

RETNINGSLINIER  
FOR FREMSTILLING AF  
**VIBRERET BETON**



DANSK INGENIØRFORENING

TEKNISK FORLAG

---

KØBENHAVN  
1952

## Forord

På foranledning af arbejdsgruppen for beton og jernbeton nedsatte Dansk Ingeniørforening på sit hovedbestyrelsesmøde den 14. oktober 1948 et udvalg til udarbejdelse af retningslinier for fremstilling af vibreret beton.

Udvalget fik følgende sammensætning:

*Akademisk Arkitektforening:*

Arkitekt, M.A.A. Benjamin Kall.

*Amtsvejinspektørforeningen:*

Amtsvejinspektør, civilingeniør K. P. Danø.

*Arbejdsgruppen for beton og jernbeton:*

Civilingeniør Søren Rasmussen.

*Cementsfabrikkernes tekniske Oplysningskontor:*

Civilingeniør Viggo Sthyr.

*Danmarks tekniske Højskole:*

Dr. techn. B. J. Rambøll.

*Dansk Arkitektforening:*

Arkitekt, M.A.A. og M.D.A. Carl R. Frederiksen.

*Dansk Ingeniørforening:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. Otto Husted (formand).

*Dansk Ingeniørforenings bygningsingeniørgruppe:*

Entreprenør, civilingeniør Erik C. Pedersen.

*Danske Statsbaner:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. H. K. L. Knudsen.

*Entreprenørforeningen:*

Entreprenør, civilingeniør R. A. Larsen.

*Foreningen af rådgivende Ingeniører:*

Civilingeniør A. K. Krog.

*Københavns kommune:*

Civilingeniør W. R. Simonsen.

Civilingeniør H. V. K. Steffensen.

*Landsforeningen dansk Betonvare-Industri:*

Civilingeniør Folmer Jørgensen.

*Producenter af vibratorer:*

Civilingeniør A. P. Hjortso.

Fabrikant G. R. Hoff.

*Stads- og Havneingeniørforeningen:*

Stads- og havneingeniør, cand. polyt. Aage Lauesen.

*Statens Byggeforskningsinstitut:*

Forskningsleder, civilingeniør Niels M. Plum.

*Statsprøveanstalten:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. Johs. Andersen.

*Vandbygningsvæsenet:*

Civilingeniør Knud Otterstrøm.

*Sekretær for såvel udvalget som arbejdsudvalgene:*

Dr. techn. Erik V. Meyer.

Der nedsattes følgende arbejdsudvalg for:

*A. Materiellet:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. Johs. Andersen.

Fabrikant G. R. Hoff.

Civilingeniør Folmer Jørgensen (formand).

Arkitekt, M.A.A. Benjamin Kall.

Entreprenør, civilingeniør R. A. Larsen.

Civilingeniør Knud Otterstrøm.

*B. Arbejdspladsen:*

Arkitekt, M.A.A. og M.D.A. Carl R. Frederiksen.

Entreprenør, civilingeniør R. A. Larsen.

Entreprenør, civilingeniør Erik C. Pedersen.

Civilingeniør Søren Rasmussen (formand).

Civilingeniør W. R. Simonsen.

*C. Betonen og betonsammensætningen:*

Afdelingsingeniør, cand. polyt. H. K. L. Knudsen.

Civilingeniør Knud Otterstrøm.

Civilingeniør Niels M. Plum.

Civilingeniør Viggo Sthyr (formand).

Afdelingsingeniør, cand. polyt. Johs. Andersen har for arbejdsudvalg A fulgt den undersøgelse, der i samarbejde mellem Statsprøveanstalten og Statens Byggeforskningsinstitut er foretaget af 11 danskbyggede betonblandere, og som er offentliggjort i anvisning nr. 8 fra Statens Byggeforskningsinstitut: Civilingeniørerne Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen, „Brug og valg af betonblandere“ 1950.

På foranledning af arbejdsudvalg C har civilingeniørerne, dr. techn. Erik V. Meyer og Niels M. Plum udarbejdet en proportioneringsvejledning offentliggjort i „Beton“, bind II, 1950.

Den angivne konsistensskala er i forbindelse med udvalg C udarbejdet af et udvalg bestående af civilingeniørerne Knud Otterstrøm, Poul Nerenst og J. A. Zachariassen, og forsøg med prøvelegemer er udført af civilingeniør J. A. Zachariassen („Beton og jernbeton“ nr. 2, 1952), der har angivet den anførte metode til vibrering af disse.

## Indledning

De af Dansk Ingeniørforening udgivne normer for beton- og jernbetonkonstruktioner, DS 411, indeholder almindelige regler for betonfremstilling, og disse regler finder også anvendelse på vibreret beton. Imidlertid kræver denne slags arbejder i flere henseender særlig omhu under udførelsen, for at de økonomiske og tekniske fordele, der er forbundet med brugen af vibrering, skal blive fuldt udnyttet. Af denne grund, og fordi vibreringen kræver visse særlige foranstaltninger, har man ment det rimeligt at udgive nærværende retningslinier for udførelsen af vibreret beton. Man har ligeledes fundet det rimeligt at medtage visse anvisninger vedrørende byggepladsens indretning og arbejdets udførelse, som i og for sig bør gennemføres overalt, hvor man ønsker at fremstille kvalitetsbeton.

Når anvendelsen af vibrering kan medføre forøget økonomi, er det, fordi man ved den effektive bearbejdning kan bruge beton med betydelig større stivhed og derfor mindre vandindhold, hvilket som bekendt for samme cementindhold betyder en forøgelse af betonens styrke eller for samme styrke betyder en formindskelse af cementforbruget.

Besparelser kan også opnås derved, at det er muligt at anvende større største-kornstørrelse i gruset og at benytte grus med større stenindhold. Begge disse forhold virker nedsættende på vandforbruget og er derfor økonomiske med hensyn til cementindholdet.

Det reducerede vandforbrug giver desuden en beton, der har betydelig mindre svind end håndstampet beton, og endelig en beton af væsentlig større tæthed og derfor af større holdbarhed både mod kemiske angreb, mekaniske angreb og mod frost.

Ved anvendelse af en så effektiv komprimering som vibrering har man mulighed for at bringe luftindholdet i betonen ned på et mini-

mum, selv om vandindholdet er lavt. Vibreringen vil ligeledes muliggøre en fuldstændig udfyldning af formene, selv hvor disse er meget snævre.

Vibreringen vil altså enten kunne udnyttes til at opnå, at der kan bruges mindre mængder af en bedre beton, eller til at opnå en materiale-mæssigt set billigere beton end den, der opnås ved almindelig komprimering.

Har man ved vibreringen bragt den friske betons luftindhold ned på ca. 3 %, kan man regne med den almindelige sammenhæng mellem styrke og  $v/c$ , medens man kan forvente lidt større styrker, dersom luftindholdet formindskes yderligere.

Udvalget har overvejet, om der var mulighed for at udføre videre, meget tiltrængte forsøg, men en nærmere undersøgelse af det nødvendige forsøgsprogram viste, at dette ville blive så omfattende, at det ikke kunne gennemføres inden for en rimelig tid, ligesom omkostningerne ved disse forsøg ville blive overordentlig store.

Retningslinierne er delt i 3 hovedafsnit, nemlig

- A) Materiellet
- B) Arbejdspladsen og dens indretning
- C) Beton og betonsammensætning.

## A. MATERIELLET

### a. Vibratorer

#### I. Vibratortyper

De ved betonstøbning sædvanligt anvendte vibratorer kan efter deres art og virkemåde samt efter drivkraften for de i handelen forekommende maskiner inddeles således:

1. *Stavvibratorer* (nedstiknings- eller pervibratorer),
  - a) som gennem en bøjelig aksel drives af en elektromotor (som regel  $3 \times 65$  volt), benzinmotor eller trykluftsmotor,
  - b) som drives direkte ved en indbygget trykluftsmotor (turbine) eller elektromotor.
2. *Svømmevibratorer*, som svømmer i betonen og som i reglen drives af trykluft (stempelvibratorer), sjældnere ved elektricitet.
3. *Formvibratorer*
  - a, elektromotorer (som regel  $3 \times 65$  volt) med indbyggede, roterende afvægte.
  - b. trykluftsmotorer (7 atm. arbejdstryk) med indbyggede, roterende afvægte.
  - c. trykluftsvibratorer (stempelvibratorer, 7 atm. arbejdstryk).
  - d. Elektromagnetiske vibratorer.
  - e. mekaniske, roterende vibratorer, som drives ved kilerem fra elektro- eller benzinmotorer, herunder de fleste vibratorborde m. v.
4. *Overfladevibratorer*
  - a. vibratorbjælker med aksel med afvægte, der drives ved elektromotor eller anden drivkraft gennem tandhjulsforbindelse eller remtræk.

- b. vibratorbjælker med flere påmonterede vibratore, der drives hver for sig af elektricitet og trykluft. Disse typer kan ikke anbefales, da de enkelte vibratorers bevægelse ikke kan synkroniseres.
- c. Kant- og planvibratore med een direkte påmonteret elektrisk vibrator eller trykluftsvibrator.

## II. Vibratorernes frekvens, amplitude og acceleration

For at afgøre, hvilken type vibrator der skal anvendes ved løsningen af en foreliggende Opgave, er der visse problemer, som må klarlægges.

I det følgende skal der kort redegøres for disse, selv om det må indrømmes, at de hidtil udførte forsøg er af så ringe omfang, at man ikke på grundlag af disse og ud fra sit kendskab til en foreliggende betonstøbningsopgave og kendskab til eksisterende vibrationsmateriel endtydigt kan bestemme, hvilken vibrator, der bør anvendes.

En vibrator karakteriseres i almindelighed ved følgende størrelser, af hvilke frekvensen er den i praksis oftest anvendte:

1. Frekvensen, d. v. s. antal vibrationer pr. minut, se fig. 1.
2. Amplituden, d. v. s. størrelsen af vibratorens udsving under den enkelte vibration (se fig. 1).

Det må bemærkes, at denne størrelse varierer med belastningen på vibratoren, således at den er størst, når vibratoren kan svinge frit, og bliver mindre, jo stivere konsistens den beton har, den sænkes ned i, eller jo stivere den form er, på hvilken den fastgøres.

3. Accelerationen, d. v. s. den hastighedsforøgelse, som vibratoren får

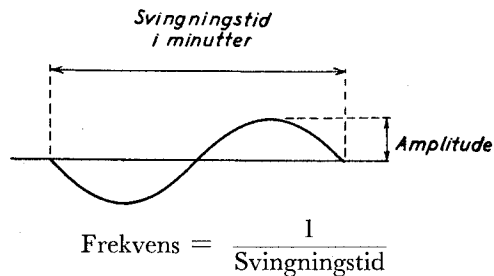


Fig. 1.

i sin bane under udsvingene, idet hastigheden er nul i udsvingenes yderpunkt og størst i midterstillingen. Også accelerationen ændres ved vibratorens belastning på samme måde som amplituden.

Disse tre størrelser anvendes også til at karakterisere en betonpartikels tilstand, når den er udsat for vibration.

## III. Vibratorernes virkemåde

På den uafbundne beton har vibrationen som bekendt den virkning, at den i hvert fald momentvis ophæver en væsentlig del af den indre friktion, hvorved betonen bliver mere flydende og bedre kan udfylde formene, ligesom betonpartiklerne lejres tættere.

De hidtil foretagne undersøgelser af vibratorernes virkemåde har ikke givet et udtømmende svar på, hvilke af en vibrators karakteristiske størrelser, der har mest betydning for opnåelse af denne virkning og dermed på den udstøbte betons egenskaber.

Man må gøre sig klart, at vibratorens aktionsradius er begrænset, at der ved energitransporten gennem betonen absorberes energi, og at energitætheden aftager med afstanden fra vibratoren. Også den mere eller mindre direkte kontakt mellem vibratoren og betonen er af betydning.

Den samlede energimængde, som vibratoren afgiver, dens effekt, har derfor betydning for dens aktionsradius og virkning. Ved velkonstruerede vibratore kan deres vægt anvendes som sammenligningsgrundlag, idet en tungere vibrator i almindelighed har en større effekt. Endvidere må man erindre, at den energimængde, som vibratoren kan afgive, i det store og hele er proportional med den drivende motors hestekræfter, hvilken størrelse derfor kan være vejledende ved sammenligning af forskellige vibratorers effektivitet.

Imidlertid findes der, som ovenfor nævnt, ikke sikre regler, som kan anvendes ved valg af vibratore, men de hidtil høstede erfaringer synes at vise, at man, hvor der ikke er tale om vibrering af beton med grovere stenmaterialer, f. eks. singelsbeton, bør tilstræbe at anvende så høj frekvens som muligt, idet det har vist sig, at de fineste korn i blandingen bedst kan sammenvibreres ved høj frekvens, der i almindelighed er forbundet med en lille amplitude.

Når formvibratører anvendes, bruges en stor del af vibratorens energi til at sætte formen i vibration — jo mere, jo større, tungere og stivere formen er.

Overalt, hvor det kan lade sig gøre, bør man derfor anvende vibratører, som er i direkte berøring med betonen og så vidt muligt helt omgivet af denne, og kun hvor særlige forhold gør sig gældende, f. eks. ved tæt armering, tynde vægge og fabrikation af mindre enheder, bør anvendes formvibratører. Dette bekræftes af erfaringerne fra praksis.

#### IV. Valg af vibratortype

I relation til de forskellige vibrationsopgaver kan der gives følgende praktiske vejledning for anvendelse af de forskellige typer af vibratører:

1. Ved store, uarmerede betonmasser, såsom fundamenter, piller, tykke vægge, plader o. l.:  
svømmevibratører, frekvens 3000—7000, eller stavvibratører, frekvens 6000—9000.
2. Ved mindre, uarmerede betonmasser, såsom mindre fundamenter og vægge — større betonrør og andre fabriksfremstillede varer af større dimensioner:  
stavvibratører, frekvens 6000—13000.
3. Ved alle armerede konstruktioner, såsom søjler, dragere, plader o. l., hvor armeringstætheden tillader det:  
stavvibratører, frekvens 6000—13000.
4. Ved alle armerede konstruktioner med tæt armering, hvor stavvibratører ikke kan anvendes:  
formvibratører, frekvens 3000—4000.  
Ved plader kan anvendes overfladevibratører (vibratorbjælker, plan- og kantvibratører), frekvens 3000—6000. De bør altid anvendes ved tynde plader. At anvende stavvibratører, som holdes fast mod formen, er lidet effektivt. Stavvibratører bør kun anvendes som formvibratører, når der er sørget for en sådan fastspænding til formen, at vibrationerne overføres effektivt.
5. Ved arealbelægninger:  
overfladevibratører (bjælker, plan- og kantvibratører), frekvens 3000—6000, ofte kombineret med stavvibratører.

Betonlag af mere end 15 cm tykkelse bør, såfremt der udelukkende anvendes overfladevibratører, udlægges og vibreres i 2 eller flere lag; det angives dog, at man med specielle overfladevibratører med gunstigt resultat har vibreret betydelig tykkere betonlag.

6. Ved fabriksfremstillede enheder:  
formvibratører, frekvens 3000—4000,  
vibrationsborde, hvorpå formen fastspændes, frekvens 3000—7000, eller  
stavvibratører, især ved større enheder, frekvens 6000—13000.

Løvrigt skal bemærkes, at der findes vibratører med højere frekvens end her angivet, f. eks. op til 15000, ligesom man i laboratorierne eksperimenterer med frekvenser op til 30000. Vibratører med så høje frekvenser er imidlertid endnu ikke tilstrækkelig gennemprøvede her i landet.

Om de to hovedformer for drivkraft skal oplyses, at trykluftdrevne vibratører er mere robuste end elektrisk drevne, men kræver et betydeligt større kraftforbrug.

### b. Blandemaskiner

#### I. Fritfaldsblandere

Blandingens foregår på den måde, at nogle af de indfyldte materialer af skovle, der sidder fast indvendigt på en om en vandret eller skrå akse roterende tromle, løftes op og derefter igen falder ned i de materialer, som befinder sig i tromlens bund.

De her i landet almindeligt anvendte fritfaldsblandere kan deles i 3 typer, der er karakteriseret ved den måde, hvorpå betonen udtømmes.

1. *T* blanderen, der tømmes ved, at man tipper hele blandetromlen.
2. *NT* blanderen, der tømmes ved, at der i blandetromlen indføres en skrå slidsk, på hvilken betonen efterhånden løftes op af skovlene og løber ud af maskinen.

3. *NTK* blanderen, der tømmes ved, at tromlens omløbsretning ændres, således at betonen ved hjælp af skrueformede skovle føres ud gennem udtømningsåbningen.

## II. Tvangsblendere

Ved de almindeligt anvendte tvangsblendere foregår blandingen i et cylindrisk kar ved hjælp af et sæt omrørerskovle og skraber, der i reglen roterer om en lodret akse. På nogle typer roterer også karret, men i modsat retning af skovlene.

Der findes endvidere trugformede tvangsblendere, hvor blandingen sker ved, at et røreværk anbragt på en vandret aksel omrører materialerne.

Tvangsblendere med vandret, åbent kar og lodret omrøreakse kan deles i 2 typer:

- 1) *R* blendere, hvor karret er faststående, og røreværket er anbragt centrisk i karret, og
- 2) *RK* blendere, hvor kar og røreværk roterer i modsat retning, og hvor røreværket er anbragt ekscentrisk i karret.

De trugformede tvangsblendere skal ikke omtales, da der ikke, således som for de andre typer, er foretaget undersøgelse af deres blandeegenskaber.

## III. Valg og brug af blandemaskiner

En udførligere beskrivelse af blandemaskiner findes i Statens Byggeforskningsinstituts anvisning nr. 8: „Brug og valg af betonblendere“, der er udarbejdet på grundlag af en ved samarbejde mellem Statsprøveanstalten og Statens Byggeforskningsinstitut gennemført undersøgelse af 11 danske blandemaskiner, repræsenterende alle ovenfor nævnte typer med undtagelse af den sidstnævnte, trugformede tvangsblender.

Beton, som skal vibreres, skal i reglen have et sætmål mellem 0 og 8 cm, og de ovenfor omtalte forsøg viser, at for dette konsistensområde er *RK* typen særlig anvendelig. *NTK* typen og i nogen grad *NT* typen giver også, anvendt med skønsomhed, gode resultater for de ikke helt stive betoner.

*R* typen kan anvendes til beton med små stenstørrelser indtil 16 mm, men på grund af sin ringe kapacitet kun ved mindre arbejder.

*T* blendere bør ikke anvendes til fremstilling af beton, der skal vibreres.

Blandetiden afhænger af den anvendte maskintype og den ønskede betonkonsistens. Den bør i almindelighed være 1—1½ minut, når maskinen løber med sin normale hastighed. Ved elektrisk drevne maskiner kan den nødvendige blandetid kontrolleres ved registrerende wattmetre.

Udførligere fremstilling af disse forhold findes i ovenfor omtalte anvisning nr. 8 fra Statens Byggeforskningsinstitut.



## B. ARBEJDSPLADSEN OG DENS INDRETNING

### a. Indretninger til modtagelse af sand- og stenmaterialer

Det må bestemt frarådes at henlægge sand- og stenmaterialer i bunker uden adskillelse.

Indretninger til modtagelse retter sig efter arbejdets størrelse.

1. For arbejder, hvor betonentreprisen er ca. 100.000 kr. eller derunder, anbefales opstilling af skærme til adskillelse mellem de forskellige materialer.
2. For arbejder mellem 100.000—500.000 kr. anbefales et arrangement, bestående af aflukker, åbne i den ene ende, med tilkørselsrampe modsat blandemaskinen (fig. 2).

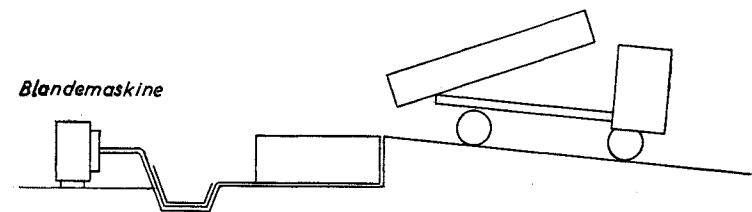


Fig. 2.

3. For store arbejder over ca. 500.000 kr. anbefales anvendelsen af de kendte vejesiloer med tilførsel med kran, elevator eller transportbånd. Et noget simplere arrangement er det i fig. 3 viste.

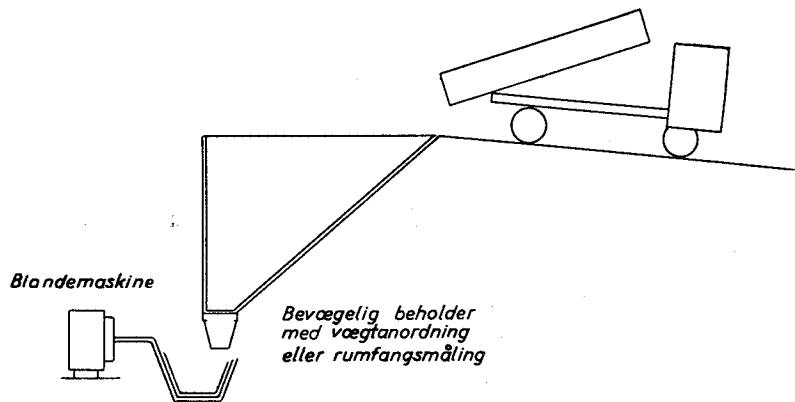


Fig. 3.

## b. Betonen

### I. Direktiver til fremstilling af beton til vibrering

Blandingsforholdet bør opgives efter vægt af tørre materialer. Sandets vandindhold bestemmes, og den til betonen nødvendige vandtilsætning udregnes. Vandtilsætningen sker igennem justeret vandmåler, hvis indstilling kun bør ændres af formanden.

Cementen skal, hvis den ikke måles på anden måde, tilsættes i hele sække. Tilsætningen skal altid ske efter vægt.

Stenene kan udmåles efter rumfang, medens sandmængden altid bør kontrolleres ved vejning.

Materialerne skal sædvanligvis tilføres elevatorspanden i rækkefølgen: sten, cement, sand; men rækkefølgen må iøvrigt rette sig efter maskintypen.

Hele vandmængden tilføres under materialernes indførelse i maskinen. Det bør under arbejdets udførelse påses, at den valgte konsistens overholdes. Om valg og bedømmelse af denne henvises til afsnit C II.

## II. Transport af betonen

Ved transporten må der lægges vægt på at undgå sammenklumpning og separation. Dette opnås ved at arbejde med passende transportmidler og ved at udsætte betonen for så få omstyrtninger som muligt ved at benytte siloer, hejsebande o. s. v. Brugen af luftindblandingsmidler i betonen formindsker faren for afblanding.

Ved korte afstande bør bruges enten transportmidler med gummihjul eller kran. Over længere afstande bør transportmidlet vælges efter den stivhed, betonen har. Beton med slump under 2 cm kan udbringes på fladvogn, medens beton med større slump under transporten bør holdes i stadig bevægelse (roterbiler eller lignende).

Transportmidlerne bør være af jern eller jernbeslåede. Betonen skal udlægges fra lukket bakke og må ikke skubbes fra bakken. Såfremt det frie fald ville blive over 1 m, skal betonen udstøbes gennem rør.

## III. Betonens behandling i støbeformen

Betonen udlægges i vandrette lag på ca. 30 cm tykkelse. Udlægningen må ikke ske i hurtigere tempo, end at vibreringen kan følge umiddelbart efter. Når man anvender stavvibrator, må man være opmærksom på nødvendigheden af altid at have så rigelig beton foran vibratoren, at betonen ikke bringes til at flyde ud ved vibreringen. Den skal ske systematisk, således at man sikrer sig, at al beton bliver gennemvibreret. Vibreringen skal fortsættes så længe, at der til slut kun undviger ringe luftmængder, og således, at overfladen er jævn. Ved anvendelse af stavvibratører skal nedstikningen ske under ca. 45° og udtrækningen foregå så langsomt, at der ikke bliver noget hul efter vibratoren. Der må på arbejdspladsen findes tilstrækkelig reserve af vibrationsmateriel, således at afbrydelse af vibreringen kan undgås.

Med hensyn til det materiel, der bør anvendes i hvert enkelt tilfælde, henvises til afsnit A IV.

## c. Formmateriellet

Der er principielt ingen forskel i forarbejdet ved almindelig støbning og ved støbning af vibreret beton. Dog er der visse forhold, man bør have sin opmærksomhed henvendt på, som nævnt nedenfor.

### *Formens styrke.*

Ved vibreringen gøres selv meget tør beton plastisk i et område omkring vibratoren. Områdets udstrækning er afhængig af betonens konsistens, støbehastigheden og vibreringsmåden, og man kan derfor vente, i en vis udstrækning, at komme op på et betontryk på formene svarende til trykket fra en vædske med vægtfylde 2,4. Den, der projekterer formene og forestår deres udførelse, bør derfor være påpasselig ved udførelsen af formarbejdet, navnlig hvor det drejer sig om søjler og tynde vægge.

Forskallingsbræddernes tykkelse er praktisk taget altid den samme, hvad enten der anvendes vibrering af betonen eller ej.

For søjlernes vedkommende bør rammerne anbringes tættere, og man må være sikker på, dels at disse er pålideligt udført, dels at hver enkelt rammes omhyggelige tilspænding kontrolleres umiddelbart før støbningsbegyndelse. Medens støbningen og vibreringen foregår, og navnlig hvis støbningen foregår hurtigt, er det tilrådeligt med hyppige mellemrum at lade en pålidelig mand efterse, at ingen eftergiven af rammerne har fundet eller er ved at finde sted.

Ved tynde vægge er det tilrådeligt at bruge formclamps og ikke de sædvanlige trådbindere. Dels kan der ved vibreringen opstå det før nævnte større sidetryk fra betonen, og dels kan det ikke undgås, at vibrationerne både gennem den tynde betonmasse og ved vibratorens direkte berøring med formvægge og bindingerne selv, kommer til at påvirke disse. Da man ikke har nogen effektiv kontrol med, hvor hårdt trådbindingerne tilspændes ved snoningen, risikerer man derfor let, at en enkelt eller flere springer, hvilket kan forårsage en successiv sprængning af de tilstødende bindinger med de deraf følgende ubehagelige konsekvenser. Enten må man derfor forøge antallet af bindinger betydeligt — op til 50 % — eller også må man som nævnt anvende formclamps. Selv om man kan få bindingerne til at holde, er der en anden ulempe ved disse. Ved formens vibrationer skærer bindingerne sig ind i træet, hvorved vægtykkelsen ændres, således at der fremkommer lokale fortykkelser og skævheder i væggene.

Ved brugen af formclamps er det dog på samme måde som ved søjler tilrådeligt, at der under støbningen af tynde vægge føres en

omhyggelig kontrol med, at der ikke sker skridninger i de anvendte formclamps.

Ved bjælkeforme af de almindeligst forekommende dimensioner spiller betontrykket ikke den rolle som ved søjler og vægge, men ved anvendelsen af kraftige vibratoren kan der overføres stærke vibrationer til formens sider, hvorfor det må påses, at afstivninger, låsebrædder o. l. er omhyggeligt udført.

Ved vibrering af etageadskillelser er det med henblik på forskallingens styrke ikke nødvendigt at træffe særlige forholdsregler, hvad enten vibreringen sker ved hjælp af stavvibratoren eller overfladevibratoren.

### *Formenes tæthed.*

Ved anvendelse af vibrering bør man være opmærksom på, at formenes tæthed har større betydning end ved almindelig udstøbning. Såfremt formbrædderne ikke er tæt samlet under sømningen, eller hvis de er svundet ved for stærk udtørring, kan der under vibreringen forsvinde betydelige mørtelmængder gennem utætheder. Et sådant mørteltab kan give anledning til dannelse af skæmmende striber i betonen og eventuelt til dannelsen af stenreder. Hvor der anvendes formvibratoren skal formen være særlig tæt.

Denne ulempe kan naturligvis imødegås ved anvendelsen af pløjede formbrædder, som man dog på grund af de dermed forbundne store merudgifter kun anvender i ringe grad. En almindelig godt udført forskalling vil praktisk taget altid give et tilfredsstillende resultat, når man har øjnene åbne for formenes tæthed.

### *Afformning.*

På grund af det sædvanligvis lave v/c tal, som anvendes ved vel udført vibreret beton, opnås afformningsstyrkerne på noget kortere tid end ved almindelig betonstøbning. Dette kan naturligvis få indflydelse på arbejdstakten ved et arbejdes udførelse, ikke mindst i de kolde årstider.

Det synes, efter erfaringer her hjemme fra, som om vibreret beton binder mere til ru forskalling end almindelig håndstampet beton, således at afformningen derved besværliggøres noget.

## **d. Armeringen (projektering, anbringelse, fastholden)**

Den projekterende ingeniør må straks ved projekterings begyndelse gøre sig klart, om der ved arbejdets udførelse skal anvendes vibre- ring. Hvis dette er tilfældet, må der anvendes særlig omhu ved opteg- ning af jernføringen og herved tages hensyn til, at der altid må være mulighed for indføring af vibratoren. Dette gælder særlig i krydsnings- punkter over søjler o. l.

Det er vanskeligt at holde armeringen i den rette stilling under støbningen; der kan derfor ikke anvendes for megen omhu herpå. Der synes dog ofte alvorligt her imod, således at armeringen ligger for tæt ved eller endog helt fremme i betonens overflade og udsættes for svære rustangreb. Er armeringen derimod holdt på rette plads under støb- ningen, opnår man ved anvendelse af vibre- ring en omstøbning af armeringen, der giver en langt mere effektiv beskyttelse mod rustfaren end ved almindelig støbning.

Det kan være vanskeligt at holde armeringen i den rette afstand fra lodrette formdele ved hjælp af de almindeligt anvendte afstands- klodser, som let ryster løs ved vibre- ringen. Man kan i stedet ved en række særlige bindinger sørge for at holde armeringen på plads, men dette er mere besværligt og derfor også dyrere. Man kan f. eks. sikre sig, at armeringen får den ønskede betondækning, ved at stikke en række rundjern (rør) af en diameter svarende til tykkelsen af beton- dækningen ned mellem formsiderne og den yderst liggende armering, medens støbningen og vibre- ringen foregår, idet rundjernsstængerne først trækkes op, efterhånden som støbningen er vel fremskredet i højden.

### *Plader*

kræver ikke særlige hensyn ved projekteringen i retning af armerin- gens placering m. v., men jernene bør fæstes bedre end sædvanligt til hinanden ved bindingerne. Mindst hvertandet krydsningspunkt skal bin- des, fordi bindingerne kan have tilbøjelighed til at springe, når jernet sættes i kraftig svingning ved berøring med vibratoren.

Armering i oversiden bør mest muligt undgås, og hvor den anvendes, skal maskevidden være størst mulig.

### *Bjælker.*

Af hensyn til vibre- ringens rette udførelse, bør armeringen tilrette- lægges, så den er mest muligt åben opadtil. Hovedparten af længde- armeringen i undersiden bør afbrydes ved søjlerne, således at der kun føres 2 hjørnejern igennem søjlen.

Forskydningsarmeringen bør såvidt muligt bestå af skråjern. Der bliver bedst plads for vibratorens nedsænkning i både bjælke og søjle, hvis skråjernene opbøjes således, at de yderst i bjælken placerede jern opbøjes længst fra søjlen, de midterste nærmest søjlen.

Hvor forskydningskræfterne er så store, at de ikke kan optages af skråjern alene, bør bøjlerne placeres på en sådan måde, at de giver plads for nedstikning af vibratoren; dette kan ske ved, at de enten placeres i grupper med en afstand af mindst 25 cm, eller ved, at der anvendes så svære jern til bøjlerne, at bøjleafstanden bliver passende. I særlig vanskelige tilfælde må anvendes opadtil åbne bøjler.

I almindelighed må den projekterende ingeniør nøje planlægge jern- forløbet i den enkelte bjælke. Under vibre- ringen bør jernene berøres mindst muligt med vibratoren.

### *Søjlerne.*

Hvor det kan lade sig gøre, bør udstøbning og vibre- ring af søjlerne foretages, inden bjælkearmeringen udlægges. Ved bestemmelse af bøjler- nes form bør man tage hensyn til, at en vibrator skal kunne passere ned igennem dem. Den frie åbning ned igennem søjlen bør være mindst 15 cm.

Bøjlefastgørelsen bør foretages med særlig omhu for at hindre, at bøjlerne glider ned under vibre- ringen. Eventuelt bør bøjlernes indbyr- des afstand sikres ved bindetråde imellem dem.

### *Vægge.*

Om vægges tværarmering gælder det samme som omtalt ved søjle- armeringen. Ofte kan der kun være tale om formvibre- ring af vægge.

### *Andre konstruktioner*

behandles ud fra lignende betragtninger.

## e. Tilsyn med arbejdets udførelse

Hvor man tilsigter at give betonen højere kvalitet end nu sædvanligt opnået, må man indstille sig på, at dette også kræver en mere gennemført kontrol med arbejdets udførelse, end vi er vant til, og det vil være heldigt, at der på pladsen er een bestemt person, der er ansvarlig for betonarbejdets rigtige udførelse.

Ved fremstilling af vibreret beton bør der i det væsentlige lægges vægt på:

- 1) at kontrollere, at forme, stilladser og armering er i overensstemmelse med tegninger og beskrivelse samt opfylder de ovenfor stillede krav til armeringens placering.
- 2) at støbematerialerne er tilfredsstillende, såvel med hensyn til kvalitet som kornkurver.
  - a) Kvaliteten kontrolleres ved undersøgelse for frostfarlige sten, humus, lerindhold og andre urenheder.
  - b) Støbematerialernes kornkurver skal kontrolleres i passende omfang, således at betonsammensætningen opfylder de stillede betingelser og ikke hviler på løse forudsætninger.
- 3) At udførelsen *til stadighed* overvåges.
 

Det påses,

  - a) at materialesammensætningen overholdes,
  - b) at støbematerialerne kontrolleres med passende mellemrum,
  - c) at prøver udtages,
  - d) at udstøbningen foretages korrekt,
  - e) at vibreringen udføres rigtigt, og
  - f) at efterbehandlingen overholdes.

Til gennemførelse af kontrollen må man have et passende arbejdsrum med udstyr.

Vedrørende selve kontrollens gennemførelse bemærkes:

Da beton, der skal vibreres, i reglen vil være sammensat med mindre mørteloverskud end beton, der skal håndstemples, må der vises særlig agtpågivenhed for at imødegå virkningen af udmålingsfejl og uundgåelige småændringer i grusets kvalitet og fugtighedsgrad.

Det kan særlig anbefales at kontrollere folkenes skøn over vand-

indholdet i materialerne ved jævnlige undersøgelser af fugtighedsindholdet i sandet og at benytte de fundne resultater til korrektion af vandmængden samt, hvis der anvendes rummål, til at korrigere de vægtmængder, disse indeholder. Jævnfør punkt B b I.

På udstøbningsstedet må det først og fremmest kontrolleres, at

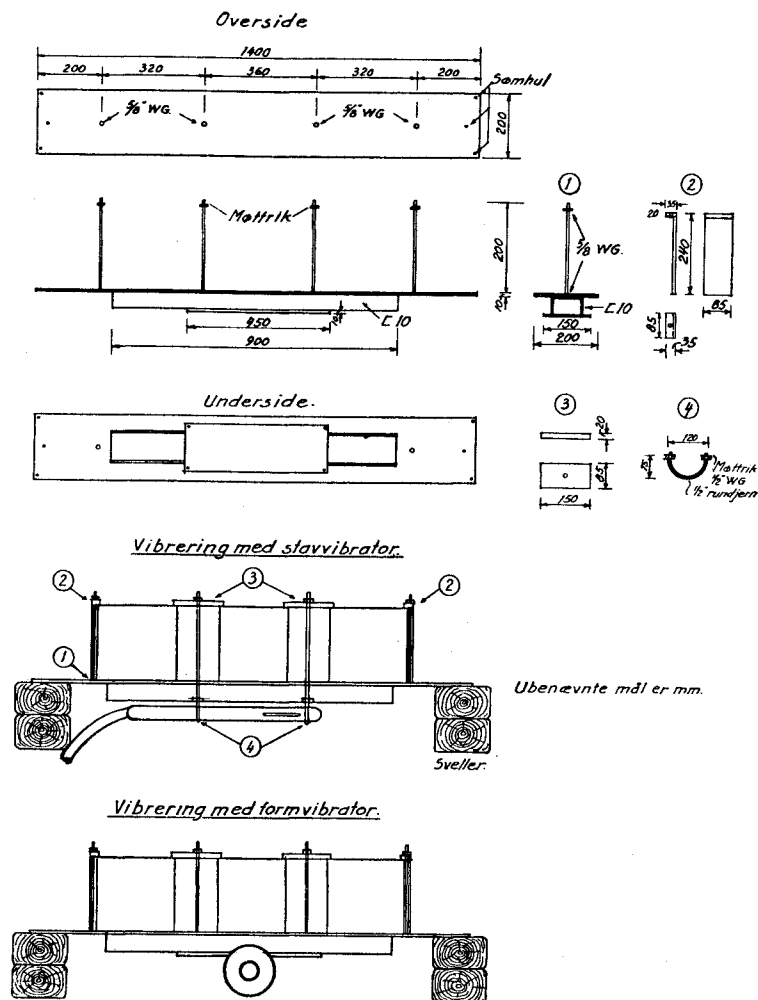


Fig. 4.

betonen bliver gennemvibreret. Tager vibreringen urimelig lang tid, må vandmængden og — dersom man er ved grænsen for v/c — cementmængden forøges. I sidstnævnte tilfælde bør foretages en omproportionering.

Den færdigvibrerede beton bør iagttages. Løse sten på overfladen tyder på for lidt mørtel og derfor for lidt sand i blandingen, medens omvendt et tykt lag mørtel på overfladen kan tyde på for meget sand. Vand på overfladen tyder på for få fine materialer i blandingen eller for meget vand. Hvis overfladen er tør og porøs, er cement + vandmængde for lille, og ligger der et tydeligt lag cementslam, indeholder blandingen for meget vand + cement.

Efterbehandlingen må som for anden beton ske omhyggeligt. Der er imidlertid grund til at gøre opmærksom på, at den ekstra ulejlighed, man har gjort sig for at få betonen god ved vibration, vil være til ringe nytte, dersom man ikke ved omhyggelig efterbehandling sørger for at give betonen de bedst mulige hærdningsbetingelser, blandt andet ved at holde den fugtig mindst en uge og helst 10—12 dage.

Støbningen af prøvelegemer kræver særlig omhu.

Ifølge DS, stk. A. 1., skal bearbejdningen af betonen i prøvelegemerne svare til bearbejdningen af betonen i bygværket. For at komme kravet så nær som muligt, anbefaler udvalget anvendelsen af en anordning, som er vist på foranstående figur. Det er en jernplade 1400 × 200 × 10 mm, beregnet til at spigres fast på et par bukke eller svellestabler. Foroven er der spændeanordninger til forme (3 stk. 20 cm terningsforme), og under pladen spændeanordninger, der muliggør anbringelse af en stavvibrator eller formvibrator. Metoden giver en vis ensartethed i undersøgelserne og mulighed for anvendelse af samme materiel som i bygværket, og anbefales derfor som en foreløbig løsning.

## C. BETON OG BETONSAMMENSÆTNING

### I. Materialer

Alle materialer, der egner sig til almindelig betonstøbning, kan også anvendes til vibreret beton. Der synes ikke at være fare for separering, selv om materialerne har forskellig vægtfylde, når blandingen blot udføres med en konsistens, der egner sig for vibration. Selv en klinkerbeton, indeholdende almindeligt sand og klinker, har vist sig at kunne vibreres med godt resultat.

Der kan derfor med hensyn til materialerne henvises til de gældende normer (DS 401 og DS 411).

### II. Valg af konsistens

*Almindelige bemærkninger.*

I DS 411, side 17, anbefales følgende betegnelser for betonens konsistens:

Jordfugtig (jf.)	sætmål	0—3	cm
stiv plastisk (stpl.)		3—6	-
plastisk (pl.)		6—10	-
tykflydende (tkfl.)		10—15	-
flydende (fl.)		15	-

Til vibration bør, alt efter betonens anvendelse, benyttes jordfugtig beton, stiv plastisk eller plastisk med sætmål indtil 8 cm. Der er imidlertid her brug for en yderligere inddeling af disse områder, hvilket er foretaget i skemaet side 28. Da måling ved sætmål ikke kan benyttes med tilstrækkelig nøjagtighed hertil, er det nødvendigt at benytte andre

metoder. I nedenstående konsistensskala er i parentes efter betegnelsen „jordfugtig“ givet en supplerende oplysning om konsistensen, der er anført både vebe-grader og sætmål, og betonens beskaffenhed er nærmere beskrevet.

*Konsistensskala for beton til vibrering.*

Anvendelse	Konsistens	Vebe-grader sek.	Sætmål cm.	Beskaffenhed
Ved fabrikation af visse betonvarer, ikke på byggepladser	jordfugtig (løs, jord-agtig)	40—20	0	løs, jordagtig — stenene i betonen tydelig fremtrædende, men klæbrige, uden at massen kan hænge sammen. Kan ikke glattes med skovl.
Ved overfladevibrering af flyveplads-, vej- og gulvbelægninger samt til stavvibrering af grove konstruktionsdele uden eller med ringe armering	jordfugtig (meget stiv)	20—10	0—1	betonen er som en meget stiv grød; ved tipning danner den en stiv top, og ved lang transport ryster og gynger den sammen til en masse med jævn, men ikke vandret overflade. Vanskelig at glatte med skovl.
Ved overfladevibrering af forholdsvis tykke betonbelægninger, ved pervibrering af pæle, vægge m.v. med normal armering	jordfugtig (stiv) til stiv plastisk	10—4	1—5	betonen er som en stiv grød; ved tipning danner den en top, og ved transport ryster og gynger den sammen til en masse med vandret overflade. Lader sig ret let glatte med skovl.
Ved vibrering af særlig trange og stærkt armerede konstruktioner	stiv plastisk til plastisk	4—2	5—8	betonen lader sig let forme i hånden til en sammenhængende bolle. Glattes let med skovl.

Der bør ved fastsættelsen af konsistenskrav nøje tages hensyn til udstøbningsmodstanden, herunder for overflade- og formvibrering til konstruktionsdelens tykkelse, samt til vibrationsmateriellet. Fastsættelsen af konsistenskrav skal så vidt muligt ske i direkte forbindelse med arbejdet på støbestedet. Der bør derfor ikke i udbudsbetingelser og lignende kræves en bestemt konsistens, og det må erindres, at en stiv konsistens af en beton ikke i sig selv er udtryk for, at betonens kvalitet er god. Ved krav om meget stive blandinger må man forudsætte særlig omhu hos folkene og stor effektivitet af materiellet. Svigter disse forudsætninger kan støbningen mislykkes i et omfang, der betyder mere for det endelige resultat end den nedsættelse af betonstyrken, man ville få ved at arbejde med en lidt blødere blanding.

Dersom arbejdspladsen ikke råder over apparater til bestemmelse af betonens konsistens, er man henvist til at skønne over denne ved iagttagelse af de under „beskaffenhed“ i skemaet beskrevne egenskaber.

### III. Betonsammensætning

Den kraftige bearbejdning muliggør anvendelsen af grus med lavtliggende kornkurve. I almindelighed kan grusets sandindhold være 5—8 % mindre end for beton til almindelig udstøbning. Da vibreringen endvidere, i hvert fald i uarmerede konstruktioner, ofte kan muliggøre anvendelsen af større maksimal stenstørrelse, kan sigtekurven i disse tilfælde yderligere sænkes.

Den tørre konsistens og den lavtliggende kornkurve medfører, at den nødvendige vandmængde pr. m<sup>3</sup> beton kan formindskes med indtil 30 %.

Beton tilsat luftindblandingsmidler synes ifølge udenlandske undersøgelser at kunne vibreres, uden at der sker væsentlige ændringer i de kvalitetsegenskaber, som skyldes luftindblandingen.

## INDHOLD

	Side
Forord .....	3
Indledning .....	7
A. Materiellet .....	9
a. Vibratorer .....	9
I. Vibratorer .....	9
II. Vibratorernes frekvens, amplitude og acceleration .....	10
III. Vibratorernes virkemåde .....	11
IV. Valg af vibratortype .....	12
b. Blandemaskiner .....	13
I. Fritfaldsblandere .....	13
II. Tvangsblandere .....	14
III. Valg og brug af blandemaskiner .....	14
B. Arbejdspladsen og dens indretning .....	17
a. Indretning til modtagelse af sand- og stenmaterialer .....	17
b. Betonen .....	18
I. Direktiver til fremstilling af beton til vibrering .....	18
II. Transport af betonen .....	19
III. Betonens behandling i støbeformen .....	19
c. Formmateriellet .....	19
d. Armeringen .....	22
e. Tilsyn med arbejdets udførelse .....	24
C. Beton og betonsammensætning .....	27
I. Materialer .....	27
II. Valg af konsistens .....	27
III. Betonsammensætning .....	29