

INDBLANDET BETON

GØR HOLDBARHEDEN STØRRE

**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT ANVISNING NR. 33
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1955**

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(Borgergade 20, København K., Tlf. Palæ 9855-9851)

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.

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

(Blindern, Oslo, Tlf. 69 50 90)

NBI er et selvstendig institutt under Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, som oppnevner styret. NBI ble oprettet 1953 og avløste det midlertidige Kontoret for byggforskning fra 1949.

NBI skal fremme byggforskningen ved å klargjøre oppgavene og få dem løst; ved å virke for frivillig koordinering av tiltak og sørge for at forsøksresultater blir gjort kjent.

NBI skal samarbeide med myndigheter, organisasjoner o. a. og bistå offentlige og private oppdragsgivere.

STATENS NÄMD FÖR BYGGNADSFORSKNING

(Styrmansgatan 26, Stockholm Ö. Tel. 63 og 65)

SNB sorterar under Socialdepartementet.

SNB övertog 1953 och utvidgade det arbete, som tidigare utförts av Statens Kommitté för Byggnadsforskning, som tillkom 1942.

SNB har til ändamål att främja forskning och rationalisering inom byggnadsfacket med tonvikten lagt på husbygge.

SNB sprider forsknings- och försöksresultat i form av meddelanden, rapporter och broschyrer samt genom artikler i facktidsskrifter.

STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS

(Lönnrotsgatan 37, Helsingfors. Tel. 11 151)

Anstalten som konstituerades 16. 1. 1942 (förfatningssamling n:o 44) är underställd handels- och industriministeriet.

På Statens tekniska forskningsanstalt ankommer att bedriva teknisk forskningsverksamhet i vetenskapligt och allmännyttigt syfte mm. på byggnadstekniska området, att utföra materialprovningssuppdrag jämte andra forskningsuppdrag samt att bistå tekniska högskolan i undervisnings- och forskningsarbete.

LUFTINDBLANDET

BETON

ERIK V. MEYER

DR. TECHN.
CIVILINGENIÖR00632P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUTCx. 4
19 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT ANVISNING 33

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1955

INDHOLD

FORORD	5
LUFTINDBLANDET BETON	7
LUFTINDBLANDINGENS INDFLYDELSE PÅ BETONENS EGENSKABER	8
ANVENDELSE AF LUFTINDBLANDET BETON	8
<i>Husbygning</i>	8
<i>Vejbygning</i>	9
<i>Brobygning</i>	10
<i>Havne- og kystarbejder</i>	10
<i>Beholdere</i>	10
LUFTINDBLANDINGSMIDLER	11
<i>Varen</i>	11
<i>Virkemåden</i>	11
<i>Brugen</i>	11
LUFTINDBLANDET BETONS EGENSKABER	12
<i>Den nybehandlede betons egenskaber</i>	12
<i>Den hærdnede betons egenskaber</i>	12
Frostbestandighed	12
Kemisk modstandsdygtighed	13
Vandtæthed og vandopsugning	16
Rustbeskyttelsesevne	16
Styrke og elasticitetskoefficient	16
Vedhængning	17
Slidstyrke	17
Volumenbestandighed	17
STØRRELSEN AF DEN INDBLANDEDE LUFTMÆNGDE	18
<i>Betonens sammensætning og konsistens</i>	18
<i>Betonens blanding</i>	18
<i>Betonens temperatur</i>	19
<i>Luftindblandingsmidler</i>	19

Oplag: 3000 eksemplarer.

Trykt hos Krohns Bogtrykkeri.

Glicheer fra Hammerschmidts Klichéfabrik.

*Eftertryk tilladt men kun efter nærmere aftale med Statens Byggeforskningsinstitut,
da meningen og resultaternes rækkevidde kan forflygtiges, hvis enkelte figurer
eller dele af teksten tages ud af den almindelige sammenhæng.*

RETTELSER

SBI ANVISNING NR. 33 - LUFTINDBLANDET BETON

Følgende meningsforstyrrende trykfejl bedes venligst rettet:

- | | | |
|---------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Side 18 linie | 4 | f.o.: i m ³ læs: pr. m ³ |
| Side 20 linie | 3-4 | f.n.: Betonens art er i begge linier singelsbeton. |
| Side 23 linie | 12 | f.n.: sand- og stenmængden forøges læs: sandmængden formindskes og stenmængden forøges |
| Side 23 linie | 2 | f.n.: 4% læs: 7% |
| Side 24 linie | 1 | f.o.: 345 læs: 354 |
| Side 25 linie | 13-14 | f.n.: noget af den „indkapslede” læs: noget af den indblandede |
| Side 30 linie | 2 | f.o.: isfyldte læs: ifyldte |
| Side 30 linie | 8 | f.o.: vejledninger læs: vejninger |

BLANDINGSFORHOLD FOR LUFTINDBLANDET BETON	20
<i>Almindelige bemærkninger</i>	20
Tabel 1: Hensigtsmæssigt luftindhold for stiv plastisk beton	20
<i>Hvilket luftindhold bør man vælge?</i>	20
<i>Nødvendigt sætmål</i>	21
<i>Blandingsforholdet</i>	21
Tabel 2: Omtrentligt materialforbrug pr. m ³ beton tilsvarende styrke	22
Eksempel 1	23
Eksempel 2	24
<i>Måling af luftindholdet</i>	25
Meyers luftmåleapparat	26
Apparatets virkemåde	27
Brugen af apparatet	27
Eksempel 3	30
FREMSTILLING AF LUFTINDBLANDET BETON	31
<i>Materialerne</i>	31
<i>Afmåling af luftindblandingsmidlet</i>	31
<i>Blandingsmaskinen og blandingen</i>	32
<i>Transport og udstøbning</i>	32
<i>Efterbehandling</i>	32

FORORD

I den reviderede udgave af SBI's anvisning om betonstøbning om vinteren (Anv. nr. 17), der udkom i efteråret 1953, gik man ind for anvendelse af luftindblandingsmidler som den bedste metode til at fremstille frostsikker beton.

Af uden- og indenlandske erfaringer var det samtidig klart, at luftindblanding ville være gavnlig også ved de fleste andre typer af støbearbejder – ikke mindst sådanne, hvor betonens holdbarhed er af betydning – og SBI støttede derfor stærkt DIF's betonsektions arbejde med at udarbejde de: »Foreløbige *retningslinier* for fremstilling af luftindblandet beton«, som blev udgivet i 1954, bl. a. ved at en af vore medarbejdere, civilingeniør P. Nerenst, der var medforfatter af anv. 17, blev formand for redaktionsudvalget.

Da disse *retningslinier* forelå, var det klart, at de – på grund af den dybde i fremstillingen, der var nødvendig i en første større præsentation af spørgsmålet her i landet – fortrinsvis havde interesse for ingeniører, og da SBI mente, sagen nu også havde interesse i betydeligt videre kredse med mindre teoretisk ballast, anmodede vi et af redaktionsudvalgets medlemmer, civilingeniør, dr. techn. Erik V. Meyer, om at udarbejde et manuskript til en mere populær *anvisning*. Denne forelægges hermed offentligheden.

SBI håber denne *anvisning* vil afhjælpe et savn og vil gerne hermed takke forfatteren for den klare og let tilegnelige fremstilling, som er lykkedes på det ønskede »populære« plan uden forflygtigelse af *retningsliniernes* mere videnskabelige præcision.

Anvisningen følger ret nøje *retningslinier* i opbygning og terminologi o. s. v., hvorfor det skulle være let for de af *anvisningens* læsere, der måtte ønske yderligere oplysninger, at finde disse i *retningslinier*.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

September 1955

NIELS M. PLUM

LUFTINDBLANDET BETON

Når cement, sand og sten blandes med vand til beton, er det klart, at en del luft indesluttet i betonen og danner større eller mindre hulheder. Under udstøbningen forsvinder noget af denne luft, medens andet kommer til, og ved bearbejdningen søger man at gøre betonen så tæt som mulig og at få den til at fylde formene ud og omslutte armeringen. Den luft, der alligevel bliver tilbage, er ujævnt fordelt i større og mindre blærer; den svækker betonen og har ingen gavnlig virkning.

Det har imidlertid vist sig, at dersom der i betonen findes luft som ganske små, men talrige og jævnt fordelte luftblærer, har luften i mange henseender en gavnlig indflydelse. Beton, i hvilken man med vilje har frembragt et sådant luftindhold, kaldes *luftindblandet beton*.

Man har undersøgt hvilken størrelse de luftbobler har, som indblandes i betonen. De er meget små og kan i brudflade i den afbundne beton kun skelnes med lup. Der er derfor et kolossalt antal i blot een liter luftindblandet beton, nemlig omkring en snes millioner.

Stort set vil tilsætning af ethvert skummiddel bevirke, at betonen bliver »luftindblandet« ved fremstillingen, og det er derfor heller ingen kunst at få betonen luftindblandet. Det er derimod sværere, men af ret stor betydning, at få netop den rigtige mængde luft indblandet, hvilket vil forstås af den følgende belysning af den indblandede lufts indflydelse på betonens egenskaber.

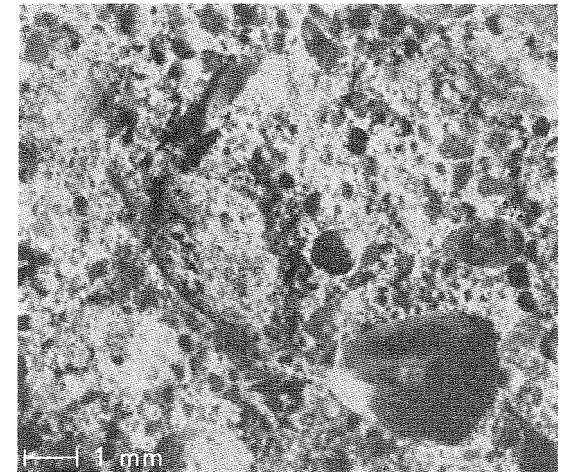


Fig. 1. Luftindblandet beton forstørret.

LUFTINDBLANDINGENS INDFLYDELSE PÅ BETONENS EGENSKABER

I det følgende omtales den i beton indblandede luft kort som »luften«.

Den mest betydningsfulde virkning af luften på betonen er en forøget frostbestandighed og holdbarhed. Dette var – fortælles det – årsagen til, at man blev klar over hele dette forhold. Til en betonvej i U. S. A. var anvendt en cement, der ved en tilfældighed havde et indhold af et skummende stof. De utallige luftblærer blev ikke set, men først konstateret ved en nærmere undersøgelse af betonen, idet det viste sig, at den pågældende strækning ikke som de tilstødende skallede af under påvirkning af frost, tø og salt.

Selve luftindholdet bevirker naturligvis, at betonen bliver svagere, men denne virkning kan helt, delvis eller mere end ophæves derved, at der kan bruges mindre vand ved betonens fremstilling.

Ved luftindblandingen bliver den friske beton lettere bearbejdelig og desuden mere »sammenhængende« – luften virker som en let jævning – betonen holder bedre på vandet og de fine partikler, d. v. s. den skiller eller afblander mindre, særlig under transport.

ANVENDELSE AF LUFTINDBLANDET BETON

Som det vil fremgå af følgende, har luftindblandet beton i flere retninger bedre egenskaber end almindelig beton. Det er derfor ikke mærkeligt, at luftindblandet beton har fået en stedse stigende anvendelse, ikke mindst i U. S. A., hvor luftindblandet beton blev opfundet, og hvor dens brug nu foreskrives i stor udstrækning. Når man vil bruge luftindblandet beton kan det være for at opnå de forbedrede egenskaber i den færdige beton eller af hensyn til den lettere bearbejdelighed og sammenhæng i den friske beton — eventuelt for at udnytte alle fordelene. Det i det følgende anførte gælder for danske forhold.

HUSBYGNING

Det vil ofte være en fordel at anvende luftindblandet beton til husbygningsarbejder, fordi den er lettere at have med at gøre, bedre tåler transport og bedre følger sig om armeringsjernene. Faren for stenreder i betonen er mindre, selv om bearbejdningen naturligvis stadig må være omhyggelig. Kældermure bliver lettere tætte med luftindblandet beton,

men der kræves dog stadig en tæt beton, hvis der er vandtryk på muren, det er blot faren for gennemgående porøse partier, der formindskes. Bygningsdele, der er spinkle og udsat for kraftige frostangreb, kan med fordel udføres af luftindblandet beton. Også til fabriksstøbte dele, altanbrystninger og alle slags elementer, søjler, bjælker, dragere og pæle, kan luftindblandet beton bruges, og for pæles vedkommende kan den senere omtalte forøgede modstand mod kemiske angreb være en fordel. Overflader støbt mod forskalling bliver lettere pæne med luftindblandet beton.

VEJBYGNING

I vejbygning og ved bygning af flyvepladser kan betonbelægningerne med fordel udføres med luftindblandet beton. Her er det både fordelagtigt at tage hensyn til den friske betons mindre tendens til at afgive slam ved bearbejdningen og til den store vejrbestandighed, betonen får. Også mod angreb af eventuelle optøningssalte får betonen større modstandsevne. Betonens mindre tendens til at skille er en fordel ved betonens transport, der her ofte er temmelig lang.

Også til gårdbelægninger o. l. er luftindblandet beton velegnet.

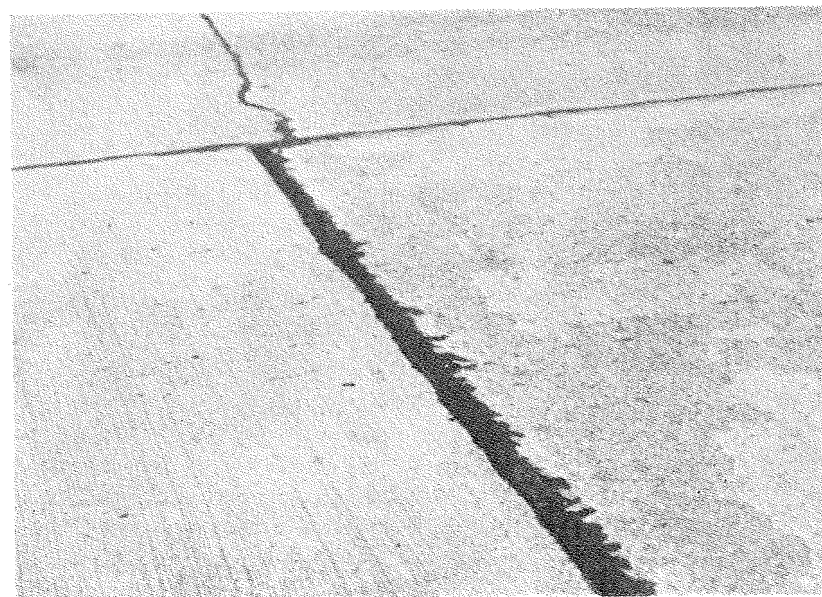


Fig. 2. Forskellen på vejbane støbt med luftindblandet (t.v.) og normal beton (t.h.).

BROBYGNING

Brokonstruktioner er for visse deles vedkommende stærkt udsat for frostangreb, særlig kantsten og visse dragere. En bros beliggenhed i nærheden af havet kan gøre den særlig udsat, og man gør sikkert klogt i at bruge luftindblandet beton i sådanne tilfælde.

HAVNE- OG KYSTARBEJDER

Beton- og jernbetonkonstruktioner ved kysten bør – alt efter de enkelte konstruktionselementers mere eller mindre udsatte beliggenhed, deres dimensioner, deres mulighed for gennemvædning ved højvande o. s. v. udføres med større eller mindre anvendelse af luftindblandet beton. Angreb på betonen fra havvandets og havsaltens side kan naturligvis modvirkes ved brug af specialcementer, men anvendelsen af luftindblandet beton vil uden tvivl betyde en væsentlig forøget levetid for konstruktionerne. Ved støbning under vand gennem rør er den luftindblandede betons større sammenhæng en fordel, og den synes også særlig egnet til pumping.

BEHOLDERE o. l.

Til ensilagebeholdere, aljeholdere, siloer m. m. vil den luftindblandede betons større smidighed altid være en fordel, og i de tilfælde, hvor beholdervæggene udsættes for frysning, vil det være særlig hensigtsmæssigt at bruge luftindblanding. Dette gælder ikke mindst frysekar, selv om de udføres med en i sig selv tæt beton. Fugtighedsvandringer i disse kars vægge og de varierende temperaturer udsætter dem for fryssinger, og luftindblandingen vil give betonen længere levetid.

ALMINDELIGE BEMÆRKNINGER

Ved alle anvendelser er det en fordel gennem stadige målinger at holde nøje kontrol med det luftindhold, man får i sin beton. Skal man kun gøre betonen mere bearbejdelig, må man passe på ikke at få luftindholdet for højt, da dette vil gå ud over styrken, og har man brug for frostbestandighed, må man kontrollere, at der er luft nok, og at man alligevel får en tilstrækkelig stærk beton. Det kan derfor ikke nok understreges, at luftindholdet i betonen bør kontrolleres regelmæssigt.

Til vinterarbejder kan det være nyttigt at bruge luftindblandet beton, da den hurtigere tåler frysning end almindelig beton, som omtalt senere.

LUFTINDBLANDINGSMIDLER

VAREN

Som luftindblandingsmidler kan anvendes forskellige i handelen værende produkter, de fleste af organisk oprindelse. De er oftest flydende og tilsættes mørtelvandet eller betonen under blandingen – i reglen i fortyndet opløsning for at lette fordelingen. Et luftindblandingsmiddel må først og fremmest kunne bevirke dannelsen af de omtalte myriader af luftblærer i betonen, men tillige må det forlanges, at det ikke virker skadeligt udover det, der er en naturlig følge af luftindholdet. Dette sidste vil i almindelighed sige, at et luftindhold på 4,5 pct. højst må bevirke en styrkereduktion på 15 pct. og en svindforøgelse på 10 pct. For de forskellige fabrikater vil i reglen foreligge attester vedrørende det første forhold.

VIRKEMÅDEN

Som nævnt virker luftindblandingsmidlerne skumdannende, således at luften ikke som ellers i større og mindre hulheder indesluttet i og tildels forbliver i betonen under blandingen, men derimod fordeles i utallige små bobler, som ikke undslipper, men fordeles temmelig jævnt i mørtelvandet og dermed i betonen. Størrelsen er så lille som ca. $\frac{1}{10}$ mm – og luftboblerne er altså omtrent så store som de mindste sandskorn eller de største cementkorn. Luftboblerne virker som små, runde, meget elastiske, glatte og noget klæbrige sandskorn, hvad man bør erindre sig, hvis man vil fordybe sig lidt i sammensætningen af luftindblandet beton.

BRUGEN

Man fremstiller luftindblandet beton ved at sætte et luftindblandingsmiddel til betonen under dens blanding, således som allerede nævnt, men man kan i stedet bruge en cement, der indeholder et sådant middel, eventuelt kombinere disse fremgangsmåder. Tilsætter man selv midlet under blandingen, kan man naturligvis variere mængden og er derfor herre over resultatet, og denne måde foretrækkes i reglen. Bruges cement med luftindblandingsmiddel kan det – hvis man får for lidt luft – være nødvendigt yderligere at tilsætte et luftindblandingsmiddel eller – hvis man får for meget luft – at strække cementen med almindelig cement. Bruges cement med luftindblandingsmiddel risikerer man imidlertid ikke, at tilsætningsmidlet bliver glemt i enkelte blandinger. Metoden anvendes ved særlig store arbejder med ensartet beton.

LUFTINDBLANDET BETONS EGENSKABER

Det er i særlig grad den hærdnede, luftindblandede betons forbedrede egenskaber, der foranlediger brugen af luftindblandingsmidler. Imidlertid er de allerede nævnte indflydelser af luften på den nyblandede beton værdifulde og kan udnyttes, hvorfor de skal omtales nærmere.

DEN NYBLANDEDE BETONS EGENSKABER

Luftindblandingen har først og fremmest indflydelse på bearbejdigheden, der oftest bedømmes ud fra konsistensen. Konsistensen angives almindeligvis ved sætmålet eller – for meget stiv beton – ved vebegrader. Sætmålet bliver mindre og vebegraderne større, jo stivere betonen gøres. Her regnes dog i det følgende kun med sætmålet, der er mest kendt.

Når der sættes luft til beton, forøges sætmålet på lignende måde, som når der sættes vand til beton. Virkningerne af luft og vand er dog forskellige. Luften gør betonen endnu mere bearbejdelig, således at hvis man har to betoner med samme sætmål, den ene med, den anden uden luftindblanding, er den luftindblandede langt den mest bearbejdelige, altså lettest at forme og få til at trænge ind mellem armeringsjernene. Skal man have to sådanne betoner med samme bearbejdighed, skal den luftindblandede derfor have mindst sætmål. Den luftindblandede beton er dog stadig mere sammenhængende og »smidig«.

Dersom man vil gå fra at bruge almindelig beton til luftindblandet beton, men beholde samme bearbejdighed, kan vandmængden derfor formindskes, når luftindblandingen iværksættes. Hvor meget vandmængden kan formindskes kan kun findes ved forsøg, men der kan spares mere vand, jo større luftindholdet skal være, jo magrere og jo mere bearbejdelig den beton er, man går ud fra. I skærvebeton kan der spares mere vand end i rundstensbeton, og for begge slags kan der spares mere, jo mindre de største sten er. Som tidligere nævnt holder den luftindblandede beton særlig godt på blandingsvandet og de fine partikler – herunder cementen – og skiller meget lidt under transport.

DEN HÆRDNEDE BETONS EGENSKABER

FROSTBESTANDIGHED

Luftindblandet beton har langt større modstandsevne mod frysning og optoning end en tilsvarende almindelig beton. Frostsprængninger sker ved, at vandet i betonens fine hulheder fryser og udvider sig, hvilket giver store indre spændinger i almindelig beton. Da de små luftbobler

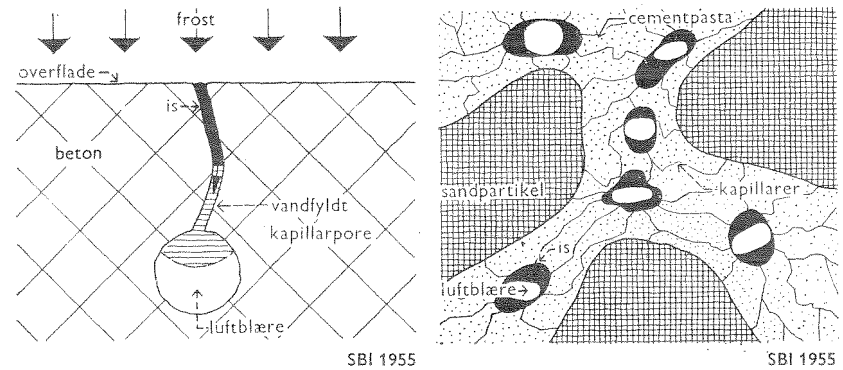


Fig. 3. Billede af frostens virkning i luftindblandet beton. T. v. i den viste kapillarpore er en del af vandet frosset; ved fortsat frostpåvirkning vil der ske yderligere isdannelse, hvorved vandet eller evt. is trænger ind i luftblæren, som derved trykkes noget sammen. T.h. alt kapillarvandet samt vand der er trængt ind i luftblærene er frosset, og yderligere afkøling kan ikke skade betonen.

i luftindblandet beton ligger tæt og ikke fyldes med vand, kan isen, der dannes i mørtelens øvrige hulheder, udvide sig ind i luftboblerne, der trykkes noget sammen, men kun selv udøver et ringe modtryk på betonen.

Beton skades des mere af frysning, jo hurtigere den foregår, jo hurtigere betonen tøes op, og jo mindre den får lejlighed til at udtørre, inden den fryses påny. Hvor meget luft man skal forlange indblandet i beton kommer dog ikke blot an på, hvad den udsættes for, men også på hvilken slags beton der er tale om. I afsnittet om betonsammensætning er angivet de nødvendige luftmængder. Der skal her erindres om, at skader som »springere« ved frostfarlige, vandsugende sten ikke kan forhindres ved brug af luftindblandingsmidler. Om vinteren kan almindelig beton, der netop er begyndt at hærdne, blive beskadiget af frost, og det vil derfor være rigtigt at bruge luftindblandet beton, hvis man kan risikere, at den friske beton fryser. Det må dog kun anses for en sikkerhedsforanstaltning, og de almindelige forholdsregler bør træffes, hvis man vil støbe beton i frostvejr. (Se iøvrigt S.B.I. anvisning 17. „Betonstøbning om vinteren“ og anvisning 23. „Vinterbyggeri“.

KEMISK MODSTANDSDYGTIGHED

Luftindblandingen ændrer naturligvis ikke selve betonens modstandsevne mod stoffer, der opløser betonen, som stærke syrer og lignende. Derimod synes den luftindblandede beton at være mere modstandsdygtig mod visse kemiske angreb, særlig hvor disse kommer samtidig med frost-

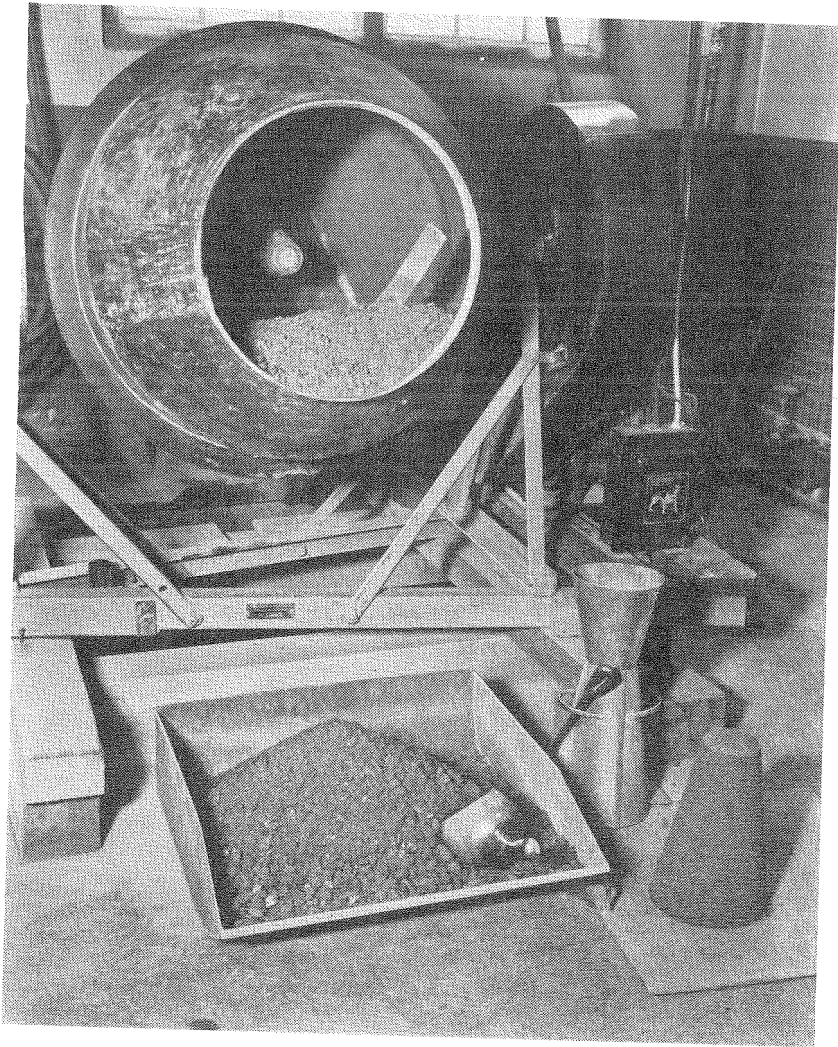


Fig. 4. Tilslagsmaterialer og vand blandet i 5 min. Blandingen har sætmål 0. I maskinen er blandingen ensartet, men ved udtømning på bakken skiller stenene fra. Bemærk at cementen mangler og dermed sammenhængen.

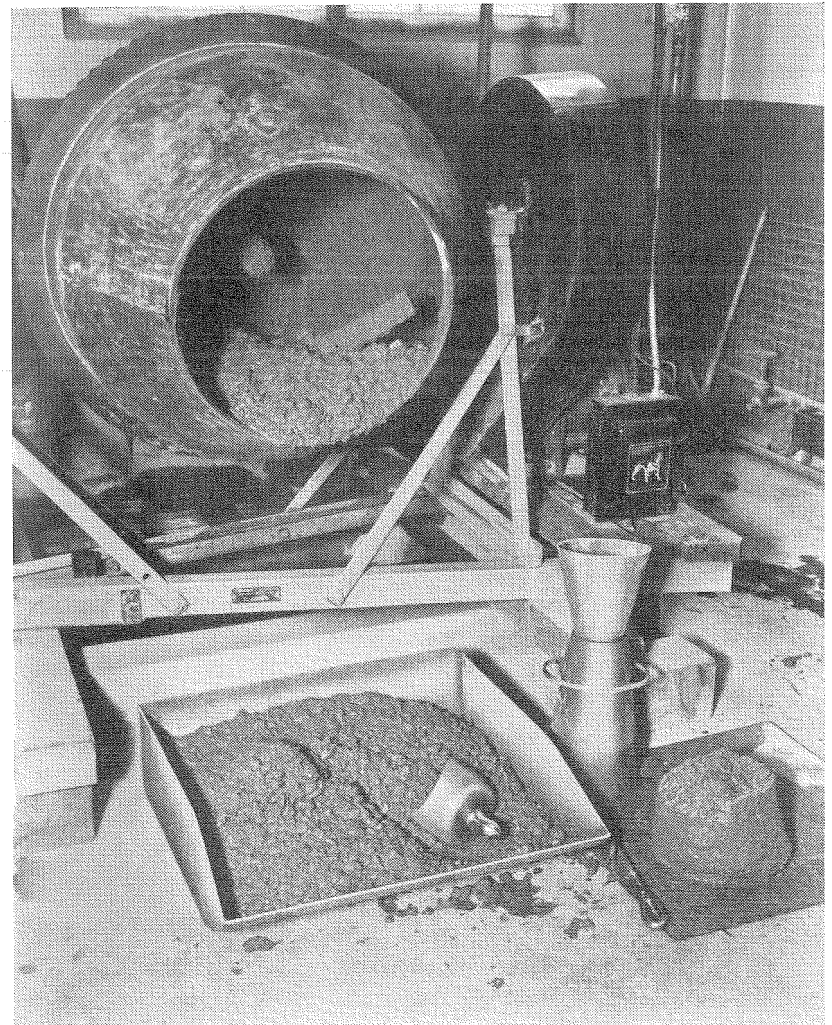


Fig. 5. Samme materialer som fig. 3, men tilsat et luftindblandingsmiddel, sætmål ca. 15 cm. Blandingen er ensartet og plastisk både i maskinen og efter udtømningen. Også her mangler cementen, men luftindblandingsmidlet giver sammenhængen.

angreb. Optøningsmidler anvendt på betonveje giver sådanne angreb, og luftindblandingsmidler synes at kunne hindre afskalning af overfladen, hvis man samtidig sørger for at slamlag praktisk talt undgås.

Også mod sulfatangreb giver luftindblanding en noget forøget modstandsevne, men man bør ikke undlade at bruge god, tæt beton og eventuelt specialcement.

VANDTÆTHED OG VANDOPSUGNING

God, velforarbejdet, tæt beton er i almindelighed vandtæt, når vandcementforholdet er 0,65 eller under for almindelig Portland-cement og 0,85 eller under for hurtigthærdende cement. Dette vil sige, at den samlede vandmængde, inclusive grusets fugtighed, der normalt er ca. 4% af sandets vægt, højst må være 27,5 kg for Portland-cement og 36 kg for hurtigthærdende cement pr. sæk cement a 42,5 kg. »Tæt« beton kan dog været utæt på grund af gennemgående porer, hvis den er mangelfuldt bearbejdet. Luftindblanding bevirker en forbedring af dette forhold. De små adskilte luftbobler skader ikke selve vandtætheden, der derimod forbedres gennem reduktionen i vandmængden, der gør cementdejen mere cementholdig. Luftbobler i glas gør jo ikke dette utæt. Også cementmørtels vandtæthed forbedres ved luftblanding, når bearbejdeligheden bibeholdes, hvilket vil sige, at vandtilsætningen formindskes.

Vandopsugningen bliver mindre ved luftindblandingen, hvilket skyldes, at boblerne, selv om de er små, dog afbryder de mikroskopiske hulheder, der forårsager vandopsugningen.

RUSTBESKYTTELSESEVNE

Rustbeskyttelsesevnen vokser på grund af den større vandtæthed og den mindre vandopsugning. Alligevel er det nødvendigt og også tilrådeligt at anvende de i normerne angivne tykkelser for dæklagen.

STYRKE OG ELASTICITETSKOEFFICIENT

Almindelig beton vil blive des stærkere, jo bedre den komprimeres, idet luftindholdet bliver mindre. I de fleste styrketabeller eller diagrammer er der regnet med, at betonen er forsvarligt bearbejdet i formen. Ved luftindblandet beton drives de små luftblærer ikke ud, og deres indvirkning på styrken er afhængig af, hvilket luftindhold man har fremkaldt. Hvis man reducerer vandmængden, vil dette i sig selv bevirke en styrkefremgang.

Hvis man kun sætter luft til sin beton, vil den altså blive svagere. Der- som man samtidig reducerer vandmængden, således at bearbejdeligheden

bliver den samme, vil man for meget fede betoner ikke kunne ophæve styrkenedgangen, medens man for magre betoner kan opnå en vis styrkestigning. En almindelig god beton, således som den anvendes til jernbeton med omkring 275–300 kg cement pr. m³, kan gives op til 5–6 pct. luftindhold, uden at styrken formindskes, hvis man samtidig reducerer vandmængden. En sådan beton ligger altså i et område, hvor luftindblandingen kan ske uden styrketab, blot vandmængden reduceres i passende grad.

Ved beregning af jernbeton kan man bruge samme formler ved luftindblandet beton som ved almindelig beton med samme styrke.

Også bøjningsstyrken ændres kun lidt for almindelig god beton. Det er især ved betonbelægnings, at dette spiller en stor rolle, og det betyder, at man både til veje og gårdspladser kan bruge luftindblandet beton.

VEDHÆNGNING

Vedhængningen mellem jern og beton afhænger bl. a. af godheden af jernets omstøbning. Er jernet lodret, bliver omstøbningen i reglen god, og vedhængningsstyrken i forhold til trykstyrken er som for almindelig beton. Er armeringen vandret, bliver omstøbningen i reglen bedre for luftindblandet beton end for almindelig beton på grund af den mindre vandudskillelse, men ved bearbejdningen kan der samles luftblærer under jernene, men i reglen skader de mindre end de vandansamlinger og kanal-dannelser, der findes i almindelig beton omkring jernenes underste del – især ved mangelfuld bearbejdning.

Man kan derfor regne med, at tilstrækkelig vedhængningsstyrke nås med luftindblandet beton, når denne har den forlangte trykstyrke.

SLIDSTYRKE

Slidstyrken aftager med trykstyrken, og almindelig beton og luftindblandet beton er lige slidstærke, når de har samme styrke. Ved støbning af slidlag, veje, gårdbelægnings og lignende kan man med luftindblandet beton undgå de porøse slamlag, der ofte dannes på almindelig beton, og som er støvende og lidet slidfaste.

VOLUMENBESTANDIGHED

Ligesom almindelig beton svinder luftindblandet beton lidt ved ud-tørring, forlænges lidt ved gennemvædning og »kryber« lidt under belastning i den første hærdeningstid og i det store og hele på samme måde og i samme grad. Også længdeændringerne som følge af temperaturforandringer er af samme størrelse.

STØRRELSEN AF DEN INDBLANDEDE LUFTMÆNGDE

Luftmængden angives i pct. af betonens rumfang, således at 1 pct. luft betyder 10 liter luft i m^3 (= 1000 l) færdigbearbejdet, udstøbt beton. Det angives ofte, at en bestemt pct. luft fås ved brug af en bestemt mængde luftindblandingsmiddel pr. sæk cement. Disse angivelser er kun skønmæssige, idet mange forhold har indflydelse på, hvilken mængde luft der indblandes, således som der her skal redegøres for.

Ved at studere disse kan man skønne over, hvilke ændringer man skal foretage for at ændre luftindholdet, hvis man ved måling finder, at dette er ønskeligt.

BETONENS SAMMENSÆTNING OG KONSISTENS.

Betonens sammensætning har en betydelig indflydelse på luftindblandingsmidlernes virkning. Den mængde, der skal bruges for at opnå et vist luftindhold, vokser med cementmængden og mængden af andre fine partikler (ler, filler), men bliver mindre, jo mere skarpt gruset er. Luftindblandingen sker i betonens vand, og da vandforbruget bliver des mindre jo større sten der bruges, vil også luftindholdet aftage. Endelig kan cementens art have en vis indflydelse på den nødvendige mængde luftindblandingsmiddel.

Det er lettere at få luftmængden til at stige i en blød end i en stiv beton, hvilket vil sige, at man må være mere varsom med tilsætningsmængden for beton med blød konsistens end for beton med stiv konsistens. I almindelig beton, der er godt bearbejdet, bliver luftindholdet mindre, når sætmålet vokser. I luftindblandet beton vokser luftindholdet for en bestemt mængde luftindblandingsmiddel, når sætmålet vokser og når sin højeste værdi, når betonen er tykflydende, hvorefter luftindholdet aftager stærkt.

BETONENS BLANDING

Luftindblandingen hidrører fra en vis »piskning« under betonens blanding, således at en almindelig håndblanding oftest giver langt mindre luft i betonen end en mere effektiv maskinblanding. Dette må man tage i betragtning, når man skal udføre prøveblandinger. Heller ikke må man regne at få rigtigt resultat ved at blande en mindre mængde i maskinen, end der normalt skal arbejdes med. Tvangsblandere har vist sig lige så

effektive som andre blandemaskiner, når det drejer sig om ret stive betoner, medens de ret naturligt har vanskeligere end fritfaldsblandere ved at indblende luft i meget blød beton.

Mængden af indblandet luft stiger meget stærkt under blandingens første minutter, men vokser derefter kun lidt, således at en overholdelse af normale blandetider vil give tilstrækkelig udnyttelse af luftindblandingsmidlet. En forøget blandetid vil imidlertid kunne bevirke en yderligere vandreduktion, hvad der kan være af betydning.

BETONENS TEMPERATUR

Alt skum er mere bestandigt ved lav end ved høj temperatur. Man får derfor mindre luft indblandet og fastholdt, jo varmere betonen er. Luftmængdens variation med temperaturen er ikke lige udpræget for alle typer luftindblandingsmidler, men formindskelsen i luftmængden kan udgøre indtil en fjerdedel ved 10° temperaturstigning.

LUFTINDBLANDINGSMIDLER

Der findes mange luftindblandingsmidler, og de er af forskellig koncentration, således at samme mængde af to midler kan og oftest vil give noget forskellige luftmængder. De vil heller ikke altid for samme luftmængde give helt samme mulighed for vandreduktion og dermed for at genvinde noget af den tabte styrke, selv om forskellen næppe vil være stor.

Som det fremgår af de foregående afsnit, har mange forhold indflydelse på luftmængden. Man må derfor aldrig nøjes med ud fra brochurer at fastslå den mængde luftindblandingsmiddel, man skal bruge, men bestemme den ud fra forsøg med den beton og de betonmaterialer, der skal bruges. Særlig hvis betonen skal være frostsikker og dog have en bestemt styrke, må man jævnligt kontrollere, at luftindholdet ligger inden for de fastsatte grænser. Når betonen har et sætmål omkring 15 cm, må man passe særlig på ikke at bruge for meget luftindblandingsmiddel, da luftmængden derved kan stige stærkt; man skal med andre ord hyppigt kontrollere, om luftmængden er passende.

BLANDINGSFORHOLD FOR LUFTBLANDET BETON

ALMINDELIGE BEMÆRKNINGER

Når man står over for den opgave at vælge blandingsforholdet for luftindblandet beton, har man i reglen visse krav at skulle opfylde og visse materialer at gå ud fra.

Kravene vil oftest være en vis styrke og en vis bearbejdelighed, eventuelt i forbindelse med frostbestandighed. Med hensyn til *materialerne* vil mulighederne undertiden være begrænsede for sands og stens vedkommende, medens cementen i reglen kan vælges under hensyn til styrkekravene – eventuelt under hensyn til den tid, der er til rådighed.

I almindelighed kan ethvert rimeligt krav til styrke, bearbejdelighed og frostbestandighed opfyldes.

HVILKET LUFTINDHOLD MAN BØR VÆLGE

Det luftindhold, der skal tilstræbes kan aflæses af tabel 1: Hensigtsmæssigt luftindhold for stiv plastisk beton. Det forudsættes at den luftindblandede beton har samme bearbejdelighed som en almindelig veludført stiv plastisk beton.

Tabel 1
Hensigtsmæssigt luftindhold for stiv plastisk beton

Betonens art:	% luftindhold for	
	bearbejdelighed	frostbestandighed
Perlestensbeton 1 : 2 : 1 1/2	2 1/2	6
Ærtstensbeton 1 : 2 : 2	2 1/2	4 1/2
Nøddestensbeton 1 : 2 : 3	2 3/4	3 1/2
» 1 : 2 1/2 : 3 1/2	3 1/4	3 3/4
» 1 : 3 : 5	3 3/4	4 1/4
» 1 : 4 : 7	4	4 1/2
Singelsbeton 1 : 5 : 8	4	4 1/2

Hvis luftindholdet kun ønskes af hensyn til bearbejdeligheden, læses i næstsidste kolonne. Hvis fuld frostbestandighed kræves, læses i sidste ko-

lonne. De første værdier angiver altså et rimeligt luftindhold, hvis man blot ønsker at anvende luftindblandet beton af hensyn til dennes mange gode egenskaber, medens det nødvendige luftindhold for frostbestandig beton altså læses i anden kolonne. Brugen af tabellen kræver kun, at man kender betonens blandingsforhold.

Mere finkornet beton kræver i almindelighed et noget højere luftindhold for at blive frostbestandig. Mørtel kræver derfor ret meget luft, og man regner:

for mørtel 1 : 2	ca. 8%
- - 1 : 3	ca. 7%
- - 1 : 4	ca. 6%

for opnåelse af fuld frostbestandighed. Det skal dog bemærkes, at pudslag kun under ugunstige forhold behøver at udføres med luftindblanding. Ved ugunstige forhold forstås her gentagne gennemvædninger og gennemfrysninger uden mellemliggende udtørningsperioder.

NØDVENDIGT SÆTMÅL

Man kan regne med, at en luftindblandet beton får samme bearbejdelighed som en ikke luftindblandet beton med kendt sætmål, hvis den luftindblandede betons sætmål er 25% eller 1/4 mindre. Har den almindelige beton sætmål 8 cm, kan den luftindblandede beton nøjes med 6 cm og dog være lige så bearbejdelig.

BLANDINGSFORHOLDET

I tabel 2 er opført en række almindeligt anvendte betoner, ordnede efter aftagende styrke og cementindhold og med stigende største størrelse. Det er samme betonsorter som i tabel 1, og som dér er der forudsat en stiv plastisk beton for udgangsblandingsforholdene. Tabellen giver materialmængder pr. m³ og forventet styrke (20 cm terninger) uden sikkerhedstillæg. Styrkerne kan forventes for:

<i>Portland</i>	- cement-beton efter 28 dage
<i>Rapid og Record</i>	- cement-beton efter 7 dage
<i>Super-Rapid</i>	- cement-beton efter 3 dage

Efter jernbetonnormerne DS 400 har man for Rapid-cement-beton, Record-cement-beton og Super-Rapid-cement-beton lov til at regne med henholdsvis 14 døgn og 7 døgn styrkerne, der vil være godt 10% højere end de anførte.

Tabel 2. Omtrentligt materialforbrug pr. m³ beton med tilsvarende styrke

Beton	Blandingsforhold efter rumfang	A. Almindelig beton, sætmål ca. 8 cm								Luftindblandet beton, sætmål 6 cm											
		Cementmængde pr. m ³						Sand l pr. m ³	Sten l pr. m ³	Styrke u. sikkerhedstillæg % kg/cm ²	B. Smidig			C. Frostbestandig			D. Frostbestandig styrke som A				
		Portland		Rapid		Super-rapid					Materi-aler pr. m ³	Styrke u. sikkerhedstillæg kg/cm ²	% luft	Materi-aler pr. m ³	Styrke u. sikkerhedstillæg kg/cm ²	% luft	Materialer pr. m ³			Styrke u. sikkerhedstillæg kg/cm ²	
		kg	sække	kg	sække	kg	sække	Cement	Sand	Sten											
Perlestens	1 : 2 : 1 1/2	455	10 3/4	405	9 1/2	370	8 3/4	700	520	480	1/2	uforandr.	480	6	÷ 1 1/2 %	450	6	+ 7%	÷ 14%	+ 9%	480
Ærtestens	1 : 2 : 2	415	9 3/4	375	8 3/4	340	8	620	620	400	1/2	»	400	4 1/2	÷ 1%	380	4 1/2	+ 5%	÷ 10%	+ 5%	400
Nøddestens	1 : 2 : 3	340	8	310	7 1/4	280	6 1/2	500	750	320	3/4	»	315	3 1/2	÷ 1/2 %	305	3 1/2	+ 4%	÷ 7%	+ 2%	320
»	1 : 2 1/2 : 3 1/2	290	6 3/4	265	6 1/4	240	5 2/3	540	750	250	1/4	»	250	3 3/4	uforandr.	250	3 3/4	uforandr.	÷ 6%	+ 4%	250
»	1 : 3 : 5	225	5 1/4	200	4 3/4	180	4 1/4	500	830	180	3/4	»	185	4 1/4	+ 1/2 %	190	4 1/4	÷ 2%	÷ 5%	+ 4%	180
Singels	1 : 4 : 7	165	4	150	3 1/2	140	3 1/4	500	860	95	+ 1%		105	4 1/2	+ 1%	105	4 1/2	÷ 3%	÷ 4%	+ 4%	95
»	1 : 5 : 8	140	3 1/3	130	3	115	2 3/4	530	840	75	+ 1%		80	4 1/2	+ 1%	80	4 1/2	÷ 4%	÷ 3%	+ 4%	75

Hovedtabellen A gælder almindelig beton. Afsnit B gælder luftindblandet beton tilsat luft i de anførte mængder af hensyn til bearbejdigheden. Blandingsforholdene er de samme som i hovedtabellen A, men vandmængden er reduceret, så sætmålet kun er 6 cm. Man bemærker, at styrken er næsten uændret for alle fede betoner og kun noget forøget for de magre blandinger, for hvilke materialmængderne stiger ubetydeligt.

I afsnit C er regnet med beton tilsat så meget luft, som kræves for at opnå frostbestandig beton, idet vandmængden samtidig er reduceret, således at sætmålet er 6 cm. Blandingsforholdet er også her uforandret. Man bemærker, at styrkerne synker ret stærkt for de fede betoner, men stiger for de magre, og at materialforbruget ændres lidt i samme retning.

For A, B og C har man altså i selve materialesammensætningen ikke ændret rumfangsblandingsforholdet.

I afsnit D er der anført hvilke ændringer, der bør foretages i materialmængderne, for at der med de anførte luftmængder og en reduceret vandmængde kan opnaas en luftblandet beton med sætmål 6 cm og med samme styrke som betonerne i afsnit A.

Man bemærker at:

Cementmængden forøges i de fede, men formindskes i de magre betoner, medens sand- og stenmængden forøges i alle betoner, når man fra almindelig beton skal gå til frostsikker beton med samme styrke.

Eksempel 1

Styrkekrav 300 kg/cm² efter 28 døgn for 20 cm terninger. Frostsikker beton. Portland-cement. Man kan gå ud fra tabel 2 afsnit D. Luftmængde: 3,5%. Den beton, der kommer de 300 kg/cm² nærmest er: 1 : 2 : 3 med de angivne ændringer, og da tabellerne ingen sikkerhedsmargin indeholder, vil det være rimeligt at gå ud fra den. Man går så ud fra A og regner med ændringerne opført i D, og får da pr. m³:

$$\begin{aligned} \text{Cement} & 340 \text{ kg} + 4\% = 354 \text{ kg} \\ \text{Sand} & 500 \text{ l} + 4\% = 465 \text{ l} \\ \text{Sten} & 750 \text{ l} + 2\% = 765 \text{ l} \end{aligned}$$

Da hver sæk Portland-cement a 42,5 kg svarer til 31 l, svarer de 345 kg til $31 \times \frac{354}{42,5} = 258$ l, og blandingsforholdet efter rumfang bliver da:

$$258 : 465 : 765 \text{ eller } 1 : 1,8 : 3,0$$

Tallet for stencmængden bliver egentlig 2,97, der afrundes til 3,0.

Den praktiske fremgangsmåde er derefter den, at man fremstiller målekasser, der rummer $1,8 \times 31$ l og $3,0 \times 31$ l eller 56 l og 93 l til henholdsvis sand og sten svarende til 1 sæk Portland-cement, der rummer 31 l (42,5 kg) cement. Til denne blanding må vandmængden være så lille som mulig, når samtidig luftmængden skal være $3\frac{1}{2}\%$.

Man skal bruge en ca. 10% mindre vandmængde end sædvanlig; samtidig tilføjer man luftindblandingsmidlet – i reglen kun omkring 5–10 g pr. sæk cement. Luftindholdet i blandingen måles og sætmålet naturligvis også. Skal den luftindblandede beton være lige så bearbejdelig som en almindelig beton med 6 cm sætmål, skal sætmålet for den luftindblandede beton være ca. $\frac{3}{4} \times 6 \text{ cm} = 4\frac{1}{2} \text{ cm}$.

Er blandingen nu for lidt bearbejdelig, kan man eventuelt blot reducere sandmængden lidt, hvad der vil gøre betonen mere bearbejdelig, men lidt mere cementrig – men man må huske at tilføje det vand, der svarer til fugtigheden i det sand, man udelader.

Eksempel 2

Fundamentsbeton 1 : 5 : 8, gjort smidig. Efter tabel 2, afsnit B skal luftindholdet være 4%. For at få sætmål 6 cm må vandmængden reduceres, og da blandingsforholdet skal være som i A, skal man ikke ændre på dette, men bruge 1 : 5 : 8. Reduktionen i vandmængden vil være så stor, at materialforbruget iflg. tabellen stiger 1%. Til 1 m³ skal altså bruges:

$$140 + 1,4 = \text{ca. } 142 \text{ kg cement}$$

$$530 + 5,3 = \text{ca. } 536 \text{ l sand}$$

$$840 + 8,4 = \text{ca. } 849 \text{ l sten}$$

Mængderne må naturligvis efterprøves. Man kan også regne med at man til hver 100 m³ i dette tilfælde skal bruge materialer som til 101 m³ almindelig beton.

NB. Vigtig bemærkning om styrken.

Der skal ikke her gives nogen vejledning i beregning af luftindblandet betons styrke, men det skal blot anføres, at man kan regne med at få

samme styrke for en luftindblandet beton og en almindelig beton med samme bearbejdelighed, når de har samme forhold mellem (vand + luft) i liter og cement i kg, altså samme

$$\frac{v + l}{c}$$

i en vis mængde beton. Her skal luften medregnes også for den almindelige beton; man kan kalde det *vand-luft-cementtallet*. Dette gælder for alle cementsorter. Når intet andet er bemærket, kan man regne med 2% luft i almindelig beton.

For nærmere oplysning om spørgsmålet henvises til »Foreløbige« retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton«, udgivet af »Dansk Ingeniørforening«, Teknisk Forlag, København 1954.

MÅLING AF LUFTINDHOLDET

Måling af luftindholdet i frisk beton bør foretages på en betonprøve, der er komprimeret på lignende måde, som det kan forventes i bygværket. Under stampningen eller vibreringen vil for det første det meste af den »indkapslede« luft forsvinde, men dertil muligvis noget af den »indkapslede« luft, og en måling i en ikke rigtig komprimeret prøve ville være uden større værdi.

Det er vigtigt at kontrollere luftmængden, både fordi hver procent luft, der er for meget, vil nedsætte betonstyrken ud over det beregnede med 3–5%, og fordi for lidt luft vil nedsætte betonens frostbestandighed i forhold til det tilstræbte. Kun hvis man alene tilsigter bedre bearbejdelighed, er luftindholdets størrelse af underordnet betydning, så længe det ikke er for højt.

Målingen af luftindholdet kan foretages på forskellige måder. Her skal kun udrystningsmetoden forklares. Herved forstås en fremgangsmåde til bestemmelse af luftindholdet i beton, ved hvilken betonen fyldes i og måles i en beholder, og luften ved rystning eller rulning af beholderen uddrives af betonen, men bliver i beholderen og måles i denne.

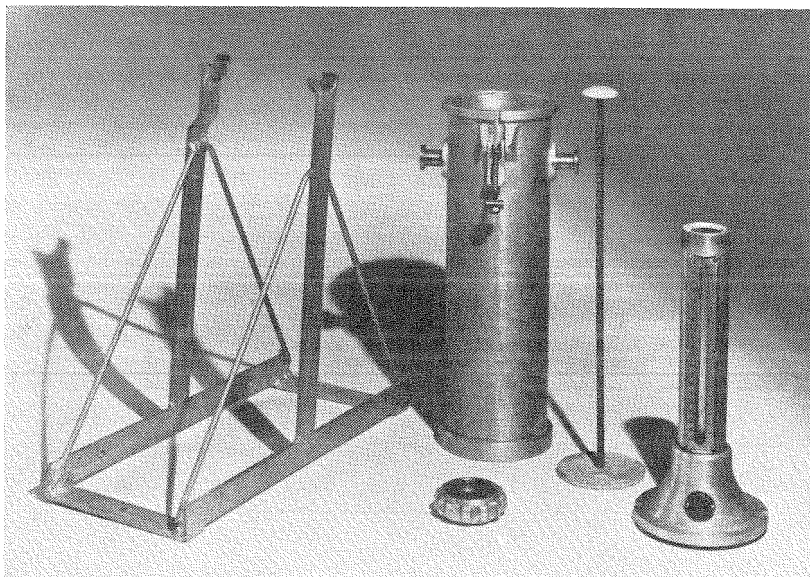


Fig. 6. Meyers luftmåleapparat (ny model).

MEYERS LUFTMÅLEAPPARAT

Af de apparater, der er baseret på dette princip, skal kun den danske Meyer-luftmåler beskrives. Apparatet består af følgende dele:

- a. En cylindrisk beholder forsynet med en fastspændingsmekanisme for apparatets overdel.
- b. En overdel bestående af en konisk del, der danner overgang til en cylindrisk del forsynet med langsgående udskæringer, der tillader iagttagelse af vandstanden i det vandstandsglas, der er tæt indspændt i den cylindriske del. Der findes skala til aflæsning, og hele overdelen kan lufttæt tilsluttes den underste del og lufttæt lukkes med et skruelåg.
- c. Det nævnte skruelåg.
- d. En målestang med en cirkulær plade, der er nogle mm mindre i diameter end beholderens lysning.

Ved brug af måleapparatet kræves en ca. 60 cm lang rundjernsstang (Ø 16 mm, afrundet ende), et skumbrydningsmiddel (f. eks. F. L. Smidth's skumbryder eller isopropylalkohol), en 10 ml pipette eller et 10 ml måleglas og eventuelt en træhammer (et bræt kan dog bruges).

Arbejdet vil kunne lettes, dersom apparatet kan fastspændes således på en aksel, at det kan drejes om en akse, vinkelret på apparatets længdeakse – omtrent ved det fyldte apparats tyngdepunkt.

Apparatets virkemåde

Apparatet bruges således, at der fyldes beton i den store beholder til ca. halv højde, idet betonen komprimeres så vidt muligt på samme måde som i bygværket. Målestangen med plade anbringes nu på betonens vandrette overflade, og ved at aflæse på målepinden findes betonsøjleens højde i cm. Hvis pladen står på bunden i den tomme beholder, aflæses 0 mm, således at man må erindre, at målestangens nulpunkt er foroven. Man noterer betonsøjleens højde (i cm).

Derefter hældes vand ned langs målepinden, uden at denne og pladen løftes fra betonen, og dette fortsættes, til beholderen er næsten fuld. Man påsætter derefter overdelen uden skruelåg og fylder efter til nulstregen, idet man dog banker let på overdelen og roterer hele apparatet svagt hældende, for at frigøre eventuelle større luftblærer på den koniske dels underside.

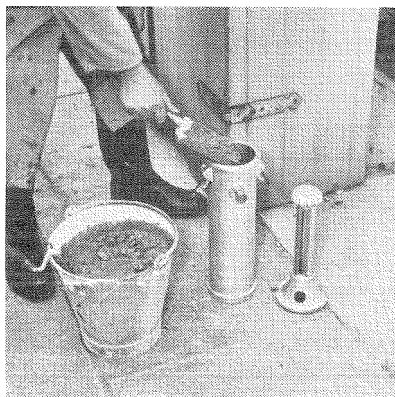
Betonens oprindelige luftindhold er stadig i betonen, men rystes apparatet kraftigt i vandret stilling, til man hører, at al beton er løs, og drejes det under stadig rystning op til lodret stilling, eller drejes det rundt som nævnt, vil betonens luft frigøres og samle sig øverst i beholderen.

Den cylindriske del har et indvendigt tværsnitsareal, der er $\frac{1}{10}$ af den store beholders. Hvis luften måles som et luftlag i den store beholder, skulle det måles i cm, ganges med 100 og divideres med betonsøjleens højde for at give luftindholdet i pct. Aflæser man luften oppe i vandstandsglasset, der har 10 gange så lille tværsnitsareal, vil det altså give en 10 gange så høj søjle, og aflæses denne søjle nu i cm, skulle den kun ganges med 10 og divideres med betonsøjleens højde for at give luftindholdet i pct.

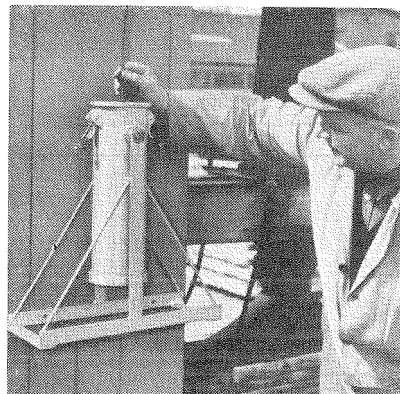
Imidlertid er apparatet således indrettet, at luftsøjlen måles i mm i stedet for i cm, og luftindholdet i pct. bliver derfor luftsøjlen målt (i mm) i vandstandsglasset divideret med den målte højde (i cm) af betonsøjlen. Da vandet i vandstandsglasset er fyldt til nullinien, læses luftmængdetallet direkte.

Brugen af apparatet

Ved brugen af apparatet må man først og fremmest stræbe efter at udtage en gennemsnitsprøve af betonen og få denne komprimeret på



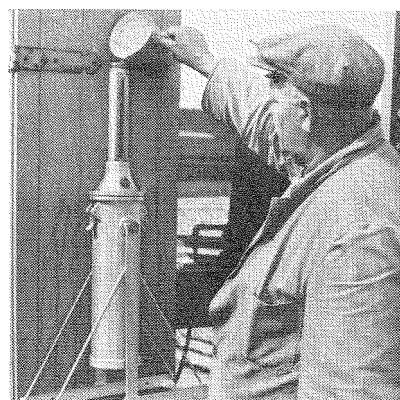
7a.



7b.



7c.



7d.

samme måde som i bygværket; enten stemples betonen i beholderen i 3 lag, der hver stemples med en rundjernsstang ca. 25 gange, omtrent som et sætmål fyldes, eller betonen fyldes i i 3 lag, der hver for sig vibreres, til overfladen netop er blank, og der ikke kommer flere store bobler.

Det skum, der samler sig foroven, vil i det væsentlige forsvinde, hvis man hælder nogle cm^3 skumnedbryder på det og atter sætter skruelåget på og ryster igen. Man må huske at regne med den vædskemængde, man har hældt på, og man kan regne med, at 1 cm^3 vædske får vand-søjlen til at stige 1 inddeling.



7e.



7f.

Fig. 7. Måleapparatets brug

- a. betonproven fyldes i beholderen, under stampning eller vibrering.
- b. betonsojlens højde måles. Apparatet anbragt i stativet, der er skruet på en trævæg.
- c. beholderen fyldes med vand, der hældes langs målestangen for ikke at trænge ned i betonen.
- d. overdelen påsat og vand hældes i til o-mærket.
- e. skruelåget fastskrues.
- f. apparatet svinges, hvorved luften uddrives.
- g. luftmængden aflæses, hvorefter luftprocenten udregnes.



7g.

Har man en god vægt, kan apparatet udmærket bruges til måling efter den såkaldte pyknometermetode. Dette kan være fordelagtigt ved visse cementsorter, der giver et meget modstandsdygtigt skum. Man vejer beholderen med betonen i og vandfyldt til o-mærket. Derefter udrustes luften, og skummet fjernes, efter at man først har forsøgt at få så meget af dets faste indhold som muligt til at gå tilbunds. Der fyldes nu rent vand i til nul-mærket, eller der fjernes vand, hvis skummet er uddrevet ved, at der først har været tilsat ekstra vand. Vægttilvæksten måles, og man kan regne med, at hvert g svarer til 1,16 inddelinger. Luftprocenten udregnes da på normal måde.

Eksempel 3.

Den isfyldte beton måler 24,5 cm. Luften synker 98 mm. Luftindholdet er:

$$\frac{98}{24,5} = 4,0 \text{ pct.}$$

Havde man uddrevet skummet og vejet, ville man have fundet en vægtforøgelse på 89 g, der svarer til de 98 inddelinger, man målte ved den normale fremgangsmåde.

Man skal erindre, at ved vejledninger skal

- a. apparatet være rent og tørt udvendig
- b. overdelen være fast forbundet med underdelen
- c. skruelåget enten altid være på eller altid fjernet

Ved nye apparater er diameteren omtrent 113 mm i stedet for ca. 105 mm, og i disse svarer 10 cm beton i apparatet til 1 l, og beholderen, der er 40 cm dyb rummer derfor 4 l. Hver inddeling i vandstandsglasset svarer til 1 cm³ eller 1 g vand. Beholderen er forsynet med tappe og der leveres et stativ med, til ophængning af apparatet, som vist på billederne.

Apparatet kan også bruges til måling af luftindholdet i allerede udstøbt og komprimeret beton, når man går frem på følgende måde: Med en skovl, hvis blad bør danne del af en cylinder med lidt mindre diameter end luftmålerens store beholder, udtages prøver af betonen. Disse prøver nedlægges forsigtigt i luftmåleren, og helst så meget beton, som svarer til et par liter. Man hælder derefter vand forsigtigt ned langs beholderens side og måler den vandmængde, der skal til at fylde beholderen op. Skal hertil bruges f. eks. 1,82 l, er betonens rumfang $4,00 - 1,82 = 2,18$ l, der svarer til 21,8 inddelinger, hvis det drejer sig om et nyere apparat. De ældre apparater rummer ca. 3,45 l, og skal der påfyldes f. eks. 1,63 l vand, svarer betonmængden til

$$40 \times \frac{3,45 \div 1,63}{3,45} = 40 \times \frac{1,82}{3,45} = 21 \text{ inddelinger.}$$

Under fyldningen må man banke på apparatet eller dreje det lidt for at hindre større luftblærer i at forblive under betonen. Efter at betonmængden er målt på denne måde i antal inddelinger, sættes apparatets overdelt på, og luftmængden måles som ovenfor beskrevet. Der henvises i øvrigt til brugsanvisningen, der følger med apparatet.

FREMSTILLING AF LUFTINDBLANDET BETON

De regler, der gælder for god betonudførelse, gælder naturligvis også, når det drejer sig om luftindblandet beton. Særlige forhold gør sig kun gældende med hensyn til valg af blandemaskine – hvis man har noget valg – og ved afmåling og tilsætning af luftindblandingsmidlet.

MATERIALERNE

Der er ikke grund til at vælge særlige materialer, fordi man skal fremstille luftindblandet beton. De sædvanlige hensyn til arbejdets art må være de fremherskende ved valg af cement, største stenstørrelse o. s. v.

Til de almindelige materialer kommer luftindblandingsmidlet, der normalt skal anvendes i små mængder, som allerede nævnt. Det bør opbevares således, at det ikke forurenes.

AFMÅLING AF LUFTINDBLANDINGSMIDLET

Den mængde luftindblandingsmiddel, der skal bruges pr. sæk cement, ligger gerne under en halv snes gram, hvilket vil sige, at mængden selv til store blandemaskiner er forholdsvis ringe. Det vil derfor ofte være klogt at fortynde midlet, således at der skal bruges omkring $\frac{1}{2}$ –1 liter pr. blanding. Man må så blot erindre at foretage en tilsvarende reduktion i vandmængden. Den simpleste måde at tilsætte midlet på er naturligvis at bruge et mål eller en øse af den rigtige størrelse og hælde vædsken i blandemaskinen sammen med materialerne. Der er blot den fare, at det af og til forsømmes. Ændrer man ikke på vandtilsætningen, vil forsømmelsen dog opdages ved betonens mindre bearbejdelighed.

Der findes en række apparater, der kan bruges til afmåling og tilsætning af luftindblandingsmidler. De fleste er indrettet således, at et indstilleligt målerum fyldes fra hovedbeholderen for luftindblandingsmidlet og ved omstilling på en tregangshane udtømmes i blandemaskinen. Hvis dette måleapparat sættes til at fungere sammen med blandemaskinens vandtilsætningsanordning, kan man sikre sig, at tilsætning af luftindblandingsmidlet ikke undlades, så længe hovedbeholderen ikke er tømt.

Alle apparater til afmåling og tilsætning af luftindblandingsmidler bør holdes pinligt rene ved skylling ved arbejdstidens ophør, da tørrede rester ellers vil tilstoppe og binde haner o. l.

At den mængde luftindblandingsmiddel, der tilsættes, giver den rigtige luftmængde, bør stadig kontrolleres ved måling af betonens luftindhold.

BLANDEMASKINEN OG BLANDINGEN

Som allerede nævnt kan luftindblandingen foretages på alle typer blandemaskiner, men kan man vælge blandemaskine, kan det anbefales at bruge

- a) Fritfaldsblandere til plastisk beton,
- b) Tvangsblandere til stiv beton.

Hvis man bruger en fritfaldsblander til stiv, almindelig beton og skal gå over til luftindblandet beton, kan man fortsat bruge den samme maskine, idet en betons blanding aldrig vil blive mindre god, når et luftindblandingsmiddel tilsættes. Blandetiden kan derfor være som for almindelig beton.

TRANSPORT OG Udstøbning

Den bedre sammenhæng i luftindblandet beton er som nævnt en fordel ved betonens transport og udstøbning. Den kan transporteres lænere uden at afblande, og anvendes der normal omhu ved arbejdet, vil resultatet blive godt.

Ved håndstampning vil man lettere få betonen til at udfylde formene og omslutte armeringen.

Bruges vibrering, bør neddykningsvibratoren foretrækkes for formvibratoren, da netop betonens sammenhæng kan fremme ind sugning af luft ved formsiderne, når disse selv vibreres.

Ved vibrering kan den luftindblandede beton give luftblærer ved formsiden, men disse kan fjernes ved, at man arbejder langs formen med en flad spade eller undgås ved kun at vibrere betonen i en vis afstand fra formen. Den luftindblandede beton kan i frisk tilstand klæbe så stærkt til formen, at det kan vanskeliggøre arbejdet med glidende forskalling.

Ved afretning af betonoverfladerne må det erindres, at luftindholdet gør betonen elastisk, således at den har tendens til at hæve sig efter afretningsbjælken. At bruge et større antal tværbevægelser end normalt, vil derfor være hensigtsmæssigt.

EFTERBEHANDLING

Betonens beskyttelse mod udtørring og den senere eftervanding bør ske mindst lige så omhyggeligt som ved almindelig beton. Det må erindres, at noget af betonens vand er erstattet med luft, og at den luftindblandede beton derfor er særlig udsat for skadelig udtørring.

S.B.I. 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 instituttets 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. Fortegnelsen omfatter kun de ved denne publikations fremkomst endnu ikke udsolgte publikationer.

- 3: *Akustitisk regulering af gymnastiksale, (Acoustical Designing of Gymnasias), P. Becher. 1950. 4 p. A4. Kr. 1,-.*
- 5: *Bedre varmeisolering er billigere. 1950. 47 p. A4. Kr. 3,-.*
- 6: *Fugt i nye huse (plakat til ophængning). 1949. A4. Kr. 5,- pr. 100 expl.*
- 7: *Fugt og isolering, P. Becher og V. Korsgaard. 107 p. A5. Kr. 4,-.*
- 8: *Brug og valg af betonblandere, N. H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 p. A5. Kr. 3,-.*
- 10: *Kunstig belysning på byggepladser, J. Thorsen og M. Voltelen. 1953. 2. udgave. 20 p. A5. Kr. 2,-.*
- 11: *Omsætningsmål for trædimensioner. 1951. 1 p. A4. (Gratis).*
- 12: *Valg af dæk, F. Nielsen. 1952. 48 p. A5. Kr. 2,-.*
- 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951. (Building Cost Analysis Calculated for a 3-Storey Block of Flats in a Danish Provincial Town in April 1951). Separate English summary and captions. 1952. 28 p. A5. Kr. 2,-.*
- 14: *Forbedring af stalde, varmeisolering og ventilering, P. Becher og V. Korsgaard. 1952. 2. oplag. 1955. 44 p. A5. Kr. 2,-.*
- 15: *Dækforme i boligbyggeri. 1955. 64 p. A5. Kr. 3,-.*
- 16: *Mekaniseret håndværktøj på byggepladsen, F. Nielsen. 1955. 48 p. A5. Kr. 4,-.*
- 17: *Betonstøbning om vinteren. (Winter Concreting), P. Nerenst, E. Rastrup and G. M. Idorn. 1953. 108 p. A5. Kr. 8,-. Separate abbreviated English translation. 108 p. + 61 p. A5. Kr. 10,-.*
- 18: *Maling af eternit. 1953. 15 p. A5. Kr. 1,50.*
- 19: *Isoler (folder). 1954. 8 p. A5. (Gratis).*
- 20: *Undgå fugt. 1954. 3 p. A6. 1 stk.: kr. 0,40. 100 stk.: kr. 25,-.*
- 21: *Hvilket dæk? (folder til ophængning). 1954. 20 p. A5. Kr. 2,50.*
- 22: *Normalvinduer af træ, P. Kjærgaard. 1955. Anvisning. 128 p. A4. 10 stk. tillæg A4. Pris incl. tillæg: kr. 30,-. Excl. tillæg: kr. 22,-. Tillæg pr. stk. kr. 1,50.*
- 23: *Vinterbyggeri (folder til ophængning). 1953. 16 p. A5. 1 stk. kr. 1,-. 100 stk.: kr. 50,-.*
- 24: *Udarbejdelse af instruks for varmemestre, P. Becher og F. Olsen. 1953. 19 p. A5. 1 stk.: kr. 2,-. 50 stk.: kr. 50,-.*
- 25: *Simpelt regnskabssystem for muremestre, F. Nielsen. 1954. Anvisning. 24 p. A5. Pris incl. prøvesæt af formularer i samlemappe, kr. 5,-. Blokke med regnskabsblade til for- og efterkalkulation kan købes særskilt.*
- 28: *Bygningsfundering, ved Geoteknisk Institut. 1955. 84 p. A5. Kr. 3,-.*
- 33: *Luftindblandet beton, E. V. Meyer. 1955. 32 p. A5. Kr. 2,50.*

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

De nordiske landes byggeforskningsorganer søger gennem et samarbejde at koordinere deres bestræbelser, publikationer fra det ene land kan således ofte have værdi i det andet. Efter fælles aftale bringes her, i tillæg til fortegnelsen på omslagets 3. side, en liste over ikke udsolgte forskningspublikationer fra de skandinaviske lande om emner, der har tilknytning til denne publikation. De vil normalt kunne fås gennem boghandelen.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Rapport 11: *Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri (Mortar Admixtures for Winter Construction)*, H. Dührkop. 1953. 40 p. A4. Kr. 3,-.

Studie 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions*, Niels M. Plum. 1950. 96 p. A4. Kr. 15,-.

Særtryk 9: *Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning*, N. M. Plum. 1950. 45 p. A5. Kr. 1,-.

Særtryk 17: *Prøving af 11 danske betonblandinger (Testing of 11 Danish Concrete Mixers)*, P. Bredsdorff, P. Nerenst and N. M. Plum. 1951. 56 p. A5. Kr. 1,-.

Særtryk 28: *Grusets indflydelse på betonens holdbarhed*, Poul Nerenst. 1952. 15 p. A5.

Særtryk 38: *Lang-tids studier af betons holdbarhed*, N. M. Plum. 1953. 5 p. A5. Kr. 1,-.

Særtryk 40: *Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri*, O. Gerner Hansen. 1954. 11 p. A5.

Særtryk 41: *Sandfri beton*, P. Nerenst og B. Warris. 1954. 20 p. A5. Kr. 1,-.

Særtryk 46: *Heat of Hydration in Concrete*, E. Rastrup. 1954. 20 p. 24,5 × 18,5 cm. Kr. 1,-.

Særtryk 49: *Betons hærdningsvarme*, E. Rastrup. 1955. 30 p. A5. Kr. 1,-.

STATENS TEKNISKA FORSKNINGSSANSTALT, Helsingfors

Publ. 19: *Über die Haftung zwischen Beton und Stahl. Experimentelle Untersuchung über den Einfluss der äusseren Belastung auf den Betrag der Spannungen in einbetonierten Stahleinlagen sowie auf die Ausbildung der Haftspannungen an der Berührungsfläche von Beton und Stahleinlage*, V. Kuustoski. 1951. 203 p. FMk. 900,-.

NORGES BYGGEFORSKNINGSINSTITUTT, Oslo

Rapport 12: *Mørtel og betong i avbindingsstadiet (Behaviour of mortars and concrete during set)*, A. Øffjord. 1955. 26 p. N. kr. 7,50.

Særtryk 13: *Lettbetong (Lightweight Concrete)*, Ø. Birkeland. 1954. 7 p. N. kr. 1,50.

PRIS KR. 2,50