



BETON

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 41 KØBENHAVN 1954

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(The Danish National Institute of Building Research)

Borgergade 20, København K. Telefon Palæ 9855

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse, udpeget af boligministeren, er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947, har til opgave »— at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udøve oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.«

PUBLIKATIONER

Fortegnelsen omfatter kun de ved denne publikations fremkomst endnu ikke udsolgte publikationer. En komplet fortegnelse kan fås ved henvendelse til Instituttet.

Rapporter

er de originale, komplette beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af Instituttet.

- Nr. 1: *Økonomisk varmeisolering*, Poul Becher. 1949. 61 s. A₄. Kr. 7,—. 2. udgave 1950.
Nr. 4: *Testing of 11 Danish Concrete Mixers*, Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum. 1951. 236 s. A₄. Kr. 25,—.
Nr. 7: *Dæk og huse*, Niels M. Plum. 1. del: Tekst, 178 s. 2. del: Figurer, 46 s. 1952. A₄. Kr. 20,—.
Nr. 10: *Trommelyd, undersøgelse over støj fra gulve*, F. Larris. 1952. 28 s. A₅. Kr. 2,50.
Nr. 11: *Mørteltilsetningsstoffer til brug ved vinterbyggeri*, Henry Dührkop. 1953. 40 s. A₄. Kr. 3,—.
Nr. 12: *Luftlyd i beboelsesejendomme*, Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 s. A₄. Kr. 7,—.

Studier

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger o. lign.

- Nr. 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions*, Niels M. Plum. 1950. 96 s. A₄. Kr. 15,—.
Nr. 7: *Betonteknologiske studier i U. S. A.*, Poul Nerenst. 1952. 88 s. A₅. Udenrigsministeriets serie: Teknisk bistand under Marshallplanen. Høst & Søn. Kr. 7,—.
Nr. 8: *Gode og dårlige løsninger af lydtekniske problemer inden for byggeriet*, Fritz Ingerslev. 1952. 14 s. A₄. Kr. 3,—.

Sertryk af
BETON og JERNBETON
1954, Nr. 2.

DK 666.972.5:693.542

SANDFRI BETON

POUL NERENST og BIRGER WARRIS
CIVILINGENIØRER

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
20 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 41

I KOMMISSION HOS

TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN 1954

I betragtning af den betydelige interesse for utraditionelle byggemetoder har Statens Byggeforskningsinstitut udarbejdet en oversigt over den væsentligste udenlandske litteratur om sandfri beton. Da de hjemlige erfaringer er meget sparsomme, offentliggøres det indsamlede materiale som en tidskriftsartikel, og vi håber at blive holdt underrettet om de erfaringer, der gøres her i landet, med henblik på en eventuel senere udsendelse af en anvisning i brug af sandfri beton.

Statens Byggeforskningsinstitut.

Januar 1954.

Niels Munk Plum.

SANDFRI BETON

Af

Poul Nerenst og Birger Warris,

civilingeniører,

Statens Byggeforskningsinstitut.

INDLEDNING

666.972.5:693.542

Sandfri beton indeholder intet sand (eller andet fint materiale), men sammensættes af cement, vand og en enkelt fraktion sten. Hulrumsprocenten er derfor stor, og betonen får et grovkornet, stenet udseende, der ligner klinkerbeton.

Ved genopbygningen i Tyskland anvendes dette byggemateriale i stor udstrækning. Tilslaget fremstilles dér ved knusning af teglsten fra ruinhobene, men også i andre lande, hvor man er henvist til at benytte de sædvanlige, naturlige aflejringer af grus, har sandfri beton været benyttet i de senere år. Dette gælder blandt andet Storbritannien, Frankrig, U.S.A. og Australien.

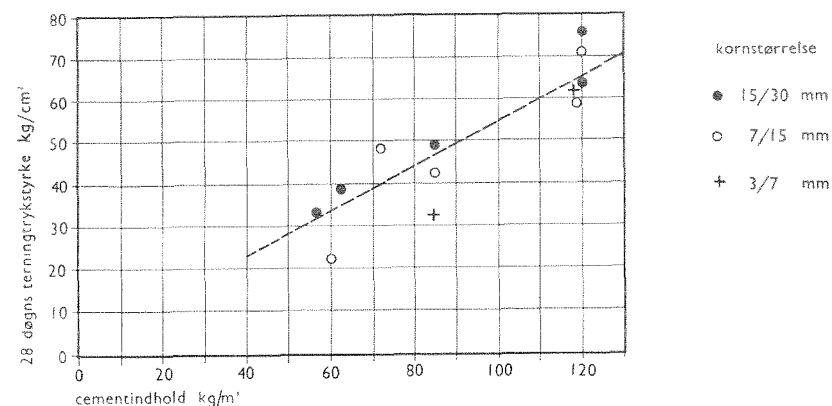


FIG. 1. 28 døgns terningtrykstyrker for sandfri beton ifølge Graf og Walz (51 G 5).
28 days cube strength of no-fines concrete according to GRAF and WALZ.

Motiveringen for at anvende sandfri beton må – når man ser bort fra de specielle tyske forhold – fortrinsvis søges i det udbredte ønske om at spare faglært arbejdskraft. Vedrørende økonomien angiver britiske kilder, at man forventer, at byggeomkostningerne kan reduceres betragteligt, men forudsætningerne herfor er bl. a., at entreprisen skal være stor, at man i betydelig udstrækning anvender mekaniske hjælpemidler på arbejdspladsen, og at arbejdet iøvrigt tilrettelægges omhyggeligt. Besparelserne skal først og fremmest opnås på forarbejdet, idet formene kan være af let konstruktion og anvendes hyppigt, da afformningen kan ske hurtigt efter udstøbningen.

Sandfri beton har større trykstyrke end almindeligt murværk, men varmegennemgangstallet er ret stort, og væggene må derfor isoleres omhyggeligt – en ting, man ser stort på i nogle af de lande, hvor materialet er mest udbredt.

I det følgende omtales først sandfri betons egenskaber. Dernæst behandles projekteringen af konstruktioner af sandfri beton samt de særlige forholdsregler, der må træffes på arbejdspladsen. Til slut gøres nogle betragtninger om økonomien af sandfri beton.

Bemærkningerne omfatter først og fremmest sandfri beton støbt med morænegrus, idet vi har skønnet, at man herhjemme fortrinsvis vil anvende dette tilslagsmateriale.

Omtalen er næsten udelukkende baseret på et studium af udenlandsk

faglitteratur, hvilket bedes erindret ved læsningen. En oversigt over den anvendte litteratur er givet sidst i artiklen, og såfremt man står overfor at skulle anvende sandfri beton, må det anbefales at anskaffe i det mindste de med * mærkede artikler.

EGENSKABER

Styrke

Sandfri beton har mindre tryk- og trækstyrke end almindelig beton med samme cementindhold.

Figur 1 angiver resultaterne af forsøg med sandfri beton udført af Graf og Walz (51 G 5). Tilslagsmaterialet er morænegrus¹⁾, og 28-døgns terningtrykstyrken er sat i afhængighed af cementindholdet. I det foreliggende tilfælde har 28 døgns styrken i kg/cm² været lidt større end halvdelen af cementindholdet i kg/m³. Der er intet oplyst om vandtilsætningen.

Der har – såvidt det er forfatterne bekendt – herhjemme kun været udført en enkelt forsøgsrække vedrørende styrkerne af sandfri beton, og 28 døgns terningtrykstyrkerne herfra²⁾ er afbildet i et diagram svarende til fig. 1 (se fig. 2).

Forsøgene omfatter 5 forskellige typer tilslagsmateriale (perlesten, ærtesten, nøddesten, skærver 5/10 mm og skærver 10/20 mm) samt 3 forskellige cementindhold (50, 100 og 150 kg/m³). For hver af disse 15 forskellige betonsammensætninger er der udstøbt 4 terninger, 2 med en vandtilsætning svarende til en ret flydende konsistens af cementpastaen og 2 svarende til en lidt stivere konsistens. Punkterne i figuren er derfor middelværdier af 2 resultater, svarende til den vandtilsætning, der er angivet ved siden af punkterne, men kurverne er tegnet gennem middelværdierne af resultater opnået med begge vandtilsætninger (middeltal af 4 forsøg). På figuren er iøvrigt indtegnet linien svarende til, at styrken i kg/cm² er halvdelen af cementindholdet i kg/m³.

Hos Graf og Walz angives, at styrken vokser, når cementpastaens konsistens ændres fra halv-plastisk til plastisk-flydende, idet stenene derved får et mere ensartet overtræk af cementpasta. På den anden side må vandtilsætningen ikke forøges så meget, at cementpastaen ikke fordeler sig som et ensartet overtræk, men løber sammen i hulrum. Stærkt forøget

¹⁾ Fraktionerne svarer til rundhullsigter.

²⁾ offentliggjort med velvillig tilladelse fra C. t. O.

vandtilsætning vil iøvrigt også bevirke for stor styrkenedgang i cementpastaen – og dermed også i betonen –, idet cementpastaens styrke på sædvanlig måde afhænger af vand-cementtallet. I forsøgene fig.2 har forøget vandmængde medført stigende styrke ved 14 af de 15 forskellige betonsammensætninger.

Fig. 2 viser, at anvendelse af perlesten som tilslagsmateriale giver de højeste styrker, men dette bør undersøges nærmere, da man ved de tyske forsøg (tabel 1) finder, at den mindste fraktion giver den mindste styrke.

Fig. 3 viser resultaterne af 28 døgns bøjningstrækprøverne fra C.t.O.'s forsøg. Prøvebjælkernes dimensioner var 10 cm × 15 cm × 70 cm. På figuren er indtegnet en linie svarende til, at bøjningstrækstyrken i kg/cm² er lig 1/20 af cementmængden i kg/m³. Det ses, at styrkerne for et cementindhold på 50 kg/m³ oftest er lig 0. Bortset herfra er styrkekurvernes forløb meget lig forløbet på figur 2, og trækstyrkerne ligger i nærheden af 10% af trykstyrkerne.

Trykstyrken af vægge er ikke lig terningtrykstyrken. For uarmerede betonvægge har *Glarbo* (51 G 7) fundet, at væggenes bæreevne er 0,6 × terningtrykstyrken. *Graf* og *Walz* finder den tilsvarende reduktionsfaktor for sandfri beton til 0,5 ved 2,50 m høje og 0,15–0,25 m tykke vægelementer.

Varmeisolation

Varmeledningstallene for vægge af sandfri beton med morænegrus som tilslagsmateriale er eksperimentelt bestemt af *Graf* og *Walz* (51 G 5) og gengives i tabel 1. Målingerne er udført på 50 cm × 50 cm × 26 cm elementer uden puds.

Tabel 1. Varmedningstal for sandfri beton med morænegrus som tilslagsmateriale.

Stenfraktion mm	Rumvægt af frisk beton kg/m ³	Cementindhold kg/m ³	Varmedningstal (u. puds) kcal/mh°C	Fugtighedsindh. vægt %	Tør rumvægt kg/m ³	28 døgns terningtrykstyrke kg/cm ²
15/30	1850	123	0,845	3,4	1740	75
7/15	1855	120	0,835	1,55	1700	71
3/7	1830	117	0,69	1,70	1740	61

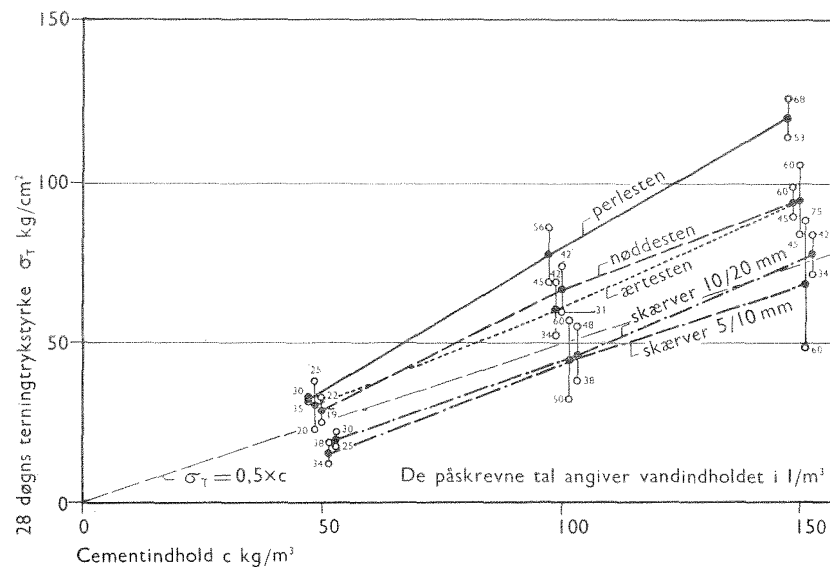


FIG. 2. 28 døgns terningtrykstyrker for sandfri beton ifølge danske forsøg. 28 days cube strength of no-fines concrete according to Danish experiments. (C.t.O.)

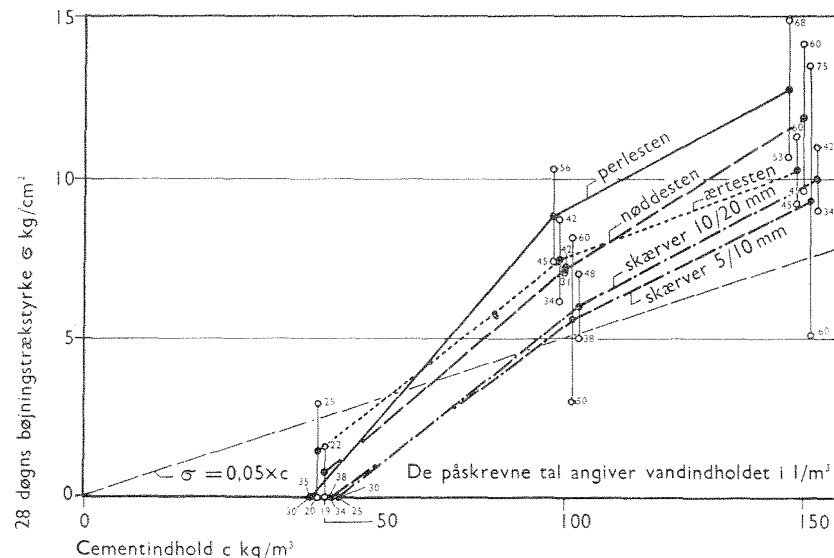


FIG. 3. 28 døgns bøjningstrækstyrker for sandfri beton ifølge danske forsøg. (C.t.O.) 28 days modulus of rupture of no-fines concrete according to Danish experiments. (C.t.O.)

Forsøgene viser, at betonen med den mindste stenfraktion – 3/7 mm – har det mindste varmeledningstal.

Den forsøgsrække, hvorfra tabel 1 er hentet, omfattede sandfri beton med forskellige tilslagsmaterialer, teglstensskærver, kalkstensskærver o. fl. a., og viste, at varmeledningstallet stiger med rumvægten.

Vandtæthed

På grund af de store hulrum er den kapillære stighøjde ringe.

Vandgennemtrængeligheden er betydelig, og ydermure af sandfri beton skal derfor pudses. I pudsede vægge har man målt vandindtrængningsdybden til $2 \times$ diameteren af den største stenstørrelse (50–61). Det er væsentligt, at det indtrængende vand og kondensvandet får mulighed for at slippe ud af muren igen, hvilket bl. a. kan ske ved at etablere en "grædelinie" (side 8) langs med fundamentet.

Svind

Udtørringssvindet er ca. halvdelen af almindelig betons svind og foregår hurtigere. I løbet af 10 dage er svindet for sandfri beton 30–50% af det totale svind mod 20–30% for normal beton (50–61). Graf og Walz (51 G 5) har målt svindet på vægelementer, 80 cm \times 75 cm \times 25 cm, og resultaterne herfra er angivet i tabel 2. For at eliminere temperaturrens indflydelse er målingerne først foretaget efter 9 måneders forløb, hvor temperaturen var den samme som ved udstøbningen, 22–23° C. Efter ca. 1 års forløb målt forkortelserne atter, men temperaturen var her 18,6°, og de fundne forkortelser er derfor for store.

Tabel 2. Svindforsøg med sandfri beton. Tilslagsmateriale: morænegrus

Stenfraktion mm	Cement kg/m ³	v/c	Rumvægt efter 28 døgn kg/m ³	Terningtryk- styrke efter 28 døgn kg/cm ²	Svind mm/m	
					efter 9 md.	efter 1 år
15/30	57	0,68	1780	33	0,18	0,22
7/15	72	0,80	1840	48	0,24	0,31

Tabellen viser, at den mindste fraktion, der kræver mest cementpasta giver beton med størst svind.

For grovbetonprismer lagret under de samme omstændigheder fandt man forkortelser på 0,4 mm/m. Lufthærdnede gasbetonsten angives (51 G 5) at svinde 1,3 mm/m, og klinkerbeton (50 M 7) ca. 20% mere i løbet af et år end almindelig beton. De i tabel 2 angivne værdier for sandfri betons svind er i sammenligning hermed små.

Huse, der havde været beboet og opvarmet en vinter, har kun vist ringe revnedannelse (51 G 5), fortrinsvis ved hjørnerne af dør- og vinduesåbninger. Revnedannelsen var mindre, jo stærkere tilslagsmaterialet var. Beboerne af husene havde som regel ikke bemærket revnerne.

PROJEKTERING

Anvendelsesområder

Sandfri beton bør fortrinsvis anvendes til konstruktioner med trykpåvirkninger. I Tyskland tillades materialet anvendt til vægge i 5-etagers huse. Fundamenter udføres af sædvanlig beton, og skal efter DIN 4232 føres 0,5 m over terræn.

I Australien udføres skorstene af sandfri beton, men dette kan næppe anbefales.

Tilladelige påvirkninger

Tilladelige trykpåvirkninger for bygningslementer er angivet i tabel 3.

Tabel 3. Tilladelige trykspændinger for sandfri beton med forskellig trykstyrke ifølge DIN 4232

28 døgns terningtryk- styrke kg/cm ²	Tilladelige trykspændinger kg/cm ²						Lejetryk
	Vægge (se anm.)	Piller – slankhedsforhold $\frac{h}{d}$					
		$\frac{h}{d} = 4$	$\frac{h}{d} = 5$	$\frac{h}{d} = 6$	$\frac{h}{d} = 8$	$\frac{h}{d} = 10$	
20	4	4	2	1	–	–	7
30	6	6	4	2	1	–	10
50	10	10	7	6	5	4	15
80	$d \leq 15$ cm	12	9	8	6	5	16
	$d > 15$ cm	20	20	15	13	10	8

Anm. Når slankhedsforholdet h/d – hvor h = højden og d = mindste tværsnitsdimension – i begge retninger er større end 4, regnes bygningsdelen som pille, ellers som væg. De angivne tilladelige trykspændinger for vægge gælder iøvrigt kun under forudsætning af, at tilstrækkelig stivhed opnås f. eks. ved afstivende tværvægge, der skal være mindst 12 cm tykke og støbes samtidig med den væg, der skal afstives.

Det må frarådes at anvende beton med terningstyrker under 30 kg/cm^2 (51 G 6).

Ud over tilladelige påvirkninger foreskriver DIN 4232 minimums-tykkelser. Ydervægge skal være mindst 30 cm, bærende skillevægge 20 cm tykke. Undtagelsesvis kan dog tillades bærende skillevægge, der er 12 cm tykke, men kun hvis kornstørrelserne er ret små (se side 10), og hvis formen tillader visuel kontrol med betonen under udstøbningen. Bærende vægge, der er 25 cm eller tyndere, må iøvrigt kun udføres, når væggene er tilstrækkeligt afstivet af tværvægge, og når etagehøjden er mindre end 3,50 m. Ved tilstrækkelig afstivning forstås, at tværvæggene er mindst 1,5 m lange og 12 cm tykke, og at afstanden mellem dem ikke overstiger 8 m, når den afstivede væg er 15 cm eller tykkere, ellers 6 m.

Murpillernes effektive bredde, d. v. s. totalbredden minus karm til vinduer og døre, må i hvert fald ikke være mindre end murtykkelsen (50-61). DIN 4232 kræver 75 cm bredde, når murtykkelsen er mindre end 30 cm – ellers 60 cm.

Armering

De australske retningslinier fraråder armerede konstruktioner i sandfri beton. Ligeledes frarådes kombinationer med almindelig beton, fordi svindet og svindhastigheden er forskellige. Vindues- og dørbjælker anbefales udført af profiljern.

DIN 4232 tillader vindues- og dørøverliggere af sandfri beton op til længder på 1,5 m, men jernene skal omgives af cementpasta, og dæklaget skal være mindst 5 cm.

Forholdsregler mod kulde, fugt og lyd

Varmeledningstallet er så stort (tabel 1), at det ved ydermure i beboelseshuse må anses for nødvendigt at benytte et isolationsmateriale. Det vil antagelig her være en fordel at anvende plader, der samtidig er indre form for betonen.

Som før nævnt skal ydermure af sandfri beton pudses for at hindre for stor indtrængning af vand. Ved foden af muren skal der ifølge (50-61) endvidere for at skaffe afløb for vandet i muren tilvejebringes en "grædelinie", f. eks. ved at standse pudslaget et par centimeter over fundamentet

eller affase toppen af dette. Der foreslås også "grædelinier" over vinduer og døre, men den angivne konstruktive løsning synes ikke tilfredsstillende for danske forhold.

Til trods for den ringe kapillarvirkning anbefaler (50-61) at indlægge det sædvanlige fugtisolierende lag over fundamentet.

De tyske retningslinier for isolation mod luftlyd kræver, at lejligheds-skillevægge af sandfri beton skal være mindst 25 cm tykke og pudses på begge sider.

Revner

For at formindske revnedannelsen på grund af svind specificerer de tyske normer indlægning af 2 armeringsjern pr. etage, men disse kan udelades, hvis dækkene er armeret i væggenes retning.

Væggene bør opdeles af dilatationsfuger med maksimalt 35 m's mellemrum.

Vægge af sandfri beton tåler dårligt sætninger, og funderingen bør udformes med henblik herpå.

Hvor sandfri beton tilsluttes andre materialer, som f. eks. murværk og jernbeton, er risikoen for revner særlig stor.

ARBEJDSPLADSEN

Materialer

Det er et af formålene med sandfri beton at fremstille et byggemateriale, der isolerer bedre mod kulde end almindelig beton, og dette opnås ved at formindske rumvægten og dermed styrken, der for almindelig beton som regel er rigelig til vægge i beboelseshuse. Anvendelse af flere stenfraktioner eller forurening af stenene med sand vil forøge rumvægten og bør derfor principielt undgås. DIN 4232 specificerer mængden af fint sand – kornstørrelserne mindre end $\varnothing 3 \text{ mm}$ – til maksimalt 5 vægtprocent. Graf og Walz anfører dog, at op til 12% tilsætning af en mindre fraktion ikke spiller nogen rolle for varmeledningstallet, idet rumvægtsforøgelsen opvejes af opdelingen af hulrummene.

Sand kan medføre lokale fugtgennemslag på væggene (49 M 38).

Største kornstørrelse afhænger af tykkelsen af elementerne, jfr. tabel 4.

Tabel 4. Største kornstørrelse for sandfri beton efter DIN 4232

Vægttykkelse cm	Maksimal kornstørrelse (rundhulssigte) mm
12-18	15
> 18-30	30
> 30	50

Wimpey (49 M 38) foreskriver, at mindst 95% af stenene skal passere $\frac{3}{4}$ " \sim 19 mm sigten, og højst 10% må passere $\frac{3}{8}$ " \sim 9 mm sigten, men man foretrækker, at alle sten passerer en 19 mm sigte, og at gennemfaldet på 9 mm sigten er mindre end 5%.

Kornformen bør være afrundet eller kubisk, ikke flad og aflang. Gruset skal være rent og bestå af hårde, sunde korn.

I Tyskland anvendes i stor udstrækning tilslagsmaterialer, som ikke tidligere har været anvendt til beton, f.eks. teglstensskærver, kalkstensskærver, bims og slagger.

Proportionering

Oplysninger om proportioneringsmetoder foreligger fra Australien (50-61), Tyskland (51 G 5) og England (49 M 38). Det synes herefter rimeligt at opdele proportioneringen i tre trin.

1. Bestemmelse af cementindholdet ud fra et erfaringsmæssigt blandingsforhold eller ud fra sammenhængen mellem 28 døgns terningstyrken og cementindholdet.
2. Fastsættelse af vandtilsætningen ved iagttagelse af betonens konsistens og udseende eller ud fra erfaringen.
3. Kontrol af betonens egenskaber ved støbning af prøvelegemer.

CEMENTINDHOLDET

I England og Australien anvendes i husbygning blandingsforholdet 1:8 efter rumfang. I Skotland har man med held anvendt blandingsforhold som 1:8 $\frac{1}{2}$ og 1:9.

I Tyskland fastsættes cementindholdet ud fra 28 døgns terningstyrken. Ønskes f.eks. en 28 døgns styrke på 50 kg/cm², finder man af

fig. 1, at cementindholdet skal være ca. 100 kg/m³, når der anvendes morænegrus som tilslagsmateriale.

Cementindholdet bør af hensyn til rumvægten ikke overstige 200 kg/m³ (DIN 4232).

VANDTILSÆTNINGEN

Ved sandfri beton er det, som nævnt side 3, meget vigtigt, at forholdet mellem vand og cement er rigtigt, endnu vigtigere end for normal beton. Vandtilsætningen skal netop være så stor, at cementpastaens flydeevne bliver tilstrækkelig til at sikre fuldstændigt pastaovertræk på alle gruskorn. Hvis blandingen bliver for våd, bliver betonen iøvrigt mere tilbøjelig til at hænge fast i formen.

Det korrekte vand/cementtal afhænger af tilslagsmaterialets art og vandmætningsgrad. Tørre murstensskærver vil f.eks. suge vand fra cementpastaen og derved formindske dens plasticitet.

Normalt vil man kunne bestemme den rigtige vandtilsætning ved at iagttage betonens konsistens, farve og udseende, men det tilrådes under arbejdet at føre kontrol dels med grusets fugtighed, dels med den vandmængde, der afgives fra blanderens vandbeholder.

STØBNING AF PRØVELEGEMER

For prøveterninger gælder de sædvanlige regler. Trykfladerne skal afrettes med cementmørtel (51 G 6).

Prøvestøbningerne skal ikke blot tjene til at undgå for lave styrker. For høje styrker indicerer indblanding af sand, der som før nævnt forøger varmeledningstallet.

Blanding og udstøbning

I sammenligning med almindelig beton er sandfri beton vanskeligere at blande, men kræver mindre bearbejdning.

Dastenene kunovertrækkes med et tyndt lag cementpasta, kan man regne, at 1 m³ sten vil give 1 m³ sandfri beton. For at opnå nøjagtig tilsætning af cement bør blanderen helst være så stor, at man kan anvende en hel pose cement pr. blanding; en 250 l blander vil som regel være tilstrækkelig stor. En tvangsblander bør foretrækkes, men en god fritfaldsblander kan dog også anvendes. Blanderens vandbeholder må ikke overfyldes, da dette er den vigtigste årsag til stenreder uden overtræk af cementpasta.

Hvis alt vandet tilsættes på en gang, producerer mange fritfaldsblandere en beton, som er mere våd i den ene ende af blanderen end i den anden, og ved blanding i en fritfaldsblander er det derfor praktisk at tilsætte en del af vandet, før elevatorspanden hejses op, og resten, mens spanden udtømmes i blandemaskinen. Blandetiden skal være mindst $1\frac{1}{2}$ minut, forudsat at blanderen foretager mindst 17 omdr./min.

Betonen bør udstøbes inden 20 minutter efter blandingen.

Sandfri beton komprimeres hovedsagelig ved sin egen vægt og skal ikke stampes eller vibreres. Man bør dog støde i den for at sikre, at formene bliver fyldt helt ud, da der ellers let dannes stenbroer. Hulrum under vinduesrammer og lignende udfyldes kun vanskeligt, og man må derfor vente med at anbringe vinduesrammen, evt. blot dennes bund, indtil betonen har nået underkanten af vinduet.

Udstøbning af vægge skal foregå i vandrette lag – ifølge DIN 4232 højst 30 cm tykke – der som en spiral følger bygningens ydervægge, og støbningen af ydervæggene skal helst foregå i en samlet støbeperiode uden langvarige afbrydelser. Betonene bør ikke udtømmes et enkelt sted i formen, så der dannes en skråning, idet man derved risikerer et diagonalt forskydningsbrud. Sandfri beton har ikke den samme tilbøjelighed til afblanding som normal beton, og man kan derfor anvende større faldhøjder ved udstøbningen.

Støbeskel

Man bør tilstræbe så få støbeskel som muligt, og lodrette eller skrånede støbeskel bør helt undgås. Ved vandrette støbeskel skal overfladen af den gamle beton i støbeskellene renses med en stålborste, hvorefter man med en blød kost påfører stenene cementpasta af konsistens som meget tyk fløde, uden at hulrummene i den gamle beton fyldes. Umiddelbart derefter udstøbes den nye beton.

Lagring

Alle overflader bør helst holdes fugtige i tre døgn. Dette er særlig vigtigt for beton, hvor man anvender trådnat som forskalling, og tyske erfaringer viser, at manglende vådlagring bevirker stor styrkenedgang for sandfri beton, hvor gruset har ringe porøsitet og ikke indeholder vand, der senere kan opsuges i kitmassen under hærdningsprocessen. Sandfri beton fremstillet af vandmættede murstensskærver påvirkes således meget

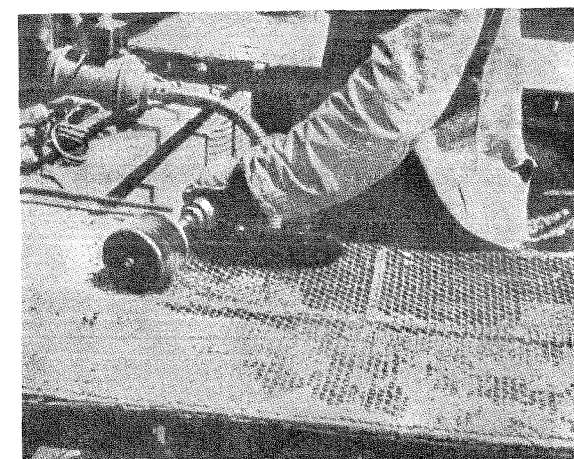


FIG. 4. Rensning af form til sandfri beton efter Schoenrock (51 S 15).

Cleaning of metal formwork according to SCHOENROCK.

lidt af lagringsmetoden, men styrken af beton med uporøse sten lagret i det fri udgjorde kun ca. 50% af den styrke, der opnås ved en omhyggelig vådlagring (51 G 5).

Forme

Sandfri betons evne til at konkurrere med andre byggematerialer afhænger først og fremmest af, om formene udføres rigtigt.

Formtrykket er væsentlig mindre end almindelig betons, og der kan derfor anvendes lette forme med få afstivninger. Undertiden benyttes strækmetal eller ståltrådsnet på rammer, hvorved betonen i formen kan iagttages under udstøbningen. Det angives, at strækmetal kan bruges ca. 25 gange, trærammerne op til 100 gange. Wimpey anbefaler at smøre strækmetalformen med mineralsk formolie for hver anden anvendelse. Nogle typer formolie giver dog pletter på den færdige væg.

Rensning af sådanne forme sker let ved en stålborste, som vist på figur 4, der er lånt fra (51 S 15).

I Australien har man udviklet rationelle formtyper for sandfri beton, blandt andet en forskalling sammensat af sektioner med bredderne 6", 9", 12" og 18" og med samme højde som een etage. Sektionerne samles med bolte med vingemøtrikker, anbragt i vangerne. I hjørnerne og langs underkant og overside anbringes bomme. Inder- og yderform holdes sammen af bindetråd (evt. formclamps). Beklædningen består af metalvæv (fig. 5).

I Tyskland findes en lang række patentforskallinger, men vedrørende disse henvises til (51 S 15), der indeholder bl.a. angivelse af den nødvendige tid til opstilling af forskalling samt kalkulationer af anlægs- og driftsomkostninger.

Under normale omstændigheder kan afformningen ifølge (50-61) foretages dagen efter udstøbningen, og man kan derfor ved store arbejder nøjes med et færre antal forme end ved almindelig beton. I henhold til DIN 4232 for letbetonvægge til beboelsesrum må sandfri beton af murstensskærver dog tidligst afformes 4 dage efter støbningen. Afformningen kan foretages tidligere, hvis man ved prøvelegemer har eftervist, at betonstyrken er 3 gange så stor som den virkelig optrædende trykspænding, mindst 8 kg/cm^2 .

Afformning af vinduesoverligger etc. bør ikke ske før efter 3 dages forløb.

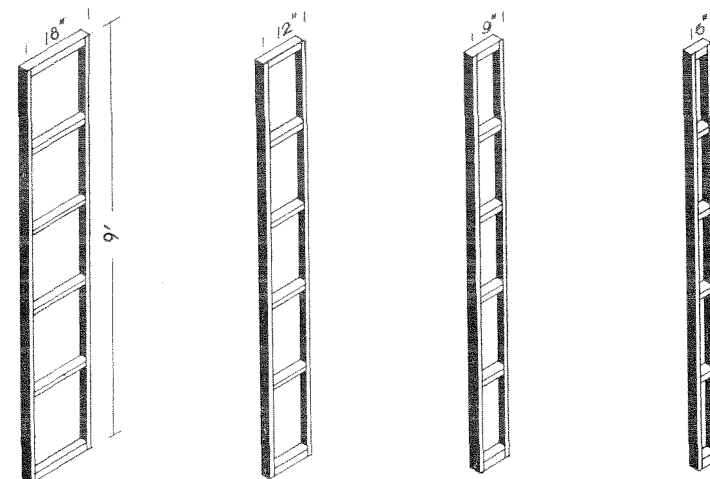
Ved lave temperaturer forsinkes hærdningsprocessen også for sandfri beton, og afformningsfristerne må forlænges (49 M 38). Sandfri beton kan tage varig skade af blæst, når lufttemperaturen er under frysepunktet, med mindre betonen er beskyttet af presenninger eller måtter. Frosen beton forveksles let med hærdnet beton. Iøvrigt henvises til de almindelige regler for betonstøbning om vinteren (53 N 2).

Betonen bør ikke belastes før 3 dage efter udstøbningen, men i praksis er væggene ofte blevet påvirket med lettere belastning umiddelbart efter afformningen, uden at man har observeret ødelæggende virkninger (50-61).

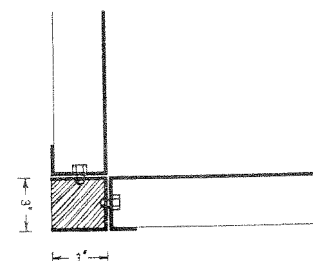
Det er meget vanskeligt at fastgøre søm, bæringer og lignende i sandfri beton, efter at hærdningen er begyndt, og alle sømlister, sømklodser og forankringer skal derfor anbringes inden udstøbningen. Sømlisterne kan udformes med svalchaleprofil og fastholdes i betonen af 3" eller 4" søm. Det er ligeledes nødvendigt at afsætte alle gennemføringshuller, udspæringer etc., og alt installationsarbejde bør derfor være planlagt, før støbningen finder sted.

Overfladebehandling

Wimpey anvender et pudslag i blandingsforholdet 1 del cement til 1 del kalk til 6 dele sand, der afsluttes med et lag stænkpuds med småsten. I Skotland bruges et større cementindhold, blandingsforhold 2:1:9. Man bør ikke anvende et glat pudslag, da dette ikke er så modstandsdygtigt mod slagregn og heller ikke skjuler små svindrevner så godt, som det anbefalede stænkpudslag.



Standardelementer



Plan af hjørnesamling



Plan af standardelement

FIG. 5. Australisk standardform for sandfri beton (50-61).
Australian standard formwork for no-fines concrete.

Ifølge (50-61) bør pudsnings ikke foretages, før udtørringen er godt fremskreden, men da sandfri beton forholdsvis hurtigt tørrer ud, vil hovedparten af svindet have fundet sted, før huset er klar til pudsnings. Pudsnings skal foregå efter almindelig god praksis, men væggene skal ikke fugtes, før pudslaget påføres. Pudsen kan enten påføres i et eller to lag og bør i begge tilfælde have en tykkelse på ca. 12 mm. Der anbefales samme blandingsforhold som i England, og man fremfører de samme argumenter for anvendelse af en overflade med grov struktur som *Wimpey*.

DIN 4232 stiller følgende krav til vægge af sandfri beton:

Ydervægge skal pudses udvendig. Pudslaget må være vandafvisende, holdbart og vejrbestandigt og udføres i 2 lag med en samlet tykkelse på mindst 20 mm. Underpudsen skal efter rumfang bestå af f.eks. 1 del cement til 2 dele kalkpulver (eller $1\frac{1}{2}$ del kulekalk) til 10 dele sand, eller 1 del højhydraulisk kalk til 4 dele sand. Sandet skal være uenskornt og må ikke indeholde lerholdige bestanddele. Gennemfaldet på 0,2 mm sigten må højst være 20 vægtprocent. Overpudsen, der f.eks. kan bestå af kalkmørtel uden væsentlig cementtilsætning, må i intet tilfælde have større styrke end underpudsen.

Organisation

Opførelsen af en etage i et hus med vægge af sandfri beton omfatter følgende punkter (51 B 18):

1. Opstilling af vægforme
 2. Montage af dæk eller opstilling af dækforme
 3. Støbning af vægge
 4. Støbning af dæk
 5. Afbindingstid for betonen
 6. Afformning af vægge
 7. Afformning af dæk
- (Armering af dækkene må antages at være inkluderet i punkt 2).

Det er vigtigt, at afformningen sker så hurtigt som muligt (se side 54), og at den mellemliggende tid anvendes produktivt. Det anbefales at anvende flere arbejds hold, hvert med sin opgave, f.eks. et til forarbejdet, et til støbning af vægge o.s.v. Medens betonen når afformningsstyrken, må arbejds holdene flyttes til andre byggeafsnit, og det er derfor væsentligt,

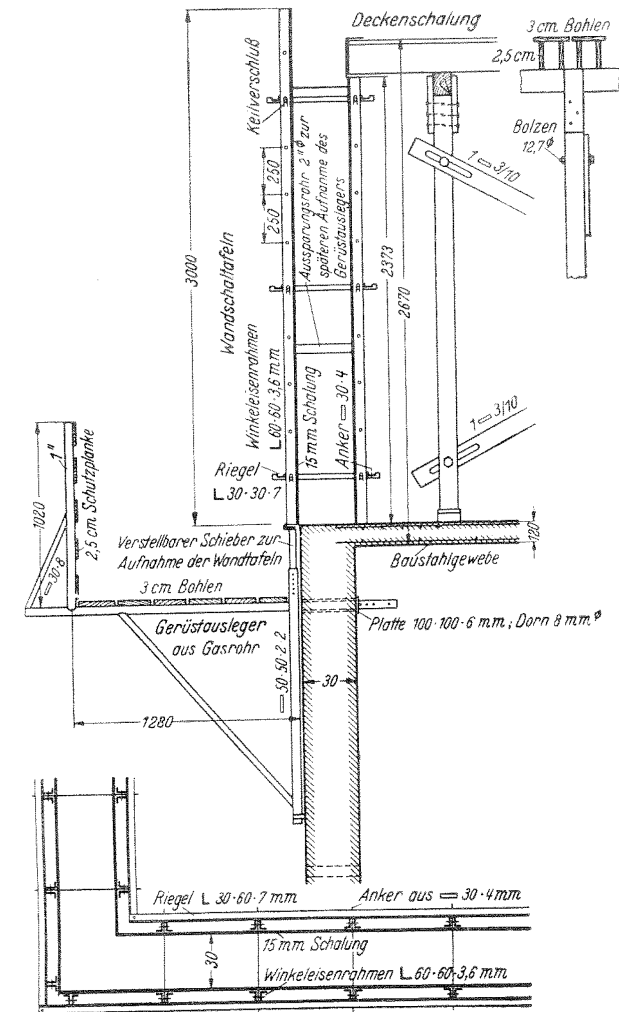


FIG. 6. Vægform og konsolstøllads efter Brandt (51 B 19).
Shuttering and scaffolding according to BRANDT.

at entreprisen ikke er for lille. En stor entreprise muliggør iøvrigt hurtig afskrivning af det specielle formmateriel.

Det er som før nævnt forarbejdets rationalisering, der først og fremmest bestemmer den økonomiske gevinst, men i Tyskland udføres forarbejdet nu så hurtigt, at betonfremstillingen og transporten på arbejdspladsen har svært ved at følge med (51 B 18), og moderne transportmateriel anvendes derfor i stor udstrækning.

Stilladset kan f.eks. udføres som konsolstillads som vist på fig. 6, der er lånt fra (51 B 19).

SLUTNING

Det er naturligvis ikke på forhånd muligt at sige, om anvendelse af sandfri beton i stedet for de traditionelle vægkonstruktioner vil give store besparelser i byggeomkostningerne.

De udenlandske erfaringer synes imidlertid afgjort at vise, at besparelser kun kan opnås ved projektering og tilrettelæggelse af byggepladsen under hensyntagen til de specielle fordele, sandfri beton har – f.eks. den korte afformningstid. Det må i denne forbindelse anses for meget væsentligt, dels at konstruktionen er gennemprojekteret, inden arbejdet påbegyndes – det er næsten umuligt at hugge eller sømme i sandfri beton –, dels at arbejdet tilrettelægges rationelt som byggeri med sandfri beton og ikke blot som modificeret murstensbyggeri.

LITTERATURFORTEGNELSE

- (49 C 3) Les Bétons Légers. M.J. Chefdeville. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment. Paris, januar 1949, 19 sider.
- (49 D 17) Betons Légers. R. Dutron. Réunion des Laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions. 1949. 27 sider.
- (49 G 12) Uarmerede betonvægges bæreevne. Ole Glarbo. Ingeniøren. 1949. Nr. 48. Side 963-964.
- (49 L 25) Light-Weight Concretes. F.M. Lea. Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Station. Watford, oktober 1949. Note no. E 161, 22 sider.
- (49 M 38) Note on the Construction of No-Fines Concrete Houses. L.J. Murdock. Geo. Wimpey & Co. Ltd. Central Laboratory, London, august 1949. Note no. 22. 5 sider.

- (50-61) Notes on The Science of Building. No-Fines Concrete. I: Characteristics and Use. II: Details of Construction. III: Site Organization & Plant. Commonwealth Experimental Building Station. Chatswood, Australien, 1950-1951.
- *(50-87) Geschüttete Leichtbetonwände für Wohn- und andere Aufenthaltsräume. Richtlinien für die Ausführung. Deutsche Normen. DIN 4232. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im Deutschen Normenausschuss. Berlin, April 1950.
- (50 B 28) Etude sur la composition et les propriétés des bétons caverneux. A. Birebent. Annales de l'Institut technique du Batiment et des Travaux Publics. Paris, december 1950. (Béton, Béton Armé, no. 15, no. 165. Nouvelle série. 21 sider).
- (50 M 7) Beton af lette aggregater fremstillet på byggepladsen. K.M. Maarbjerger. Beton, arbejdspladsen. Bind III. DIF's Arbejdsgruppe for Beton og Jernbeton. København, 1950. Side 117-136. Med 9 litteraturhenvisninger.
- (50 M 13) Uorganiske aggregater for letbetoner og disse betoners egenskaber. K. Martin Maarbjerger. Ingeniøren. København, marts 1950. No. 11. Side 233-238.
- *(51 B 18) Einrichtung und Organisation von Schüttbaustellen. Otto Butter. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 41-49.
- *(51 B 19) Erprobung der Schüttbauweise in Hamburg. Jürgen Brandt. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 58-62.
- (51 B 20) Die Luftschalldämmung von geschütteten Wänden aus Ziegelsplittbeton. Helmut Brandt. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 32-33.
- *(51 D 5) Statische Fragen bei Anwendung des Schüttbetons für Wohnbaublöcke. Karl Deininger. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 38-40.
- *(51 G 5) Versuche über wichtige Eigenschaften des Schüttbetons. Otto Graf og Kurt Walz. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 6-31.
- (51 G 6) Schlussbemerkung und Vorschläge zur einer künftigen Fassung von DIN 4232. Otto Graf. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 63-64.
- (51 G 7) Uarmerede betonvægges bæreevne. Ole Glarbo. Ingeniøren. Nr. 25. København, 23. 6. 51. Side 482-85.

- *(51 R 5) Die Konstruktion geschütteter Leichtbetonwände im Wohnungsbau. Ernst Rausch. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 34-37.
- *(51 S 15) Schüttbetonschalungen. Rudolf Schoenrock. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Heft 2. Stuttgart, 1951. Side 50-57.
- (51 V 2) Air Replaced Sand in "No-Fines" Concrete. Rudolph C. Valore, og William C. Green. Journal of the A.C.I., Detroit, juni 1951. Side 833-846. Med 6 litteraturhenvisninger.
- (53 N 2) Betonstøbning om vinteren. P. Nerenst, E. Rastrup og G. M. Idorn. Statens Byggeforskningsinstitut. København, 1953. Anvisning nr. 17. 21 litteraturhenvisninger.
- (51 U 1) Ein Hochhaus in Schüttbeton. Peter Urban og Karl Schreckenberger. Beton- und Stahlbetonbau. Berlin, marts 1953. Årg. 48, hefte 3, side 64-67. 2 litteraturhenvisninger.

ENGLISH SUMMARY

This paper is a compendium of English, French and German literature, dealing with no-fines concrete, and the purpose is to give a survey of this material to Danish technicians. Foreign readers are referred to the bibliography, where the papers used during the preparation are listed. In fig. nos. 2 and 3 some original data of Danish strength tests on no-fines concrete are presented.

(Studier)

- Nr. 9: *Hvilken murstens- og blokstørrelse kræver mindst arbejdstid ved opmuringen?*, Niels M. Plum og Birger Warris. 1952. 26 s. A₄. Kr. 3,—.
- Nr. 10: *Fejl og mangler ved sanitære installationer i bolig- og fabriksbyggeriet*, Ewald A. Olsen. 1953. 21 s. A₄. Kr. 3,—.

Anvisninger

er praktiske vejledninger, beregnet på direkte brug i det daglige arbejde ved projektering, fabrikation eller byggeri. De kan være udfærdiget dels på grundlag af Institutets egne arbejder, dels ud fra andres undersøgelser fra ind- eller udland. De søges tilpasset efter de stedlige og aktuelle forhold og holdt i en ikke-videnskabelig udtryksform, tilgængelig for de pågældende faglige kredse.

- Nr. 3: *Akustisk regulering af gymnastiksale*, Poul Becher. 1950. 4 s. A₄. Kr. 1,—.
- Nr. 5: *Bedre varmeisolering er billigere*. 1950. 47 s. A₄. Kr. 3,—.
- Nr. 6: *Fugt i nye huse* (plakat til ophængning). 1949. A₄. Kr. 5,— pr. 100 expl.
- Nr. 7: *Fugt og isolering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1951. 107 s. A₅. Kr. 4,—.
- Nr. 8: *Brug og valg af betonblandere*, Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 s. A₅. Kr. 3,—.
- Nr. 10: *Kunstig belysning på byggepladser*, Jens Thorsen og Mogens Voltelen. 1953. 2. udgave. 20 s. A₅. Kr. 2,—.
- Nr. 11: *Omsætningsmål for trædimensioner*. 1952. 1 s. A₄. (Gratis).
- Nr. 12: *Valg af dæk*, Fleming Nielsen. 1952. 48 s. A₅. Kr. 2,—.
- Nr. 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951*. 1952. 28 s. A₅. Kr. 2,—.
- Nr. 14: *Forbedring af stalde, varmeisolering og ventilering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1952. 44 s. A₅. Kr. 2,—.
- Nr. 17: *Betonstøbning om vinteren*, Poul Nerenst, Erik Rastrup og G. M. Idorn. 1953. 108 s. A₅. Kr. 8,—.
- Nr. 18: *Maling af eternit*. 1953. 15 s. A₅. Kr. 1,50.
- Nr. 20: — *Undgå fugt*. 1954. 3 s. A₆. 1 stk.: kr. 0,40. 100 stk.: kr. 25,—.
- Nr. 23: *Vinterbyggeri*. 1953. 16 s. A₅. 1 stk.: kr. 1,—. 100 stk.: kr. 50,—.
- Nr. 24: *Udarbejdelse af instruks for varmemestre*, P. Becher og F. Olsen. 1953. 16 s. A₅. 1 stk.: kr. 2,—. 50 stk.: kr. 50,—.

Særtryk

af artikler i tidsskrifter o. lign., omhandlende Institutets arbejde eller forfattet af Institutet eller dets medarbejdere. Enhedspris for alle særtryk: kr. 1,—.

- Nr. 2: *Byggestandardisering*, Mogens Voltelen. 1949. 6 s. A₄.
- Nr. 7: *Vinterbyggeri i en provinsby og vinterbyggeri på landet*, Asger Schmelling. *Vinterbyggeri i Stockholm*, O. Gerner Hansen. 1950. 12 s. A₄.
- Nr. 9: *Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning*, Niels M. Plum. 1950. 45 s. A₅.
- Nr. 11: *Om anvendelse af lydastighed i beton til bestemmelse af dens øvrige egenskaber*, Johs. Andersen og Poul Nerenst. 1950. 28 s. A₅.
- Nr. 13: *Hvad koster vinterbyggeri?*, Asger Schmelling. 1950. 4 s. A₄.

(Særtryk)

- Nr. 16: *Kunstig udtørring af nybygninger, Vagn Korsgaard*. 1950. 11 s. A₅.
- Nr. 17: *Prøving af 11 danske betonblandere, Per Brødsdorff, Poul Nerenst og Niels M. Plum*. 1951. 56 s. A₅.
- Nr. 23: *Ekspansions- og sikkerhedssystemer ved centralvarmeanlæg med pumpecirkulation, Poul Becher*. 1951. 12 s. A₅.
- Nr. 25: *Nye ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb, Lars Andersen*. 1951. 3 s. A₅.
- Nr. 26: *Vinterbyggeri, beretning om et uheld, O. Gerner Hansen*. 1951. 12 s. A₆.
- Nr. 27: *Har vinterbyggeriet formindsket byggefagenes sæsonledighed?, Lars Andersen*. 1951. 6 s. A₄.
- Nr. 28: *Grusets indflydelse på betonens holdbarhed, Poul Nerenst*. 1952. 15 s. A₅.
- Nr. 29: *Wave Velocity in Concrete, Johannes Andersen and Poul Nerenst*. 1952. 23 s.
- Nr. 30: *Kunstig udtørring af nybygninger ved hjælp af Schwartzkopf-ovne, H. Dührkop og Hans Nielsen*. 1952. 8 s. A₄.
- Nr. 31: *Ensilagesiloers beskyttelse mod syreangreb, 2. undersøgelse 1951—52, Erik Laur- sen*. 1952. 5 s. A₅.
- Nr. 32: *Betonkontrol, Niels Munk Plum*. 1953. 81 s. A₅.
- Nr. 33: *Små skorstene, Poul Becher*. 1953. 12 s. A₅.
- Nr. 34: *Træfri gulobelægninger*. 1953. 56 s. A₆.
- Nr. 36: *Varmeøkonomiske undersøgelser i »Pileparken 2« 1950-52, J. L. Mansa*. 1953. 10 s. A₄.
- Nr. 37: *Beton-Rapport-Blanketter, Niels Munk Plum*. 1953. 17 s. A₅.
- Nr. 38: *Lang-tids studier af betons holdbarhed, Niels Munk Plum*. 1953. 5 s. A₅.
- Nr. 39: *Danmarks træforbrug til byggeriet 1939—1952, K. Agermose og Niels Munk Plum*. 1954. 14 s. A₅.
- Nr. 40: *Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri, O. Gerner Hansen*. 1954. 11 s. A₅.
- Nr. 41: *Sandfri beton, Poul Nerenst og Birger Warris*. 1954. 20 s. A₅.

Årsberetninger 1947—52

om Institutets virksomhed og administration nr. 1, 2, 3, 4 og 5. Enhedspris for alle årsberetninger: kr. 2,—.

Alle publikationerne kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V.

Abonnement på en eller flere serier kan tegnes hos Teknisk Forlag. Her- ved opnås 25% rabat, som fradrages, når betalingen opkræves ved hvert års udløb. For kr. 2,— om året kan man endvidere samme sted abonnere på de »Forhåndsmeddelelser«, som udsendes ca. 3 uger før hver publikations fremkomst.

PRIS: Kr. 1.—.