaget og acceptere porerne. Begge løsninger kræver accept fra bygherrens tilsyn.

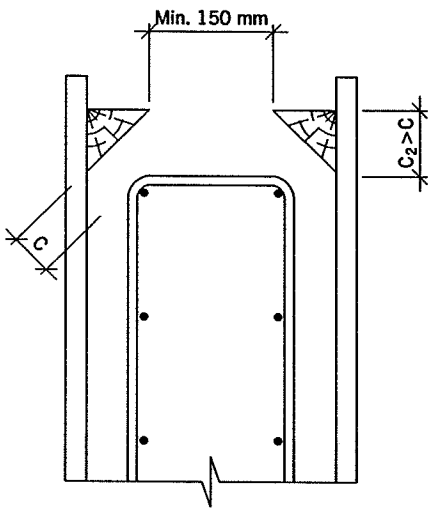
3.1.7 Affasninger

Affasninger udføres med trekantlister, som fastgøres til formen. Affasninger reducerer tværsnittet lokalt og kan derved volde problemer. Udførelsesmæssigt er problemerne primært knyttet til affasninger i toppen af vægge og høje bjælker. Problemernes art belyses i det følgende.

Væggen Figur 12a skal forsynes med trekantlister af relativt stor dimension. Væggen er relativt tynd. Trekantlisterne reducerer den frie åbning, hvorigennem støbning skal foretages. Bliver denne for lille, kan traditionel støbning med pumpe ikke gennemføres.
Ilægges armeringen således, at den overholder dæklaget, c, til den vandrette overflade, så kan dæklaget mod affasningen, c_1, ved små bukkeradier blive mindre end c, og det må det ikke.



Figur 12a. Væg med affasning. Reduceret dæklag mod affasning



Figur 12b. Væg med affasning Forøget dæklag mod væggens top

For at sikre dæklagets størrelse, c, ved affasningen, kan armeringen udføres som vist på Figur 14b. Herved forøges ganske vist dæklaget for den vandrette armering i væggens top.

Hvis den frie afstand mellem affasningerne er mindre end 150 mm, kan der muligvis benyttes 3 tommer pumpeslange eller der kan benyttes flexible slanger (strømper) af stof, se afsnit 3.1.3.

3.1.8 Trapezformede riller og drypnæser

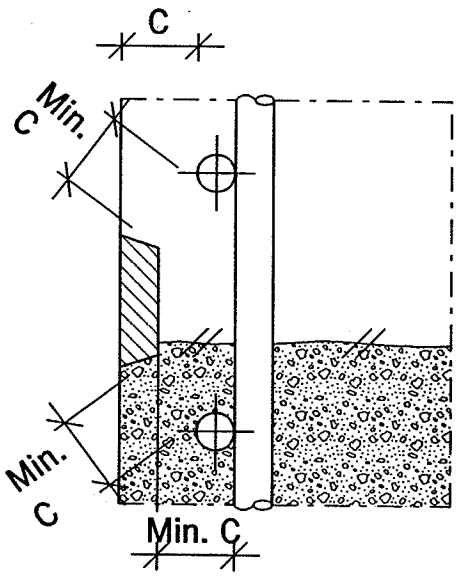
Støbeskel forsynes somme tider med trapezformede riller, som vist på Figur 13. Sådanne riller og drypnæser fremkommer ved at fastgøre profillister i formen.

Problem

Spinkle profillister har tendens til at vride og slå sig. Når stivheden er lille, viser erfaringen, at risikoen for deformationer er stor, og det gælder også selv om sømafstanden er lille. Resultatet kan blive riller i betonfladen med forkert geometri og afrevne kanter.

Afhjælpning

Forholdet kan afhjælpes ved at gøre riller og drypnæser tilstrækkeligt dybe og brede. Dybden og bredden bør ikke være mindre end 20 mm. Profillister med denne tykkelse har en tilstrækkelig stivhed.



Figur 13. Udformning af trapezformet rille og armering omkring denne

For at sikre overholdelse af dæklaget, c, må følgende betingelser være opfyldt:

- Den yderste armering skal være parallel med rillen.
- Afstanden fra rillen til nærmeste armeringsstænger skal være større end dæklaget, c.

Hvis disse forudsætninger ikke kan opfyldes for projektet, kan dæklaget generelt øges. De nærmere forhold ved en sådan ændring skal aftales med og accepteres af bygherrens tilsyn.

3.2 Indstøbte dele

Indstøbning af forskellige dele i betonen er generelt til gene for udstøbning og komprimering.

Jo større, jo flere og jo mere komplekse delene er, jo større er risikoen for at omstøbningen ikke bliver effektiv.

Generelt er indstøbningsdele med vandrette flader potentielt udsatte for luftansamlinger med nedsat adhæsion til følge. Skrå og konkave flader reducerer risikoen.

Derudover gælder:

Komponenter, der ikke rager udenfor den betonflade, som de skal indstøbes i, giver de bedste betingelser for god omstøbning.

Hvis geometri eller virkemåde ikke tillader total indstøbning, er det - set fra et udførelsesmæssigt synspunkt - bedre at udføre en recess eller udsparing og foretage indstøbningen efter afforskalling. En sådan ændring skal aftales med bygherrens tilsyn.

I det følgende belyses problemerne for nogle ofte forekommende indstøbningsdele.

3.2.1 Kantjern

Kanterne på konstruktioner som udsættes for stød og slag forstærkes ofte med kantjern.

Problem

Brede kantjern i oversiden af vægge og bjælker kan reducere den frie åbning, hvorigennem støbning skal foretages. Forholdet er identisk med problemerne ved affasninger (se afsnit 3.1.7).

Afhjælpning

For at støbning med pumpe kan gennemføres skal udformningen være sådan, at den frie afstand mellem kantjern i oversiden af bjælker og vægge er mindst 150 mm. Er det ikke tilfældet, er udførel-

sesmetoderne identiske med de for affasninger anførte (se afsnit 3.1.7).

3.2.2 Udsparingsrør

I nogle konstruktioner benyttes udsparingsrør for at reducere egenvægten. Udsparingsrør er til gene for udstøbning og vibrering og kan føre til alvorlige fejl. Figur 14 viser støbning af et dæk med udsparingsrør.

Figur 14. Støbning af forspændt dæk med korrugerede udsparingsrør

Problem

Ved udstøbningen er der risiko for, at betonens tryk kan deformere for svage udsparingsrør og opdriften kan føre til, at rørene forskubbes.

Særlig rørenes koniske ender kan være svære at fastholde ved støbningen. Disse deformationer medfører risiko for, at længdefaldet i rørene ikke kan opretholdes - med vandansamlinger og ledsaget nedbrydning til følge.

Derudover er det vanskeligt at sikre effektiv støbning under rørene.

Udførelse

For at sikre bedst mulig udførelse, skal følgende forhold tilgodeses:

- rørenes styrke og stivhed skal være tilstrækkelig stor.
- fastgørelse af rørene til underlaget skal være udbredt over et tilstrækkeligt stort areal for at sikre modhold mod opdrift.
- fastgørelse af rørenes koniske ender kræver særlig omhyggelig fastgørelse til underlaget

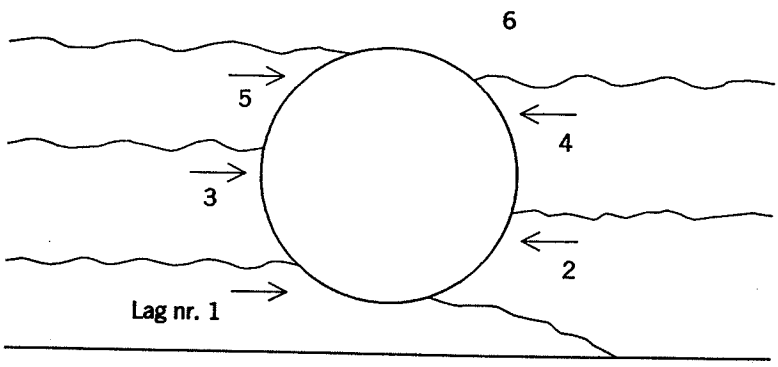
Når fastgørelsen er tilstrækkeligt sikret, kan udstøbningen begynde. Ved udstøbningen er det vigtigt at sikre fuldstændig betonudfyldning under rørene. Dette opnås bedst, når der arbejdes systematisk fra tværsnittets ene side mod den anden - sådan at understøbning er fuldført på sparerørets ene side, inden der tilføres beton fra den anden side.

I langsgående retning kan udstøbningen foretages på to forskellige måder.

a. Horisontale støbelag.

Ved denne metode sker udstøbningen i vandrette lag. Støbningen bør ske skiftevis fra hver side og med vekslende tykkelse af støbelagene - se Figur 15. Herved mindskes den vandrette kraft på røret. Det kan være nødvendigt at holde pause, når betonoverfladen har nået en højde, som svarer til rørenes centerlinie (lag nr. 3 på Figur 15). Herved reduceres opdriften. Først når denne beton er blevet tilstrækkelig kohæsiv, udstøbes den efterfølgende, ovenliggende beton.

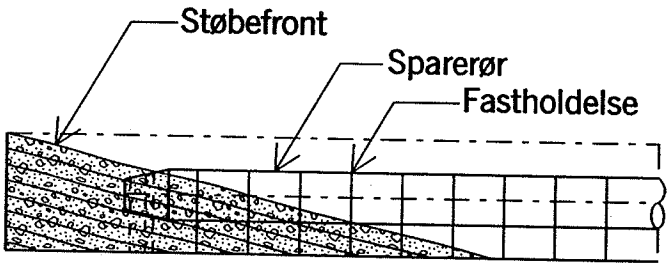
En sådan pause i støbearbejdet kan betyde, at de normalt accepterede maximale tider for betonoverflader, som ikke beskyttes mod udtørring, ikke kan overholdes.



Figur 15. Udstøbning omkring udsparingsrør. Horisontale støbelag

b. Skrå støbelag.

Ved denne metode, som kan være nødvendig ved store støbninger, sker støbningen i langsgående retning med hældende støbefront, som er udstrakt over hele tværsnittet - se Figur 16.



Figur 16. Udstøbning omkring udsparingsrør. Skrå støbelag

Betonen vil på de først udstøbte dele af udsparingsrørene være så kohæsiv, at røret ikke er opdriftpåvirket. Tværtimod virker betonen, der ligger over rørene som kontravægt for de rørdele, som er opdriftpåvirkede. Den gunstige virkning er størst ved langsom udstøbning med tynde betonlag. Metoden forudsætter, at der eftervibreres for at hindre sætningsrevner over rørene og hulrum under dem.

3.2.3 Kølerør

Temperaturregulerende foranstaltninger, som nedsætter risikoen for at revner opstår i betonens hærdefase, vinder mere og mere udbredelse.

Ofte er bestemmelser desangående udmøntet i krav om maksimaltemperaturer og temperaturforskelle.

Massive konstruktioner udvikler meget varme ved hærdning, og det kan derfor være nødvendigt at sænke temperaturniveauet f.eks. ved at køle den hærdende beton med koldt vand, som føres gennem konstruktionen ved hjælp af indstøbte kølerør af plast eller stål.

Indstøbning af kølerørene kan imidlertid være til gene for udstøbning og komprimering af betonen.

Problem

Kølerør anbringes som regel i den midterste del af konstruktionerne, som ellers ville blive varmest.

I massive konstruktioner med stort volumen er det ikke ualmindeligt, at kølerør må anbringes i lag med ca. 0,5 m afstand mellem lagene og indbyrdes mellem rørene.

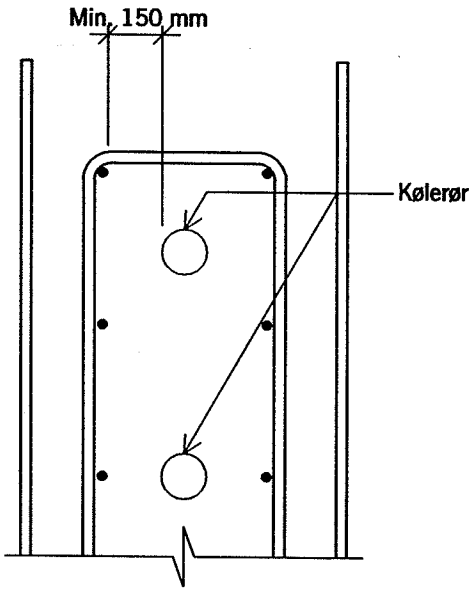
Også i relativt tynde vægkonstruktioner kan det være nødvendigt at indstøbe kølerør, hvis væggene skal støbes sammen med tidligere støbte vægge, som er afkølet til omgivelsernes temperatur. Kølerør anbragt midt i væggen kan vanskeliggøre og i værste fald umuliggøre udstøbning og vibrering.

Her behandles kun de forhold ved placeringen af kølerør, som skal tilgodeses for at sikre bedst mulighed for udstøbning og effektiv vibrering. Angående de hærdetekniske forhold henvises til Anvisningen [3].

Kølerør i tynde vægge

Kølerør i vægge anbringes i midten, hvor temperaturniveauet ellers ville blive størst. Anbringes rørene vandret, reduceres den frie åbning, gennem hvilken udstøbning og vibrering skal foregå - se Figur 17. Åbningen bør være mindst 150 mm.

Kan det ikke lade sig gøre, kan kølerørene i stedet placeres i lodrette strenge med vandret forbindelse jævnt fordelt i top og bund. Herved bliver der jævnt fordelte åbninger med tilstrækkelig lysvidde.

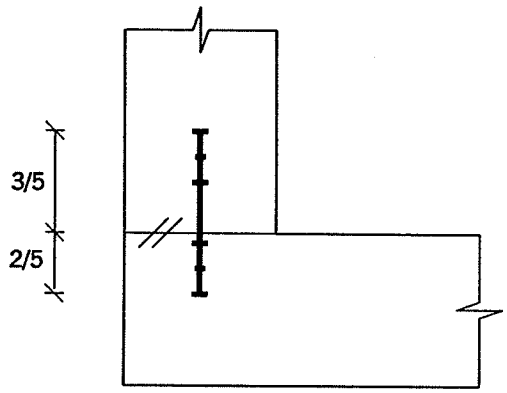


Figur 17. Kølerør i midte af væg

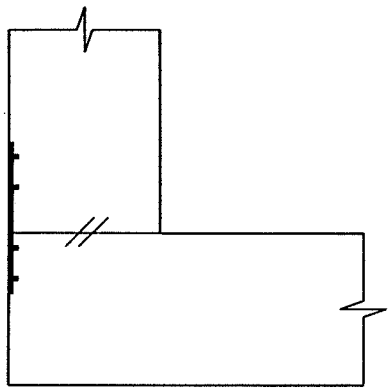
Kølerør bør om muligt ikke placeres i områder med tæt armering, da effektiv vibrering i forvejen er vanskelig. Specielt må kølerør ikke anbringes for nær (1 m) ved forankringszonen ved spændt armering.

3.2.4 Fugebånd

Støbeskel i konstruktioner, som udsættes for vandtryk, forsynes ofte med fugebånd. Sædvanligvis benyttes fugebånd af plast, som indstøbes i støbeskellet. Støbeskelsfugebånd placeres enten i midten eller mod den side, hvor vandtrykket kan forekomme. Se Figur 18 og 19.



Figur 18. Støbeskelsfugebånd placeret i midten



Figur19. Støbeskelsfugebånd placeret i siden

Støbeskelsfugebånd, som anbringes i midten af væggen (Figur 18) kan være vanskelige at fastholde i korrekt position.

Problem

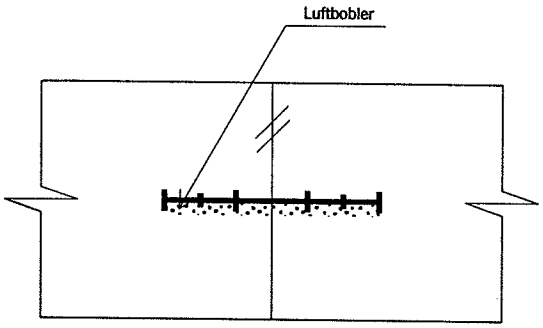
Støbeskelsfugebånd af plast bliver bløde, når de opvarmes af solen. Deformationerne kan føre til foldninger, hvorved der er risiko for at den på Figur 18 og 19 viste placering ikke overholdes.

Ved udstøbningen af den nederste konstruktionsdel, hvori fugebåndet er anbragt, besværliggøres støbningen af selve fugebåndets tilstedeværelse, særlig når det er anbragt i midten (Figur 18). Resultatet kan blive, at fugebåndet ikke indstøbes med den anbefalede bredde (2/5).

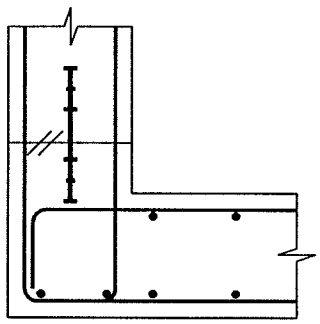
Er der gennemgående vandret armering i oversiden af den nederste konstruktionsdel, kan fugebåndet ikke indstøbes med den anbefalede bredde. Det kan da være nødvendigt at flytte støbeskellet - se Figur 21.

Særligt problematisk er fugebånd anbragt i plader (Figur 20). Her er der risiko for, at betonen under det vandrette fugebånd ikke omslutter fugebåndet helt. Opstigende luftbobler og sætninger kan være medvirkende årsag hertil. Støbeskellene bliver da utætte trods fugebånd.

For at modvirke reduktion af dæklag ved deformation af fugebånd anbragt i siden (Figur 19) kan fugebåndet fastgøres til en 2 mm stålplade, som anbringes imod formen og eventuelt kan dæklaget forøges (f.eks. + 10 mm). Foruden de viste typer findes der andre fugebånd, som ekspanderer ved vandtilførsel og derved standser vandets videre bevægelse. Denne type giver mindre risiko for fejlagtig placering. Ændring skal aftales med bygherrens tilsyn.



Figur 20. Støbeskelsfugebånd i plader



Figur 21. Støbeskelsfugebånd ved gennemgående oversidearmering

3.3 Slap armering

En forudsætning for at armering i betonkonstruktioner er virksom i bygværkets forventede levetid er, at den er effektivt beskyttet mod korrosion. Dæklagets tykkelse og kvalitet er derfor af afgørende betydning.

3.3.1 Dæklag

I "Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner" [4] er der givet en detaljeret beskrivelse af de forhold ved konstruktionsudformning og betonarbejdets udførelse, som har indflydelse på dæklagets kvalitet.

Dæklag specificeres med en minimumstykkelse, c_o afhængig af miljøklassen. Det foreskrevne dæklag, c, som ved afstandsklodser tilstræbes overholdt ved udførelsen, fremkommer som minimumstykkelsen + et tolerancetillæg Δc.

Hovedarmering kræves i Danmark ofte ilagt med en nøjagtighed svarende til tegninger ± 10 mm jf. Vejregler [6]. De acceptable afvigelser bliver da:

For tolerancetillæg $\Delta c \geq 10$ mm: ±10 mm.
For tolerancetillæg $\Delta c < 10$ mm: +10/- Δc.

Problem

Små tolerancetillæg f.eks. $\Delta c = 5$ mm betyder, at armeringen skal anbringes med en nøjagtighed svarende til tegninger +10/-5 mm og skal forblive i denne position under og efter støbning.

En så nøjagtig placering kan være overmåde vanskelig og i nogle tilfælde praktisk umulig. Her tænkes på overflader, som ikke støbes imod form og specielt på profilerede overflader - se afsnit 3.1.2. For i det mindste at sikre overholdelse af minimumsdæklaget tilstræbes udførelsen af sådanne betonkonstruktioner ofte gennemført med forøget dæklag.

For at sikre, at armeringsjern i oversiden af dæk forbliver i korrekt position, skal der anbringes afstandsholdere mellem øverste og nederste armeringsnet. Afstanden mellem afstandsholderne må ikke være for stor, da belastning fra færdsel på armeringen derved kan deformere armeringen. Under afstandsholderne og det nederste armeringsnet anbringes afstandsklodser, som sikrer dæklaget for den nederste armering, og desuden overfører belastninger fra afstandsholderne til form og stillads.

For at sikre korrekt dæklag skal afstandsholdere mellem armeringsnettene og afstandsklodserne udføres med stor nøjagtighed. Tolerancen på afstandsklodserne bør være +5/-0 mm. Belastning fra færdsel på armering i oversiden bør fordeles ved hjælp af planker eller plader.

3.3.2 Afstand mellem armeringsjern

Lille afstand mellem armeringsjern gør effektiv vibrering vanskelig.

Normer foreskriver en mindste fri afstand mellem armeringsstænger i samme lag, som afhænger af stængernes diameter og største stenstørrelse i betonen. I praksis er afstanden typisk 50 mm (for ø 25 og største stenstørrelse 32 mm) efter DS 411, men kun 37 mm efter Eurocode 2. I praksis vil armeringen ofte ligge tættere.

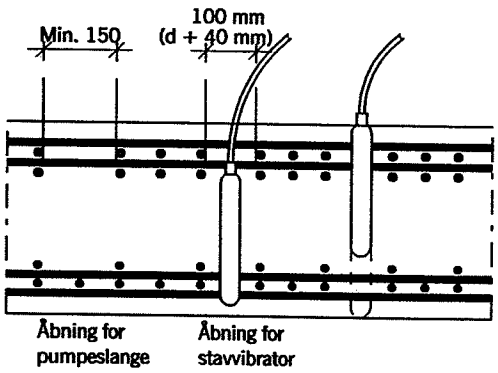
Problem

Små frie afstande kan i vægge medføre risiko for, at komprimeringseffekten fra stavvibrering ikke i tilstrækkelig grad trænger gennem maskerne og ud i dæklaget. Desuden er der risiko for en "sigtevirkning", hvorved de større sten tilbageholdes.

Risiko for inhomogen beton og støbesår forøges med aftagende fri afstand mellem armeringsjern.

I dæk med flere lag af krydsende armeringsstænger er masker med fri afstand 50 x 50 mm (DS 411) eller endog 37 x 37 mm (Eurocode 2) slet ikke tilstrækkelig for udstøbning med 125 mm pumpeslange og heller ikke for korrekt placering af, og effektiv vibrering med stavvibratorer.

Armeringsarrangementet skal sikre, at betonen kan placeres i sin endelige position uden for store vandrette flytninger ved vibrering, og således, at der er tilstrækkelig plads til vibratorstave - se Figur 22.



Figur 22. Åbninger for pumpeslange og stavvibratorer

Åbninger for pumpeslanger eller støberør er nødvendige, når konstruktionshøjden er større end 1 m, idet betonen normalt ikke må falde frit fra større højde. I åbningerne skal den fri afstand mellem armeringsjern være mindst 150 x 150 mm. Den maksimale afstand mellem sådanne åbninger afhænger af betonens konsistens, men bør ikke overstige 2 m.

Den frie afstand mellem armeringsjern i åbninger for stavvibratorer skal mindst være d + 40 mm, hvor d er stavvibratorens diameter. Afstanden mellem åbninger afhænger af armeringskompleksiteten og vibratordiameteren. Der henvises til [2].

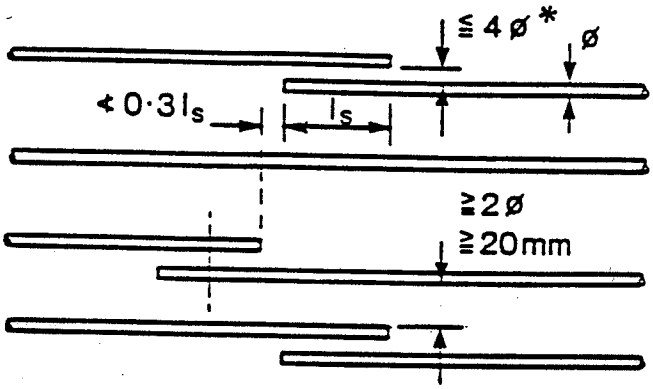
For at sikre det nødvendige antal åbninger for støberør og stavvibratorer (Figur 22), kan armeringsjern forskubbes og/eller anbringes i grupper. Dette må kun gøres, hvis det aftales med bygherrens tilsyn.

3.3.3 Stød og forankring

I områder med stød og forankringer bliver armeringskoncentrationen stor og de udstøbningsmæssige vanskeligheder øges.

Problem

Problemerne er de samme som nævnt i afsnit 3.3.2. Eurocode 2 angiver regler med begrænsninger for den frie afstand mellem stødte armeringsjern (i både lodret og vandret plan) som angivet på Figur 23.



*I modsat fald skal stødlængden, l_s, øges med den længde, som den frie afstand overstiger 4 ø.

Figur 23. Tætliggende stød ifølge Eurocode 2

Udstøbningsforholdene i sådanne stødzoner kan være overordentlig vanskelige.

Af hensyn til de udstøbningsmæssige forhold henvises til de generelle principper i afsnit 3.3.2.

Mindre stenstørrelse

For at sikre omstøbning af armering i zoner med tætliggende stød og forankringer, kan der benyttes beton med maksimal stenstørrelse 16 mm, og eventuelt kan stenmængden reduceres. Dette giver dog alt andet lige en dårligere beton.

3.4 Forspænding

Udførelsesmæssigt er det særligt forankringszonerne for den forspændte armering, som er vanskelig.

Problem

Betonen bag forankringer er forstærket med tætliggende net - eller spiralarmering. Disse områder, hvor der også er ordinær, slap armering, kan være vanskeligt tilgængelige med stavvibrator.

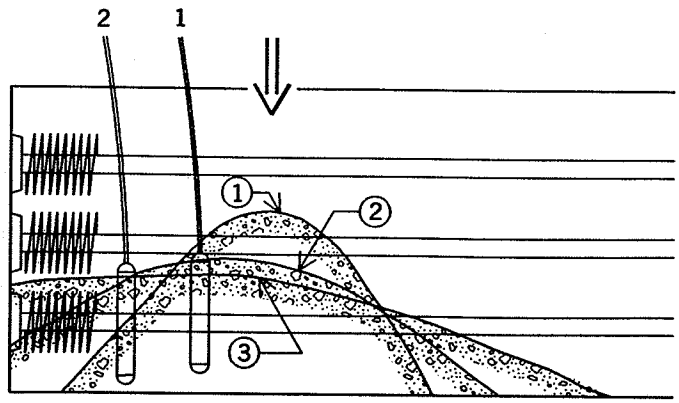
Spændt armering i vægge gør udstøbning og vibrering vanskelig. Problemet er analogt med kølerør - se afsnit 3.2.3.

Af hensyn til de udstøbningsmæssige forhold skal de i afsnit 3.3.2 og 3.3.3 generelle principper følges.

Eventuelle kølerør skal helst placeres mindst 1 m fra forankringszonen.

Udførelse

Det sædvanlige udførelsesprincip, om at støbe væk fra formsiden for at undgå overskudsvand og slam i dette område, kan ikke altid gennemføres ved udstøbning af forankringszoner med tæt armering. I sådanne tilfælde anbringes betonen umiddelbart udenfor forankringszonen og vibreres ind imod forankringerne, som vist på Figur 24.



Figur 24. Udstøbning af forankringszone med tæt armering

4. DOKUMENTATION

Der skal foreligge dokumentation for at udførelsen er gennemført efter de metoder, som er fastlagt i støbeprogrammerne.

For udførelsen af meget vanskelige detaljer bør der foreligge dokumentation (i form af en fravigelsesbegæring), for at ændret udformning/udførelsesmetode har været foreslået, men ikke er blevet accepteret.

5. REFERENCER

[1] Højkvalitetsbeton - Entreprenørens Teknologi.
Forprøvning, anvisning.
Rapport nr. 109.
Vejdirektoratet 1997.

[2] Højkvalitetsbeton - Entreprenørens Teknologi.
Stavvibrering, anvisning.
Rapport nr. 74.
Vejdirektoratet 1997.

[3] Højkvalitetsbeton - Entreprenørens Teknologi.
Hærdestyring, anvisning
Rapport nr. 125.

[4] Anvisning i brug af højkvalitetsbeton til udsatte anlægskonstruktioner,
Dansk Betoninstitut A/S, 1995.

[5] Kompen, R. and Liestøl G: Nye regler for sikring av overdekning, på norsk, Publikasjon nr. 78, Statens Vegvesen Norge 1995.

[6] Vejregeludvalget: "Udbuds- og anlægsforskrifter - Betonbroer - almindelig arbejdsbeskrivelse AAB", Vejregler,
December 1994.

[7] HETEK Report No. 85. Structural Design and Workmanship. State of the Art.
Road Directorate 1997.

[8] HETEK Rapport Nr. 95. Vejledning i udformning, som forbedrer udførelsen af armerede betonkonstruktioner.
Vejdirektoratet 1997.

[9] HETEK Report No. 96. Guidelines for structural detailing to improve concreting.
Road Directorate 1997.