



Stavvibrering

Høj kvalitetsbeton
Entreprenørens teknologi – Anvisning



Rapport nr. 74
1997



Vejdirektoratet

INDHOLDSFORTEGNELSE

0. FORORD	4
1. ANVISNINGENS FORMÅL	5
2. STAVVIBRATOREN	6
3. VIBRERINGSBEHOV	8
4. NORMALE VIBRERINGSMETODER	10
4.1 Lagtykkelse	10
4.2 Vibreringstid	12
4.4 Valg af vibratorstørrelse	16
5. PRODUKTIONSYDELSER	19
6. SPECIELLE VIBRERINGSMETODER	24
6.1 Armeringstæthed	24
6.2 Vibratorledere	24
6.3 Udsparingskasser	25
6.4 Dæklag	26
6.5 Eftervibrering	27
7. INSPEKTION	29
7.1 Visuel inspektion under vibreringen	29
7.2 Visuel vurdering af overfladekvalitet	29
7.3 Rensning af støbeskel	29
7.4 Udboring af prøver	30
8. UDDANNELSE	31
9. REFERENCER	32

0. FORORD

Erhvervsministeriet - Udviklingskontraktudvalget har medfinansieret det af Vejdirektoratet initierede betonteknologiske forskningsprojekt HETEK - Højkvalitetsbeton, Entreprenørens Teknologi. Højkvalitetsbeton 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, det teknologiske servicesystem, 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 kortfattede og præcise anvisninger, der ligeledes er blevet udgivet af Vejdirektoratet, maj 1997.

Nærværende anvisning er baseret på arbejdet udført i HETEK-delopgaven vedrørende udstøbning og bearbejdning (komprimering) samt en revision af anvisningen i stavvibrering udsendt af Dansk Betonforening [3]. For yderligere information om emnet henvises til referencelisten.

1. ANVISNINGENS FORMÅL

Systematisk vibrering

Formålet med denne anvisning er at vejlede pladsingeniører, formænd og sjakbajser i, hvorledes en systematisk vibrering gennemføres med stavvibratorer.

Anvisningen angiver, hvorledes afstanden mellem vibreringsnedstik og vibreringstid fastlægges baseret på en vurdering af henholdsvis mængden af armering og indstøbningsdele (formens sværhedsgrad) og betonens flydeegenskaber (betonens sværhedsgrad).

Anvisningen kan anvendes som grundlag for entreprenørens egen arbejdsinstruktion til den aktuelle udførelse. Entreprenørens arbejdsinstruktion bør være kort og kun tage de aktuelle tilfælde ved udførelsen med.

2. STAVVIBRATOREN

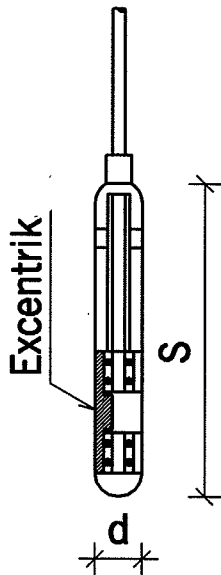
Opbygningen af en normal elektrisk stavvibrator er vist på figur 1.

Vibrationerne frembringes af en roterende excentrik. Vibratorens frekvens angiver, hvor hurtigt exentriken roterer.

Elektriske stavvibratore har normalt en frekvens på 12.000 omdrejninger i minuttet (200Hz). Ved hjælp af en frekvensomformer indskudt i strømforsyningen kan frekvensen på elektriske stavvibratore ændres. Der findes ingen retningslinier for hvilke vibreringsfrekvenser, der er optimale for forskellige betontyper.

Der findes også vibratore, der drives af trykluft eller hydraulik. På luftvibratore og hydrauliske vibratore kan frekvensen varieres.

I Danmark anvendes næsten udelukkende elektriske stavvibratore, og denne anvisning gælder først og fremmest for disse. Anvendes andre vibratortyper skal nogle af de angivne regler modificeres.



Figur 1. Elektrisk vibratorstav

En stavvibrator, som arbejder med en frekvens på 12.000 omdrejninger pr. min., bør ikke have et udsving målt i luft på mindre end 0,5 mm.

Kontrol af udsving

Dette udsving kan simpelt kontrolleres med en mærkat som vist på figur 2. Kontrollen sker ved at iagttage mærkaten, der er påklæbet den arbejdende vibrator. Grundet de hurtige svingninger vil de to streger på mærkaten opfattes som én streg, når afstanden mellem stregerne er tilpas lille. Med vibratoren arbejdende i fri luft bedømmes den maksimale afstand mellem stregerne, hvor disse opfattes sammenfaldende. Denne afstand er vibratorens udsving. Mærkaten er fremstillet til kontrol af udsving af vibratorborde, hvor udsvinget er større og mærkaten derfor nemmere at læse.

Ud over udsvinget er det vanskeligt og normalt unødvendigt, at operatøren kontrollerer vibratoren. Hvis vibratoren starter og arbejder uden mislyde, er den i orden.

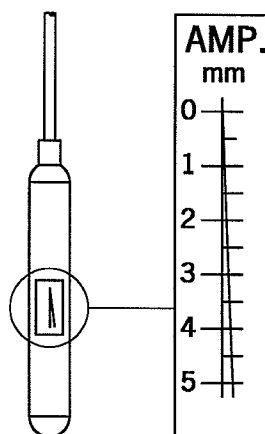
Overophedning

En elektrisk stavvibrator bliver overophedet, hvis den arbejder for længe i luft. Ved alle standsninger af vibreringen af længere varighed end et minut skal vibratoren derfor stoppes.

Rengøring

Vibratoren skal renholdes ved afvaskning og beskyttes med oliering umiddelbart efter brug. Formolie kan som regel anvendes. Olien bør tørres eller vaskes af før næste brug, da det kan ødelægge luftindholdet i betonen.

Vedligeholdelse og reparation bør udføres af et kvalificeret værksted efter leverandørens vejledning.



*Figur 2. Mærkat til kontrol af vibratorens udsving (amplitude AMP).
De anførte tal angiver afstanden mellem de to streger.*

3. VIBRERINGSBEHOV

Definition

Vibreringsbehovet er et udtryk for den energi, der er nødvendig for at få den friske beton til at udfylde formen helt, omslutte armering, afstandsholdere og indstøbningsdele.

Betonen skal behandles således, at hovedparten af den indkapslede luft uddrives (grovporet luft), og at betonen bliver ensartet uden hulrum med en tilfredsstillende luftporestruktur (finporet luft) og uden separation af tilslag og pasta.

Vibreringsbehovet er ikke en veldefineret målbar størrelse, men den kan udtrykkes ved en kombination af nedstiksafstanden og vibreringstiden.

Stavvibratorstørrelse

En stavvibrators størrelse er beskrevet ved dens ydre diameter (d) og dens længde (l). Stavvibratorens rækkevidde er normalt proportional med dens diameter.

Nedstiksafstand

Ved stavvibrering vibreres betonen ved nedstik af stavvibratoren i en række punkter. Den indbyrdes afstand mellem disse punkter benævnes nedstiksafstanden (a).

$a = nd$

I anvisningen angives nedstiksafstanden a, som et helt multiplum af stavvibratorens ydre diameter (d) d.v.s. $a = nd$.

Vibreringstid

Efter hvert nedstik vibreres i et bestemt tidsrum, benævnt vibreringstiden, hvorefter stavvibratoren hæves og flyttes til næste position.

Vibreringstiden er tiden fra nedstikket er afsluttet til optrækning påbegyndes.

Formens sværhedsgrad

Formens sværhedsgrad

Herved forstås kompleksiteten af den færdige støbeform inklusive armering, forspændingsdele, kølerør, varmetråde, indstøbningsdele og udspæringer.

Tættere armering, flere forspændingskabler, kølerør, varmetråde, indstøbningsdele og udspæringer bevirker en større sværhedsgrad af formen.

Formens sværhedsgrad er en bestemmende parameter for afstanden mellem stavvibratorens nedstik.

Betonens sværhedsgrad

Betonens sværheds- grad

Herved forstås betonens komprimeringsegenskaber bestemt af betonens sammensætning og den friske betons alder.

Svært udstøbelige betoner kan være meget tørre og stive betoner eller de såkaldte seje betoner.

Der er ikke en entydig sammenhæng mellem betonens sværhedsgrad og sætmål, jf. figur 6, idet vibreringstiden både afhænger af sætmål og betonens sejhed (indre sammenhæng).

Betonens sværhedsgrad er en bestemmende parameter for vibreringstiden ved hvert vibratoredstik.

Overvibrering

Overvibre- ring

Hvis betonen vibreres for længe kan betonens struktur og luftporesystem ødelægges.

Da den fra staven til betonen overførte energi aftager stærkt med afstanden fra vibratoren vil der være en tendens til

- at betonen tæt på staven vibreres for meget
- at betonen langt fra staven vibreres for lidt.

Imidlertid vil der normalt - for at undgå stenreder - blive vibreret således, at vibreringsbehovet langt væk fra staven er tilstrækkeligt.

Man må derfor altid regne med, at betonen tæt ved vibratorstaven mere eller mindre får ødelagt luftporestrukturen, hvorfor det må søges undgået, at der vibreres tæt på en overflade, der skal være frostbestandig.

4. NORMALE VIBRERINGSMETODER

Betonen skal udlægges, således vandrette flytninger med stavvibratoren begrænses mest muligt. Af hensyn til konstruktionsudformningen kan dette dog ikke altid opfyldes.

Vibratoren skal gøre betonen flydende, således at den indkapslede luft kan undvige og gøre betonen ensartet uden hulrum, og uden at der opstår områder, hvor tilslagsmaterialerne ikke er jævnt fordelt.

Den bedste måde at anvende en stavibrator på er:

Grundregler for vibrering

- Staven stikkes lodret og hurtigt ned i betonen umiddelbart efter placering af betonen, indtil kun toppen af vibratoren kan ses.
- Det sikres, at staven gennembryder det underliggende lag af beton med 0,1-0,2 m.
- Staven holdes neddykket i 5 til 25 sekunder (vibreringstiden).
- Staven trækkes meget langsomt op, således at hullet efter staven lukkes med ensartet beton, og at de fleste af luftblærerne bringes med op.

Disse simple regler uddybes i det følgende.

4.1 Lagtykkelse

Ensartede lag

Betonen skal udlægges i lag med ensartet tykkelse og så vidt muligt med horisontal overflade for at sikre en systematisk vibrering af al betonen med stavvibratoren. Hvilken lagtykkelse, der bør anvendes, afhænger delvis af betonens sværhedsgrad, konstruktionsudformningen og udstøbningsmetoden, men først og fremmest af stavvibratoren.

Nedstiks- dybde

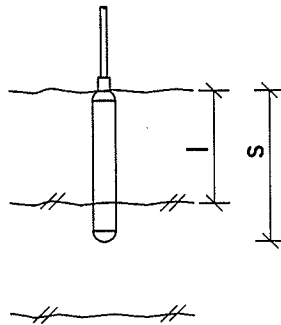
For at kunne vibrere systematisk er det nødvendigt, at operatøren ved præcis, i hvilken dybde vibratorstaven er. Dette kan opnås på simpel vis, når toppen af staven er synlig under vibreringen. Metoden er illustreret på figur 3.

Max. lagtyk- kelse

Denne metode, som er den almindeligt anbefalede, medfører at lagtykkelsen skal tilpasses længden af vibratorstaven. For at sikre sammenvibrering af lagene skal staven gå et stykke svarende til ca. 20% af stavlængden ned i det foregående lag. Dette medfører, at lagtykkelsen ikke må overstige ca. 80% af stavlængden.

Det er altså med denne metode vibratorstavens længde (s), der bør bestemme lagtykkelsen (l)!

De fleste stavvibratorer har en stavlængde mellem 300 og 500 mm, svarende til, at de kan vibrere lagtykkelser mellem 0,2 og 0,4 m, og samtidig gå mindst 0,1 m ned i det foregående lag.



Figur 3. Maksimal lagtykkelse

Tykkere lag

Dybdemærker

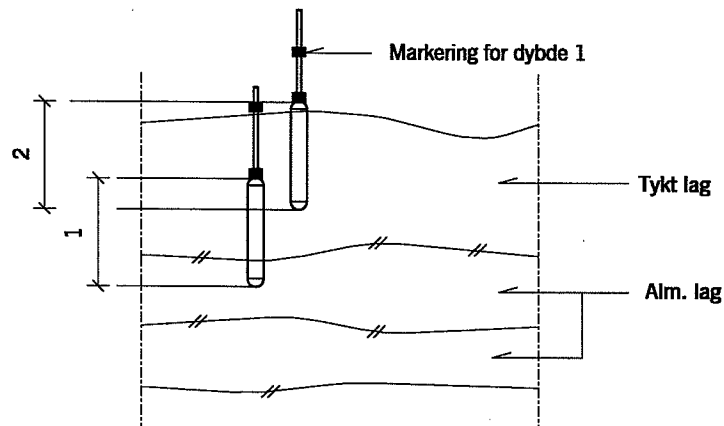
Hvis tykkere lag skal vibreres systematisk, kan det være nødvendigt at forsyne vibratorslangen med et mærke, der viser operatøren, hvornår staven er i rette dybde.

Ved at vibrere i 2 dybder ved hvert nedstik kan lagtykkelsen øges op til 1,8 gange stavlængden, svarende til lagtykkelser mellem 0,6 m og 0,9 m. Metoden er illustreret på figur 4.

Ulemper ved vibrering af tykkere lag

Metoden med tykkere lag kan ikke anbefales til almindelig brug af følgende årsager:

- den indkapslede luft skal transporteres mere end dobbelt så langt ved vibreringen, hvilket medfører risiko for dårlig luftporestruktur og luftblærer i overfladen.
- det er upraktisk at skulle anbringe og kontrollere mærket på slangen, og hvis mærket anbringes forkert, medfører det systematisk fejlvibrering.



Figur 4. Markering på stav ved store lagtykkelser

Lagtykkelsen kan i praksis ikke styres bedre end inden for $\pm 0,1$ m, og ofte vil større variationer optræde. Det er vigtigt, at operatøren ved, hvorledes han skal justere vibreringen ved variationer, dvs. med anvendelse af længere tid fordelt ved vibrering i to dybder i tykkere lag og kortere tid i tynde lag, hvor vibrering i en dybde er tilstrækkelig.

Tyndere lag

Nedsat lagtykkelse

Det kan være nødvendig at nedsætte lagtykkelsen, hvis betonen er så sej, at den indkapslede luft er længe om at nå overfladen.

Midlertidig nedsættelse af lagtykkelsen bør desuden foretages, når der opstår forsinkelser i betonleverancen, således at lagenes overflade ikke får skadelig udtørring og skorpedannelse, inden næste lag udlægges.

Lagtykkelsen bør dog ikke være mindre end halvdelen af stavlængden for at undgå opvarmning af staven.

4.2 Vibreringstid

Nedsynkning af stav

Vibratorstaven bør synke så hurtigt som muligt lodret ned i betonlaget ved sin egen vægt.

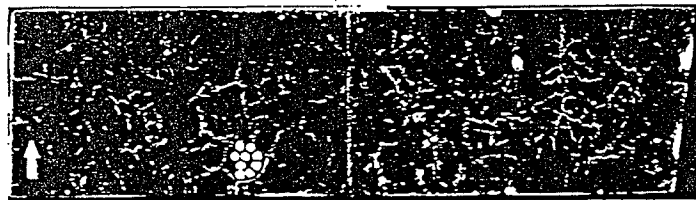
Vibreringsrytme

Staven holdes i rette dybde i en passende tid, vibreringstiden, hvorefter den trækkes langsomt op. Det er vigtigt, at staven trækkes meget langsomt op, så betonen kan nå at udfylde hullet efter staven, og så flest muligt af luftblærerne bringes med op. Trækkes staven for hurtigt

op, fyldes hullet med mørtel eller pasta uden sten, og det giver et uensartet og svagt område i betonen, som vist på planslibet, figur 5.



Almindeligt lys



Ultraviolet lys

↑ Vibratorspor

Figur 5. Vibratorspor vist på planslib

Tid pr. nedstik

Niveauet for vibreringstiden ved de enkelte nedstik bør ligge mellem 5 og 25 sek. afhængigt af betonens sværhedsgrad.

Friskbetonegenskaber

Betonens sværhedsgrad

Den friske betons sværhedsgrad er ikke en veldefineret størrelse. Den afhænger bl.a. i høj grad af den friske betons alder, idet bearbejdigheden, som traditionelt beskrives ved sætmålet, aftager med tiden.

Vibreringstiden er ikke konstant

Som følge heraf er vibreringstiden for en given beton ikke en materialekonstant, og operatøren skal derfor oplyses om tilpasning af vibreringstiden for opståede variationer.

Konstant bearbejdighed

Des mere konstant bearbejdigheden kan holdes i det tidsrum, hvor det er acceptabelt at placere og vibrere betonen, des mere ensartet kan vibreringen udføres.

Vibreringsbehovet aftager normalt med stigende sætmål af betonen. Al

beton bør dog stavvibreres, hvis andet ikke er dokumenteret ved forprøvningen.

Seje betoner betingelser øget vibrering

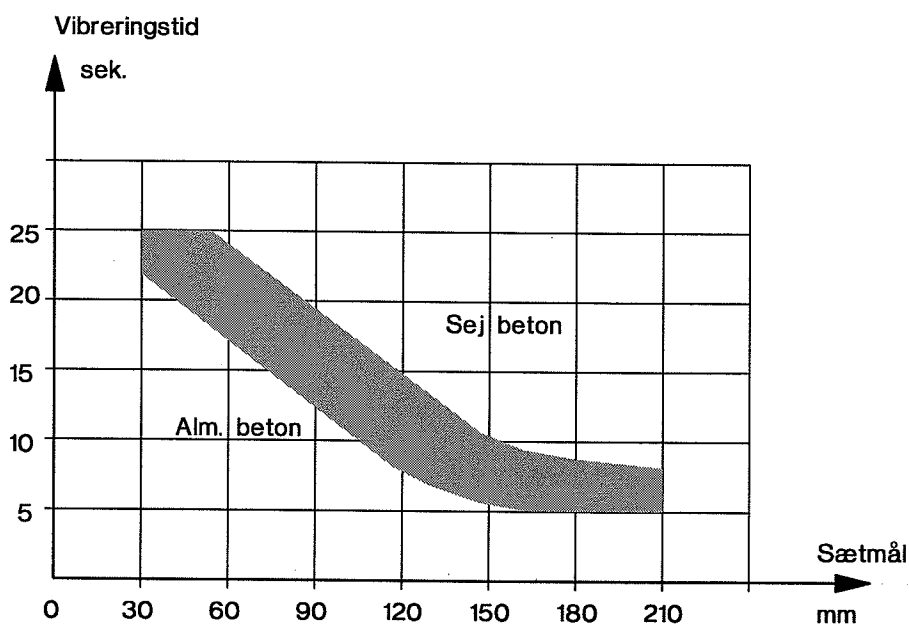
Betonens sværhedsgrad afhænger også af, hvor klæbrig og sej den friske beton er. De forhold, som har indflydelse på dette, er anvendelse af mikrosilica, samt lave vandindhold og høje doseringer af plastificerings- og superplastificeringsstoffer.

Når bearbejdigheden af seje betoner når sin anvendelsesgrænse - normalt efter 1.5 til 2 modenhedstimer, bliver betonen så klæbrig, at vibrering er praktisk umulig, idet udbredelsen af vibreringseffekten fra staven nærmer sig nul.

Vibreringstid afhænger af sætmål

Nødvendig vibreringstid

Ud fra betonens sværhedsgrad og det ønskede sætmål kan den nødvendige vibreringstid skønnes. En sammenhængen er vist på figur 6. Betoner med høje vibreringstider i forhold til sætmålet (den øverste del af båndet på figur 6) kaldes "seje" betoner.



Figur 6. Sammenhæng mellem vibreringstid og sætmål er angivet som et bånd, hvorimellem de fleste betonrecepter ligger.

De i figur 6 angivne vibreringstider sikrer ikke blærefri overflader. Blærefri overflader kan kun opfyldes ved en passende lille lagtykkelse kombineret med en passende vibreringstid bestemt ved prøvestøbning.

Vibreringstider i produktionen bør ikke kontrolleres restriktivt. Det er

niveauet, der er væsentligt. Hvis f.eks. en alm. beton leveres med et tilstræbt sætmål på 90 mm, må det variere fra 60 til 120 mm. Tilsvarende bør vibreringstiden tilstræbes mellem 22 og 8 sek. (se figur 6).

Forprøv- ninger

Vibreringstider skal undersøges med den valgte repræsentative betonsammensætning ved forprøvning af betonen. Forprøvning er mere detaljeret beskrevet i anvisning vedrørende forprøvning [1].

Ved forprøvningen anvendes varierende vibreringstider f.eks. 5, 10 og 15 sek. for en beton med et planlagt sætmål på 120 mm, således at den nødvendige vibreringstid kan fastlægges.

Oplysninger til operatøren

Operatøren skal på baggrund af forprøvningsresultaterne have oplyst hvilke vibreringstider, han skal tilstræbe for den aktuelle beton. Samtidig skal han oplyses om, hvorledes vibreringstiden skal tilpasses betonens variation i sætmål.

I tabel I er der for forskellige betonkonsistenser angivet vejledende vibreringstider.

Det anbefales at operere med følgende fire vibreringsniveauer: 5, 10, 15 og 20 sek., hvilket i praksis svarer til intervallerne angivet i tabel I.

Konsistens	Sætmål i mm	Vibreringstid i sek.
Stiv	60 (± 30)	15 - 25
Plastisk	90 (± 30)	10 - 20
Flydende	120 (± 30)	5 - 15
Let flydende	150 (± 30)	5 ^{*)} - 10

Tabel I. Vejledende vibreringstider

^{*)} Kortere vibreringstider end 5 sek. kan ikke anbefales

4.3 Nedstiksafstand

For en given vibratorstørrelse defineret ved stavens ydre diameter, d,

afhænger nedstiksafstanden, $a = nd$, af mængden af armering og indstøbningsdele (formens sværhedsgrad).

Forprøvninger

Uden gennemførte forprøvninger er det vanskeligt præcist at angive mål for, hvor svær en form med armering, forspændingsdele, indstøbningsdele og udsparinger er. Nedstiksafstanden bestemmes bl.a. af formens sværhedsgrad og bør derfor undersøges ved forprøvninger. Ved forprøvningen vil betydningen for nedstiksafstanden af betonens sværhedsgrad samt vibratorens reelle effekt ligeledes blive belyst. Tabel II giver vejledende oplysning om sammenhængen.

Formens sværhedsgrad	Vejledende eksempel	Nedstiksafstand $a = nd$
1. Simpel	Uarmeret og let armeret beton	10d
2. Normal	Normalt armeret beton	8d
3. Vanskelig	Svært armeret beton med mindre omfang af svært tilgængelige områder	6d
4. Meget vanskelig	Som vanskelig, men med mange svært tilgængelige områder	4d
5. Ekstrem vanskelig	Bør normalt ikke anvendes	2d

Tabel II. Afstand mellem vibratoredstik i afhængighed af formens sværhedsgrad. d angiver diameter af stavvibrator.

Høj kvalitetsbeton bruges normalt til konstruktioner, hvor formens sværhedsgrad ligger i klasse 3 eller 4.

4.4 Valg af vibratorstørrelse

Vibratorstørrelsen er defineret ved stavens ydre diameter d .

Vibrator vælges så stor som muligt

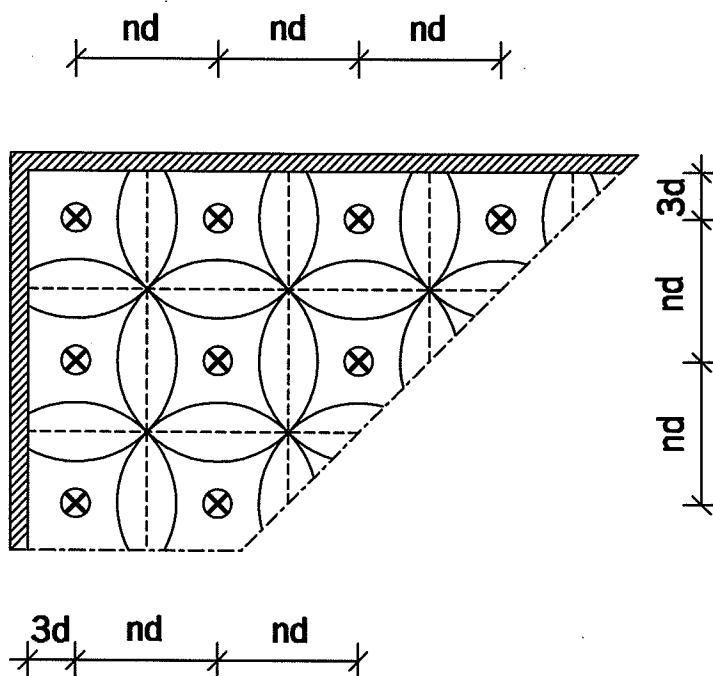
Vibratorstaven bør vælges så stor som mulig under de givne forhold, således at vibreringsenergien samt arbejdsydelsen pr. stav bliver størst mulig. De forhold, der begrænser vibratorstørrelsen, beskrives i det følgende.

*Minimum
afstand til
form*

Staven må ikke komme for tæt på formsiden, idet der så er fare for at vibreringen danner blærer i overfladen i stedet for at fjerne dem. Samtidig med blæredannelsen ved formsiden ødelægges dæklagets kvalitet ved defekter i mikrostrukturen og forringelse af luftporesystemet.

Stavens centerlinie bør normalt ikke komme nærmere formsiden end $3d$. For større sværhedsgrader af formen og/eller betonen kan det være nødvendigt at reducere dette mål.

En 66 mm stav bør altså ikke komme tættere på formen end 0,2 m og en 42 mm stav ikke tættere end ca. 0,1 m. Der bør aldrig vibreres i dæklaget, men kun på armeringens inderside og ofte endda i nogen afstand herfra, jf. afsnit 6.4. Reglerne for nedstiksafstande er illustreret på figur 7.



Figur 7. Nedstiksafstand til formsider

Ved støbning af vægge, søjler og bjælker bør staven ikke vælges så stor, at reglerne for afstande til formsider ikke kan overholdes med nedstik midt i konstruktionen.

Tabel III oplyser om mindste vægtykkelser ($6d$) for forskellige vibratorstørrelser gældende for normale sværhedsgrader af beton og form.

Staven skal kunne komme ind mellem armering, forspændingskabler og andre indstøbningsdele. Stavens diameter bør derfor ikke vælges større end halvdelen af den fri afstand mellem armeringsstænger og andre dele.

Vibratorstørrelse d mm	Mindste vægtykkelse mm
20	120
30	180
40	240
50	300
60	360

Tabel III. Sammenhæng mellem mindste vægtykkelse og vibrator størrelse under forudsætning af, at der kun vibreres midt i væggen

5. PRODUKTIONSYDELSER

Effektiv volumen

*Effektiv
volumen*

Ved anvendelse af en nedstiksafstand (a), udtrykt ved et multiplum af stavens diameter (nd), og en lagtykkelse (l) på 80% af stavlængden (s) vil det teoretisk beregnede effektive volumen (v), som en stavvibrator kan komprimere pr. nedstik være:

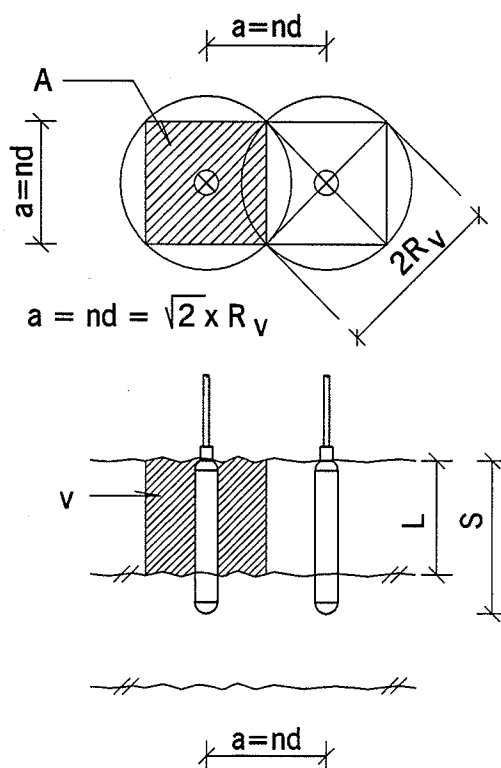
$$v = l (nd)^2$$

som illustreret på figur 8.

Vibrerings- og cyklustid

*Effektivt
tidsforbrug*

Den vejledende vibreringstid pr. nedstik er angivet i tabel I.



Figur 8. Effektivt volumen ved nedstiksafstand nd .

Hvis der regnes med 10 sek. til at trække staven op, flytte den til næste position og foretage nedstikket fås de i tabel IV anførte cyklustider og antal nedstik pr. time:

Vibreringstid sek.	Cyklus sek.	Nedstik pr. time n_t
5	15	240
10	20	180
15	25	144
20	30	120

Tabel IV. Cyklustider og nedstiksantal

10 sek. i tid flytning mm. er for længe ved lave støbninger f.eks. brodæk og for kort tid ved høje støbninger f.eks. høje vægge, hvor staven skal trækkes helt op mellem hvert nedstik.

Produktionsydelse

Med de forudgående antagelser vil produktionsydelsen være:

$$Y = \Phi n_t l (nd)^2 \quad (1)$$

hvor:

Y: ydelse i m³ pr. time

Φ : Effektivitetsfaktor (ventetider)

n_t : nedstik pr. time

l: lagtykkelse i meter

d: ydre diameter af stavvibrator i meter

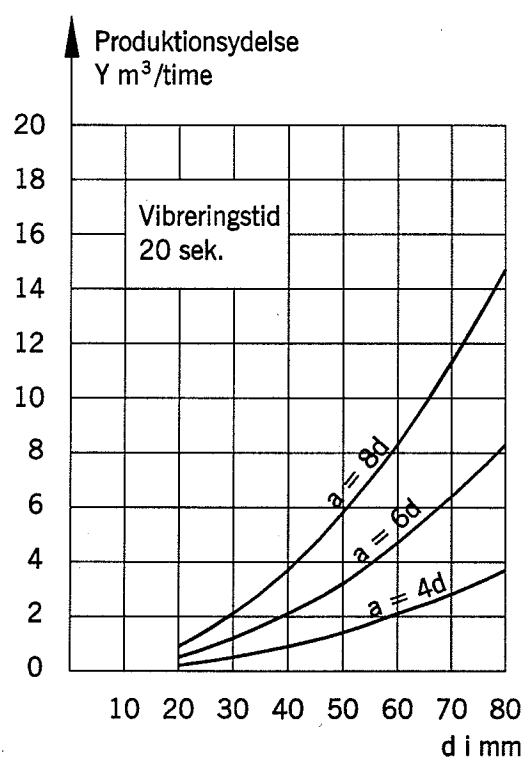
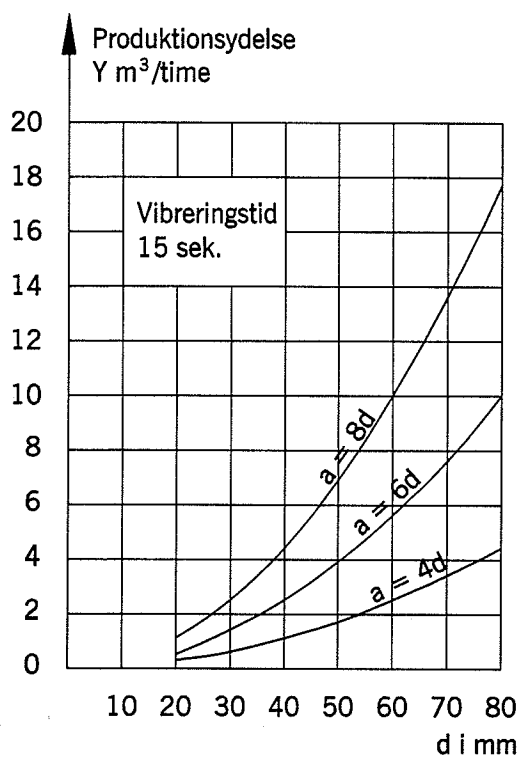
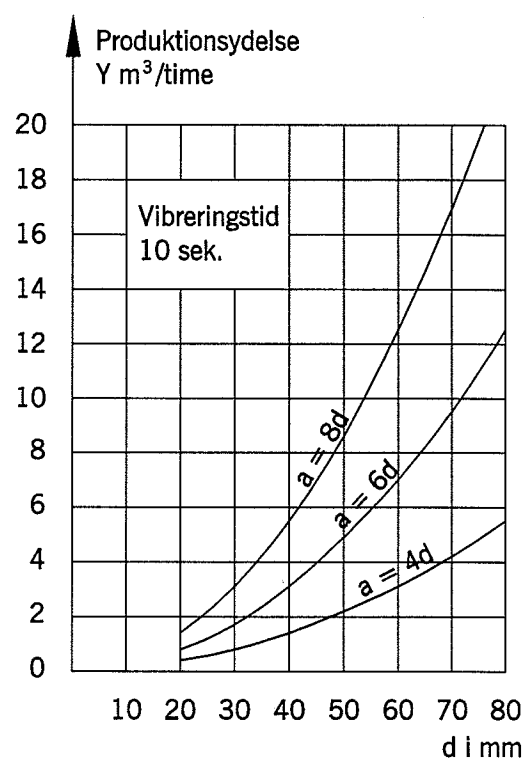
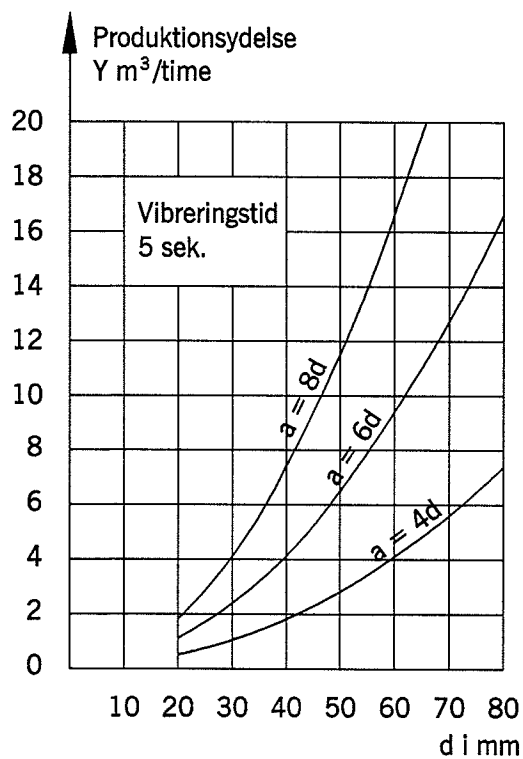
nd: afstand mellem nedstik i meter

Overslag over stavantal

Diagrammerne vist i figur 9 viser produktionsydelserne for vibratorstørrelser d mellem 20 og 80 mm, når effektivitetsfaktoren er 1,0. Diagrammerne giver ydelsen for vibratorerne ved vibrering af 0,30 m lagtykkelser ved effektive vibreringstider 5, 10, 15 og 20 sek.

Der er optegnet kurver for nedstiksafstande 4d, 6d, og 8d.

Diagrammerne kan anvendes til overslag over det nødvendige antal stave.



Figur 9. Produktionsydelser ved vibreringstider 5, 10, 15 og 20 sek. for stavvibratorer med diameter, d , mellem 20 og 80 mm.

Tænkt eksempel på bestemmelse af produktionsydelse:

Eksempel 5.1

Et dæk støbes med en almindelig (dvs. ikke speciel sej) beton. Betonen har sætmål 90 mm.

I tabel I skønnes vibreringstiden til 15 sek.

Der anvendes stavvibrаторer med $d = 0,042$ m.

Stavens længde $s = 0,35$ m.

Vibrаторerne kan ikke vibrere lagtykkelser større end 80 % af s , dvs. 0,28 m.

Hvis formens sværhedsgrad er meget vanskelig (tabel II) svarende til nedstiksafstand 4d, findes produktionsydelsen fra figur 9 som 1,2 m³ pr. time pr. vibrатор.

Er formens sværhedsgrad normal svarende til nedstiksafstand 8d, bliver produktionsydelsen 4,6 m³ pr. time pr. vibrатор.

Et tilsvarende dæk støbes med en tilsvarende beton, der dog har sætmål 120 mm. Vibreringstiden skønnes til 10 sek (tabel I).

Ved anvendelsen af stavvibrаторer med $d = 0,042$ m fås følgende produktionsydelser:

1,7 m³ pr. time pr. vibrатор ved nedstiksafstand 4d

3,6 m³ pr. time pr. vibrатор ved nedstiksafstand 6d

6,0 m³ pr. time ved vibrатор ved nedstiksafstand 8d

Alle produktionsydelser er svarende til effektivitetsfaktor $\Phi = 1,0$. Der er således ikke taget hensyn til ventetider og pauser.

Tænkt eksempel på bestemmelse af antal stavvibratorer:

Eksempel 5.2

En 0,6 m tyk væg skal støbes med en støbehastighed på 20 m³/time. Der anvendes en almindelig (dvs. ikke speciel sej) beton med sætmål 90 mm.

Vibreringstiden skønnes til 15 sek.

I hver ende af væggen er der svær armering med svært tilgængelige områder. Omfanget af disse områder skønnes til 5 m³/time.

- a: Der anvendes 42 mm stave i de vanskelige områder, hvor nedstiksafstanden skønnes til 4d.
Figur 9 giver en produktionsydelse på 1,2 m³ pr. time pr. vibrator. Der skal altså anvendes 5 stk. 42 mm stave.
På den øvrige del af væggen (15 m³) anvendes 66 mm stave og nedstiksafstanden skønnes til 8d. Produktionsydelsen findes til 11,5 m³ pr. time pr. vibrator. Der skal da anvendes 2 stk. 66 mm stave.

Med passende hensyn til ventetider skal der da anvendes 7 operatører til 5 stk. 42 mm stave og 2 stk. 66 mm stave.

- b: Hvis betonens sværhedsgrad kræver en vibreringstid på 20 sek. ændres det nødvendige antal stave til:
Produktionsydelsen for en 42 mm stav er 1,0 m³ pr. time.
Der skal anvendes 5 stave. Produktionsydelsen for en 66 mm stav er 10,0 m³ pr. time. Der skal anvendes 1,5 stave.

Med passende hensyn til ventetider skal der da anvendes 8 operatører til 6 stk. 42 mm stave og 2 stk. 66 mm stave.

- c: Hvis betonens sætmål under udførelsen kan risikere at falde, således at vibreringstiden øges fra 15 til 20 sek., så skal der ifølge ovenstående være 8 stave til rådighed. Der anvendes 7 operatører, men 1 ekstra mand skal kunne tilkaldes med kort varsel, hvis betonens sætmål falder.

6. SPECIELLE VIBRERINGSMETODER

Specielle vibreringsmetoder anvendes i områder, hvor tidligere omtalte regler ikke er tilstrækkelige til at sikre god udstøbning, eller ikke kan lade sig gennemføre på grund af konstruktionens udformning.

Særlige metoder og vanskelige støbninger er undersøgt og rapporteres i [2].

6.1 Armeringstæthed

*Åbninger i
tæt armering*

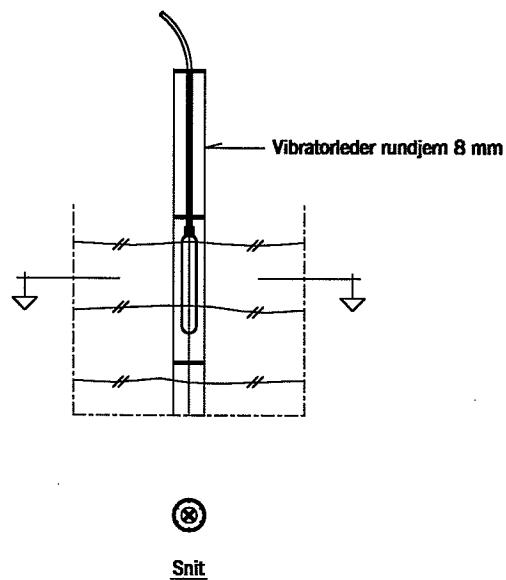
I områder med meget tætliggende armering, f.eks. forankringszoner og rammehjørner hvor de normale pladshensyn for vibratorer ikke er overholdt, bør der anordnes åbninger af dimension $2d$ med en indbyrdes afstand på $4d$, således at området kan vibreres systematisk.

*Undgå at vi-
brere på ar-
meringen*

Vibratorstaven bør normalt ikke holdes mere end få sek. på armeringen, da vibrerende dele tiltrækker luftbobler. Vibrationerne kan derudover forplantes til områder, hvor betonen ikke længere er plastisk, og vedhæftningen til en armeringsstang kan derfor nedsættes, hvis denne sættes i vibration.

6.2 Vibratorledere

I vanskelige områder kan det anbefales at indbygge vibratorledere af armeringsstænger, som sikrer styring af stavens anbringelse ved vibrering, se figur 10. Alternativt kan plastrør, som trækkes op efter vibreringen benyttes som leder, eller man kan montere en armeringsstang (16-20 mm diameter) på vibratoren, således at vibratoren kan stikkes ned som en stiv stang.

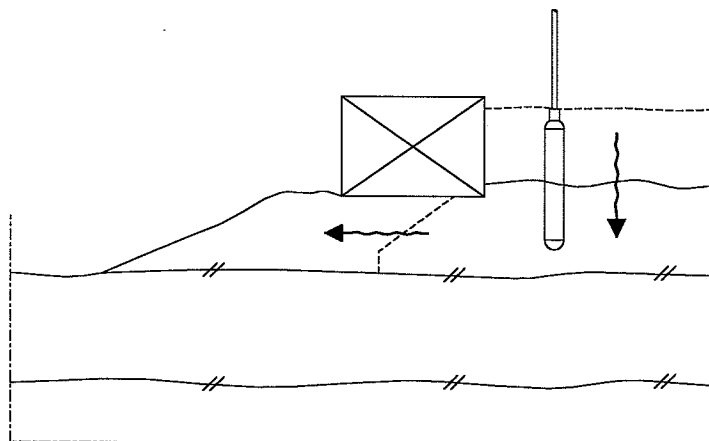


Figur 10. Vibratorleder

6.3 Udsparingskasser

Normalt bør betonen ikke flyttes vandret med vibratoren, men ved en udsparing, som vist på figur 11, sikres udstøbningen under kassen ved at udlægge betonen med overhøjde på den ene side og flytte betonen vandret ved vibrering, til den kommer ud på den modsatte side som en sammenhængende masse.

Hvis kassen er stor er det nødvendigt at anordne huller i bunden til fyldning og vibrering, som vist i [2].



Figur 11. Udsparingskasse

6.4 Dæklag

Undgå vibrering i dæklag

Det kan være fristende at vibrere direkte i dæklaget for at opnå en pæn blærefri overflade, men dette må aldrig gøres.

Det vil normalt kun være forsvarligt ved store dæklag, hvor reglen om en afstand til formen på $3d$ kan overholdes. Hvis dæklaget er 75 mm kan en 25 mm stav måske benyttes.

På figur 12 er vist et snit i en massiv konstruktionsdel med tæt overfladearmering.

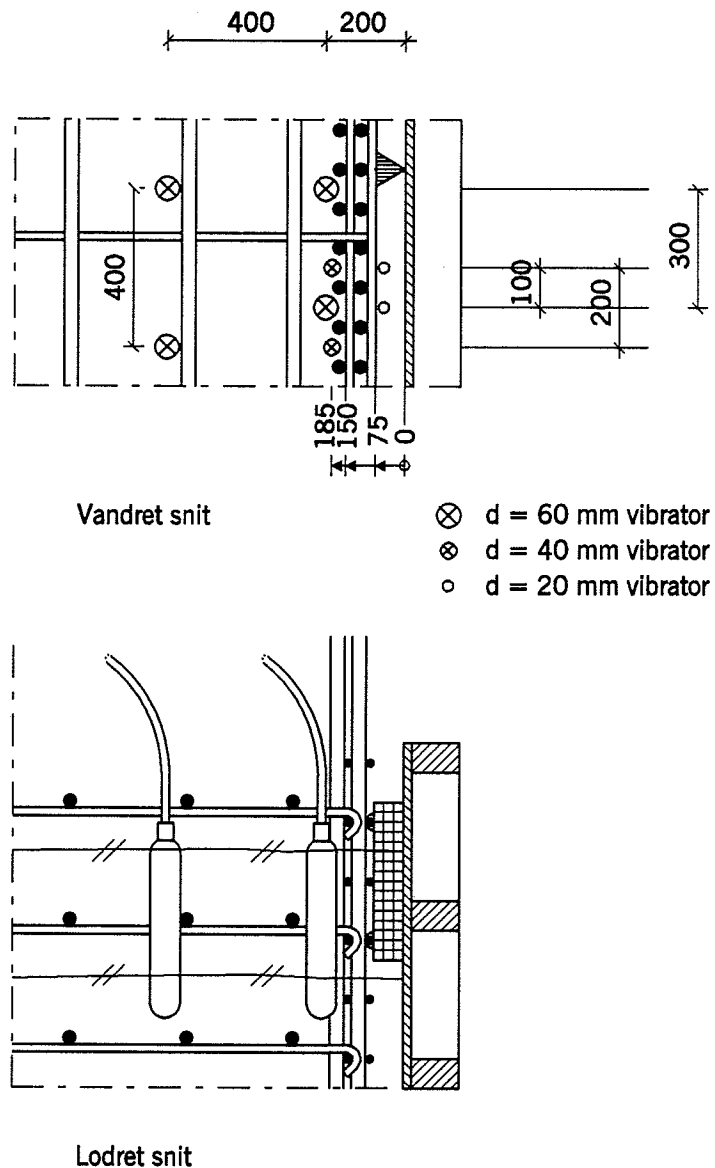
Afstandsholderen giver et dæklag på 75 mm og er fremstillet af beton med $d_{\max}$ på 8 mm.

På figuren er angivet et forslag til nedstiksafstande ved vibrering med en 60 mm stavvibrator:

Nedstik lige bag overfladearmeringen giver en afstand til formsiden på ca 0,20 m svarende til $3d$, nedstik pr 0,30 m svarende til $5d$ skønnes at give tilstrækkelig vibrering i dæklaget.

Nedstik pr 0,40 m svarende til $6,6d$ skønnes tilstrækkeligt bag ved overfladearmeringen.

Alternativt kunne der vibreres med en 40 mm stav med nedstik pr. 0,20 m lige bag overfladearmeringen. Men dette ville give en mindre ydelse og anbefales kun, hvis ovenstående metode giver for ringe kvalitet i dæklaget. En yderligere sikring af en god vibreringskvalitet i dæklaget kunne opnås ved at anvende en 60 mm stav med nedstiksafstande svarende til en 40 mm stav.



Figur 12. Snit i konstruktionsdel med tæt overfladearmering

6.5 Eftervibrering

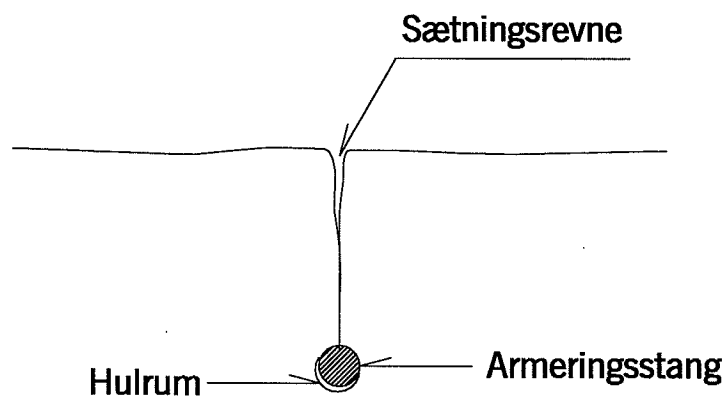
Definition

Eftervibrering betyder, at betonen vibreres en gang til, efter at den har

*Eftervisning
ved prøve-
støbning*

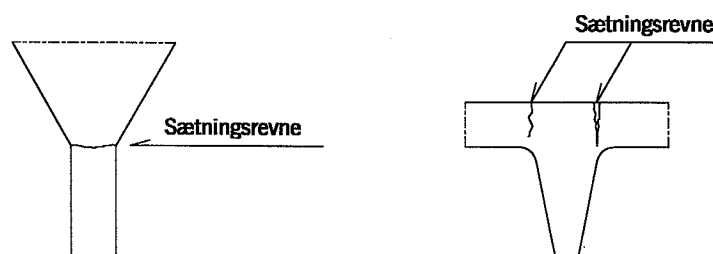
sat sig, for at undgå sætningsrevner. Eftervibreringen skal udføres efter den plastiske sætning af betonen, og medens betonen stadig er tilstrækkelig blød, således at vibratoren kan give en rækkevidde af samme størrelsesorden som ved første vibrering.

Eftervibrering bør kun udføres, hvis den er eftervist gavnlig ved prøvestøbning. Eftervibrering anbefales, hvor der i overfladen er stift fastgjorte indstøbningsdele eller armering, som hindrer betonens sætning i kombination med anvendelse af beton med tendens til sætning (typisk rene cementbetoner i store lagtykkelser), og derfor virker som revnefremkaldere se figur 13.



Figur 13. Sætningsrevne ved armering

Ved skift i dimension, som vist på figur 14, anbefales enten et kortere ophold i støbningen inden støbningen fortsættes eller en eftervibrering i toppen.



Figur 14. Sætningsrevne ved dimensionsændring

7. INSPEKTION

7.1 Visuel inspektion under vibreringen

Traditionelt vurderes den nødvendige vibreringstid visuelt ved at se på overfladen af betonlaget rundt om staven. Når operatøren vurderer, at hovedparten af luften er kommet op, trækkes staven op.

Denne metode er usikker og kan nemt føre til under- eller overvibrering, hvis ikke operatøren har erfaring med betontypen fra prøvestøbninger.

Undervibrering

Ved undervibrering kan der dannes stenreder og/eller luftblærer på overfladen. Ofte er faren for undervibrering større end faren for overvibrering.

Overvibrering

Overvibrering forekommer, hvis der dannes et slamlag af mørtel eller pasta på overfladen. Overvibrering kan også forårsage skadelige vandansamlinger lokalt under sten og ødelæggelse af betonens luftporestruktur og homogenitet, hvilket ikke kan ses af operatøren.

7.2 Visuel vurdering af overfladekvalitet

Efter afformningen vurderes vibreringens kvalitet og tilstrækkelighed ved at se på overfladernes kvalitet. Også denne metode er særdeles usikker, da luftblærer og sandstriber både kan skyldes over- og undervibrering. Kun ét kan vurderes med sikkerhed: Hvis der er stenreder, er der vibreret forkert (for lidt, for usystematisk), hvis der overhovedet er vibreret.

Luftblærer i overfladen

Luftbobler større end 5 mm ved overfladen kan regnes at stige med en hastighed på ca. 15 mm/sek langs formsiden, hvis sætmålet er 120 mm eller mere. Et betonlag på 0,3 m skal således vibreres i 20 sek. for at få en overflade uden større luftblærer. For kortere vibreringstid, som anbefalet i denne anvisning, og for betoner med mindre sætmål, må der forventes blærer i overfladen.

7.3 Rensning af støbeskel

Ved rensning af støbeskel, hvor overfladen fjernes, (ofte frilægges stenene), kan man se, om der er sten i overfladen, eller om stenene er

sunket ned på grund af overvibrering.

7.4 Udboring af prøver

Pålidelige oplysninger om vibreringens kvalitet kan kun opnås ved udboring af prøver.

Analyser på borekerner

På selve borekernen vil uens fordeling af sten kunne ses direkte. Ønskes yderligere information om vibreringens kvalitet, sendes borekernen til et laboratorium, som kan udføre planslib, tyndslib og luftporeanalyse.

Planslib

Flourescensimprægnerede planslib giver bedre kvalitative indtryk af vibreringens kvalitet.

Tyndslib

Flourescensimprægnerede planslib bør anvendes sammen med tyndslib på den måde, at tyndslibene fremstilles i områder af planslibet, hvor planslibet indikerer, at der måske er væsentlige defekter.

Luftporeanalyse

Luftporeanalysen giver direkte oplysninger om vibreringens indflydelse på luftporesystemet. Ved lange vibreringstider bliver luftindholdet for lille og overfladen mister sin frostbestandighed.

8. UDDANNELSE

Operatører bør undervises i god vibreringspraksis, så de ved, hvad der er væsentligt for betonkonstruktioners holdbarhed.

Vibratorstørrelser, nedstiksafstande og vibreringstider bør som beskrevet fastlægges ved prøvestøbninger, og det skal tilstræbes, at operatøren deltager heri.

Operatører bør instrueres ud fra de opnåede resultater og trænes ved praktiske øvelser på prøvestøbninger eller midlertidige konstruktioner.

Ingeniører, formænd og tilsynsførende bør kende god vibreringspraksis, således at de ikke som nu udelukkende vurderer resultatet ud fra overfladens udseende efter afformning.

Bygherrer bør kende holdbarhedskonsekvenserne ved overvibrering og udelade u gennemførlige krav til blærefri overflader.

Operatøren skal læse og forstå denne anvisning.

9. REFERENCER

- [1] Report No. 91
HETEK, Forprøvning af fremstilling af betonkonstruktioner.
hovedrapport og orienterende beskrivelse
Find Meyer
1997, Vejdirektoratet

- [2] Report No. 95
HETEK, Vejledning i udformning som forbedrer udførelsen af
armerede betonkonstruktioner
Find Meyer
1997, Vejdirektoratet

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

- [4] Report No. 88
HETEK, Undersøgelse af stavvibrering
Jens Frandsen, Karin-Inge Schultz
1997, Vejdirektoratet