

Grundforstærkning ved Indpresning af kemiske Vædske

P.Kern-Jespersen

Tidsskrifter

BSM 5-2 Bygningsstatiske Meddelelser

1933

Fig. 7 viser Indpresningen af Cementvælling i porøs Beton ved Skyttehusbroen ved Vejle. Der blev her i enkelte Partier af Broen indpresset ca. 500 kg Velocement, eller svarende til ca. 10 pCt. af det behandlede Betonrumfang.



Fig. 7.

Er Revnerne meget fine, eller Betonens Porøsitet ikke særlig stor, lader det sig ikke gøre at indpresse Cement, men man kan da til Tætningen eller Forstærkningen anvende den under næste Afsnit omtalte Indpresning af kemiske Vædsker.

GRUNDFORSTÆRKNING VED INDPRESNING AF KEMISKE VÆDSKER

Af P. KERN-JESPERSEN

Til Forstening af kvartsholdige Jordarter har den tyske Dr. Ing. Joosten opfundet en Metode, der beror derpaa, at man ved Indpresningen af to Kemikalier kan faa dannet et Bindemiddel, der kitter de løse kvartsholdige Korn sammen til en fast Masse.

Man har tidligere forsøgt at forstærke kvartsholdige Jordarter ved Indpresning af Cementvælling, men Forsøgene gav ikke det ønskede Resultat, idet Cementen lod sig filtrere fra i det nærmest Injektionsrøret liggende

Sand, saaledes at der kun blev frembragt en tynd Cementskal omkring Injektionsrøret, eller Cementen fordelte sig i tynde, vandrette eller skraa Lag, der fulgte løst lejrede Aarer i Jordarten, der lod sig skyde til Side. Kemikalierne kan man derimod faa fordelt nogenlunde ensartet.

Metoden er i de forløbne Aar siden Opfindelsen praktisk gennemarbejdet og har med gunstigt Resultat været anvendt ved en lang Række Arbejder. Der er den Betingelse for Metodens Anvendelighed, at den Jordart, der ønskes forstenet, er kvartsholdig.

Den nærmere Fremgangsmaade ved Forsteningsarbejdet er den, at de to Vædsker, benævnte Kemikalie I og Kemikalie II, der fremkalder Forsteningen, presses ind i Jorden og kitter denne sammen. Indpresningen sker gennem perforerede Rør, der rammes ned i den Grund, der skal forstenes. I Almindelighed er Rørene 1" Damprør med de nederste 50 cm perforerede. Der er i begge Ender af Røret skaaret indvendigt Gevind, hvorpaa der i den perforerede Ende skrues en Staalspids, i den modsatte Ende et Hoved, der bruges som Anslag for den Hammer, hvormed Rørene drives ned.

Ved Ramningen gennem den Strækning, der skal forstenes, standses Ramningen af Røret for hver 50 cm, og der sprøjtes en forud bestemt Mængde Kemikalie I ind i Jordlaget omkring den perforerede Del af Røret. Naar den nederste Del af det Jordlag, man ønsker forstenet, paa den Maade har faaet Kemikalie I, rammes Røret yderligere 50 cm ned, og der sprøjtes Vand gennem Røret for at rense dette.

Derefter trækkes Røret tilbage, idet man for hver 50 cm standser Optrækningen og sprøjter en forud bestemt Mængde Kemikalie II ind i Jordlaget omkring den perforerede Del af Røret. Naar det Omraade, man ønsker forstenet, saaledes har faaet Indsprøjtning af Kemikalie I under Nedramningen og Indsprøjtning af Kemikalie II under Optrækningen, er Processen til Ende og Jordlaget forstenet til en fast Masse af Karakter som en Sandsten. Kemikalierne fordeler sig i Almindelighed mindst 30 cm bort fra Sprøjterøret, og Processen virker øjeblikkelig, saaledes at den dannede Sandsten straks kan belastes.

Indsprøjtningrørene er som nævnt almindeligvis 1" Mannesmann Rør, forsynede med Staalspids og perforerede paa de nederste 50 cm.

Ramningen af Rørene sker enten ved Haandramning eller ved Trykluftramning. Til Haandramningen bruges en cylindrisk Rammeklods, forsynet med 4 Haandtag, der slaar paa en Konus, som ved Kiler er fastspændt paa Røret. Til Trykluftramning anvendes en almindelig Tryklufthammer. Optrækningen af Rørene sker enten ved Taljetræk eller ved at slaa Rørene op ved Haandramning eller Trykluftramning eller ved et særligt konstrueret Apparat med en Vægtstang med en Tang, der griber om Røret.

Indpresningen af Kemikalierne og Vandet sker ved Hjælp af tre Duplex Pumper, en Pumpe for Kemikalie I, en for Kemikalie II og endelig en for Vand. Alle disse Pumper drives med Luft fra en Kompressor, der til-

lige leverer Luft til Ramning og Optrækning. Fra Pumperne fører Slinger til hver sin Beholder med henholdsvis Kemikalie I, Kemikalie II og Vand, og Beholderne er forsynet med Maalestokke, saaledes at man nøjagtigt kan aflæse, hvor meget Vædske, der indsprøjtes i hvert Sprøjt.

De til Processen fornødne Kemikaliemængder bestemmes under Hensyn til Jordartens Kornstørrelser, Hulrumsprocent, Kvantsholdighed og Fugtighedsgrad, ligesom den opnaaede Trykstyrke ogsaa er afhængig af disse Faktorer. Er Jordarten almindeligt kvartsholdigt Sand med middelstore Korn, opnaas som Regel en Trykstyrke liggende mellem 30—40 kg/cm². Med groft Sand er opnaaet Trykstyrker paa over 80 kg/cm².

Processen sker som nævnt øjeblikkeligt, og efter de hidtil foreliggende mange Undersøgelser angribes den dannede Sandsten ikke af Syre eller Saltopløsninger, ligesom den dannede Sandsten er fuldkommen vandtæt. Metodens Anvendelsesomraade deler sig i to Hovedgrupper:

I. Forstening af kvartsholdige Jordarter.

II. Tætning af fine Revner og Porer i gamle Mur- og Betonkonstruktioner.

I.

Hvorledes Forsteningen af kvartsholdige Jordarter har fundet Anvendelse, skal her belyses ved nogle Eksempler.

A. Ved Pælefunderinger.

Et af de første Forstenningsarbejder udførtes i Berlin ved Pælefunderingen for et Forretningshus. Grunden bestod af fint Sand i stor Dybde, hvorfor

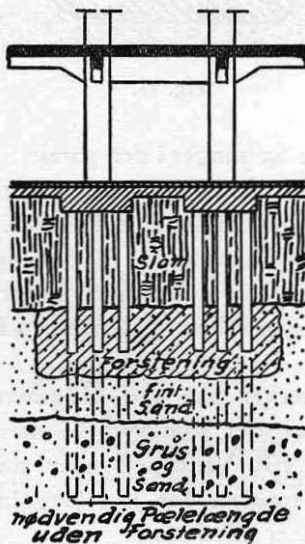


Fig. 8.

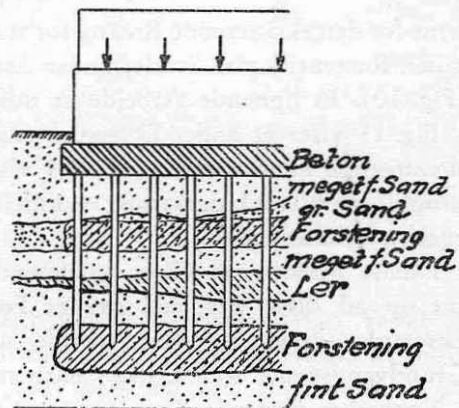


Fig. 9.

der krævedes meget lange Pæle til Funderingen. Man reducerede Pælelængderne og forstenede et Sandlag ved Pælespidserne og opnaaede herved en Besparelse (Fig. 8).

Fig. 9 viser et andet Eksempel, hvor Forsteningsmetoden er anvendt dels til at forkorte Pælelængderne, dels til at styre Pælene i Pælegrupperne.

B. Ved Sikring af eksisterende Fundamenter.

Umiddelbart ved Siden af Jernbanebroen over Spree ved Jungfernhöhe Banegaarden i Berlin var det nødvendigt at bygge en ny Bro for Banen Berlin—Siemensstadt. Pillerne for denne Bro skulde føres 2 m dybere end Fundamenterne

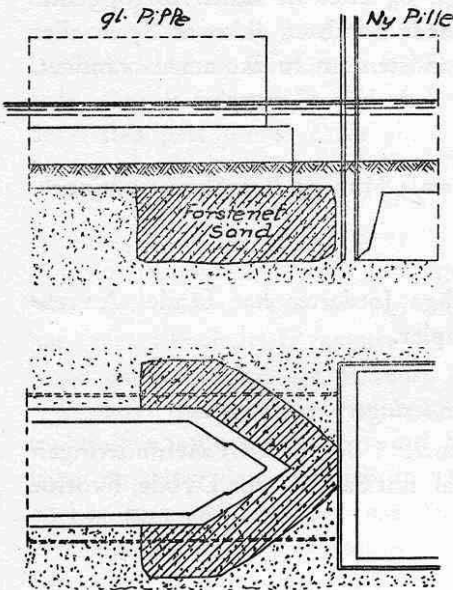


Fig. 10.

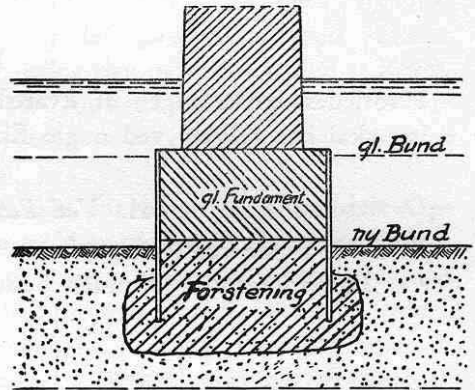


Fig. 11.

terne for den eksisterende Bro, og for at forhindre Sætninger i den gamle Bro's Piller, forstenede man Sandet under disse til den nye Bro's Funderingsdybde (Fig. 10). Et lignende Arbejde er udført ved Janowitzbrüche i Berlin.

Fig. 11 viser et andet Eksempel paa Metodens Anvendelse til Sikring af eksisterende Fundamenter, idet det viser, hvorledes Forsteningen under en Bropille har tilladt Udgravning umiddelbart omkring Pillen og dermed en Forøgelse af Vanddybden.

Denne Metode at sikre eksisterende Bygværker paa ved Udgravning tæt op ad disse har sine særlige Fortrin, naar det som ved de nævnte Eksempler drejer sig om Arbejde under et frit Vandspejl eller under Grundvandspejlet som f. Eks., naar man skal fundere for nye Bygninger i Nærheden af gamle Bygninger, og Grunden er Flydesand.

C. Ved Tørholdelse af Byggegrube.

Da den forstenede Sandmasse er vandtæt, kan Metoden med Fordel anvendes, hvor det er nødvendigt at holde artesisk Vand ude fra en Byggegrube.

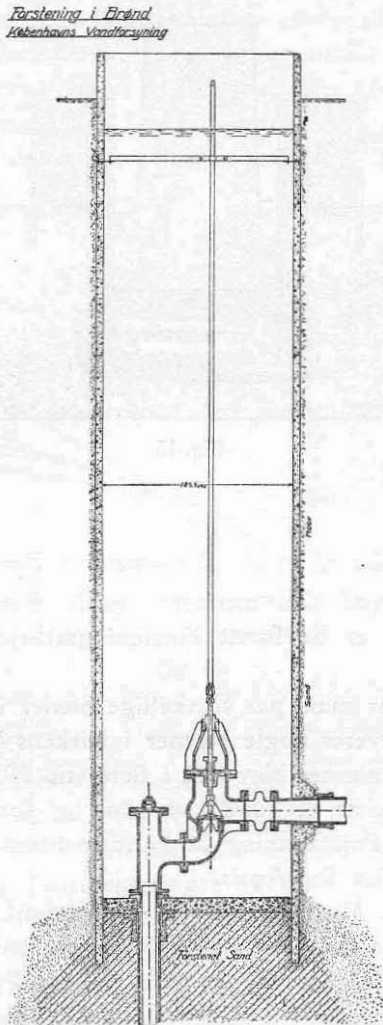


Fig. 12.

Fig. 12 viser Forsteningen af Bunden i nogle af Københavns Vandforsynings Pumpebrønde, hvor Vandtilstrømningen var saa stærk, at man ikke paa almindelig Maade kunde holde Brønden tom for Vand, saa at Pumper m. v. kunde anbringes der.

Fig. 13 viser en Anordning, hvor man har forstenet Bunden indenfor en Fangedæmning, hvor der var Kilder i Bunden, og derved skabt dels en tør Byggegrube at arbejde i og dels et forstærket Fundament for Byg-
værket.

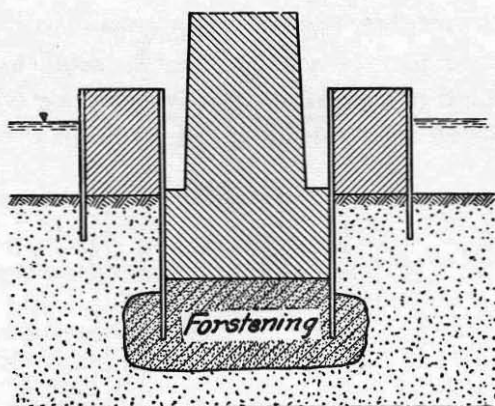


Fig. 13.

D. Forøgelse af gamle Fundamenters Bæredygtighed.

Som Eksempel herpaa skal nærmere omtales Funderingsarbejderne ved Ribe Domkirke, som er de første Forsteningsarbejder, der er udført her i Landet.

Foranlediget ved, at man paa forskellige Steder i Ribe Domkirke i de senere Aar har observeret nogle Revner i Kirkens Murværk, som skyldtes Sætninger i Fundamenterne, blev der i Somrene 1930 og 1931, efter forudgaaende Undersøgelser af Fundamenterne og Jordbundsforholdene ved Kirken, foretaget en Forstærkning af Fundamenterne for Apsis og Korsarmsmuren Øst og Vest for Apsis.

Under de nævnte Mure fandtes et Fundament, bestaaende af Rullesten. Rullestenene var i de øverste ca. 50 cm pakkede i Kalkmørtel, iøvrigt kun i Sand. Fundamentet havde omtrent samme Tykkelse som Murene i Sokkelhøjde og naaede ned til en Dybde af ca. 2,3 m under Terræn. Jordbunden bestod af Sand, som navnlig i de øverste Lag var ret fint.

Planerne for Forstærkningsarbejderne er udarbejdede af Professor *Schönweller*. Her skal kun omtales, hvad der er nødvendigt for Forstaaelsen af Forsteningsarbejdernes Omfang og Udførelse. Forstærkningerne af Fundamenterne gik ud paa at fremstille nye Fundamenter med dels bredere dels dybere liggende Fundamentsflader.

Dette Arbejde var oprindeligt tænkt udført paa følgende Maade: Saavel

langs Murens udvendige som indvendige Side skulde der anbringes en Række Betonpiller, udført som 1,25 m cirkulære Betonsænkebrønde, ført ned til den fremtidige Funderingsdybde, Grundvandsspejlet, ca. 4,0 m under Terrænet. Sænkebrøndene skulde fyldes med Beton og danne Bærepiller for svære Jerndragere anbragte paa tværs gennem Muren, saaledes at denne herved blev baaret, medens Ombygningen af Fundamenterne fandt Sted.

Ombygningen af Fundamenterne var tænkt udført ved, at hele det gamle Rullestensfundament blev fjernet, og der yderligere blev udgravet til Grundvandsspejlet og i Bredde ud til Sænkebrøndene, hvorefter der skulde støbes et Betonfundament af de nævnte Dimensioner. Endelig skulde Jerndragerne

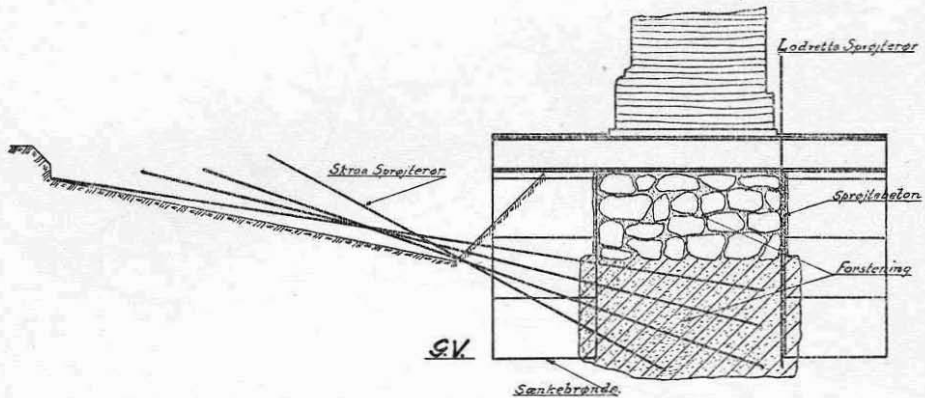


Fig. 14.

omstøbes med Beton. Det paa denne Maade fremstillede Fundament vilde derefter komme til at bestaa dels af den under Muren støbte Beton dels af de paa hver Side af Muren staaende spredte Betonpiller. Ved Korsarmens østre og vestre Murtilslutninger til Apsis skulde Fundamentet, paa Grund af den fra de ovenliggende Hvælvings Tryk hidrørende ret betydelige Ekscentricitet af den i Fundamentsfladen virkende Belastning, have noget større bærende Flade af den udenfor Muren værende Del af Fundamentet, hvorfor der her maatte anbringes Sænkebrønde i to Rækker.

Ved Udførelsen af Fundamentsforstærkningen efter den ovenfor angivne Plan var der den Ulempe, at det vilde frembringe Vanskeligheder at begrænse Borttagningen af de gamle Rullestensfundamenter og Udgravningen til større Dybde til passende smaa Partier, f. Eks. 2 m, ad Gangen, idet saavel Rullestensfundamentet som Sandbunden maatte antages at skride ned paa begge Sider af Udgravningen og stille sig med ret stort Anlæg. Denne Omstændighed vilde medføre et vist Faremoment, idet man, naar Muren

mistede sin Understøtning paa det gamle Fundament paa en større Strækning ad Gangen, vilde faa saa stor Belastning paa Betonpillerne, at det kunde risikeres, at disse vilde sætte sig mere end ønskeligt. Dertil kom, at der vilde kræves særlige Foranstaltninger for at undgaa, at Rullestensfundamenterne under de tilstødende Partier af Kirkens Mur, hvor der ikke skulde foretages Forstærkning, blev underminerede.

De ovennævnte Vanskeligheder gav Anledning til nogle Undersøgelser vedrørende Indpresning af Cementvælling i Sand for om muligt derved

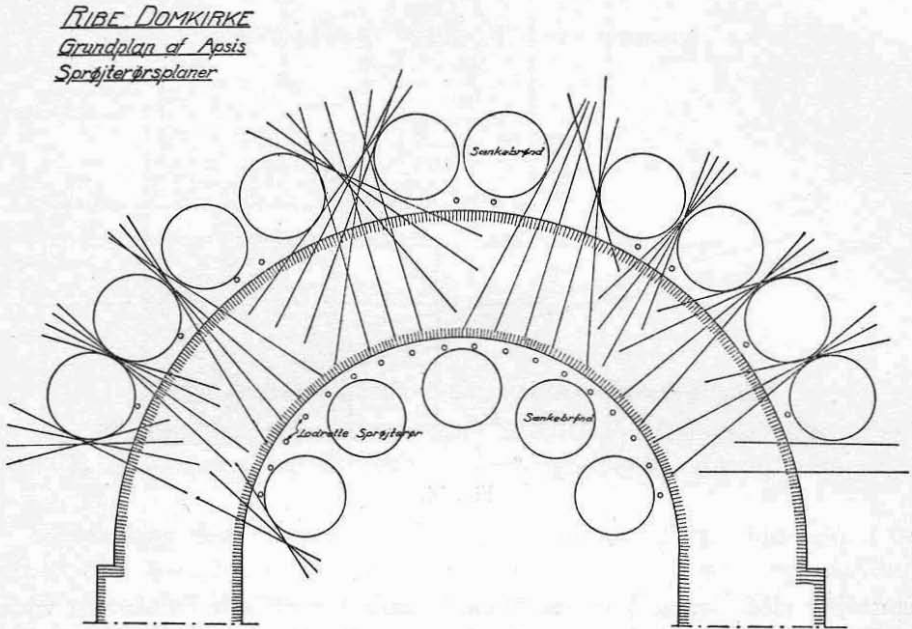


Fig. 15.

at kunne forstærke det gamle Rullestensfundament og Sandet under og omkring dette. Forsøgene gav imidlertid negativt Resultat, idet det ikke lykkedes at faa Cementen fordelt i Sandets Hulrum, da den lejrede sig omkring Indpresningsrøret eller i enkelte særlig porøse Lag i Sandet.

Samtidig med disse Undersøgelser fremkom der i den tyske Faglitteratur Meddelelser om en Metode til »Forstening« af kvartsholdige Jordarter ved Indpresning af kemiske Væsker. Metoden blev nærmere undersøgt og gennemprøvet med det ved Domkirken værende Sand, hvilke Undersøgelser gav saa gode Resultater, at det blev bestemt at ændre Fremgangsmaaden, saaledes at Bortfjernelsen af det gamle Fundament og de dybe Udgrav-

ninger under Kirken blev undgaet, og det gamle Fundament og Sandet under og omkring dette forstenet i Stedet for.

Paa det Tidspunkt, da disse Undersøgelser var tilendebragte, og man bestemte sig til at anvende denne nye Metode, var de i det foranstaaende omtalte Sænkebrønde m. v. udførte omkring Apsis. Forstærkningen af

RIBE DOMKIRKE.

*Grundplan af Korsarm
Sprøjterørplaner*

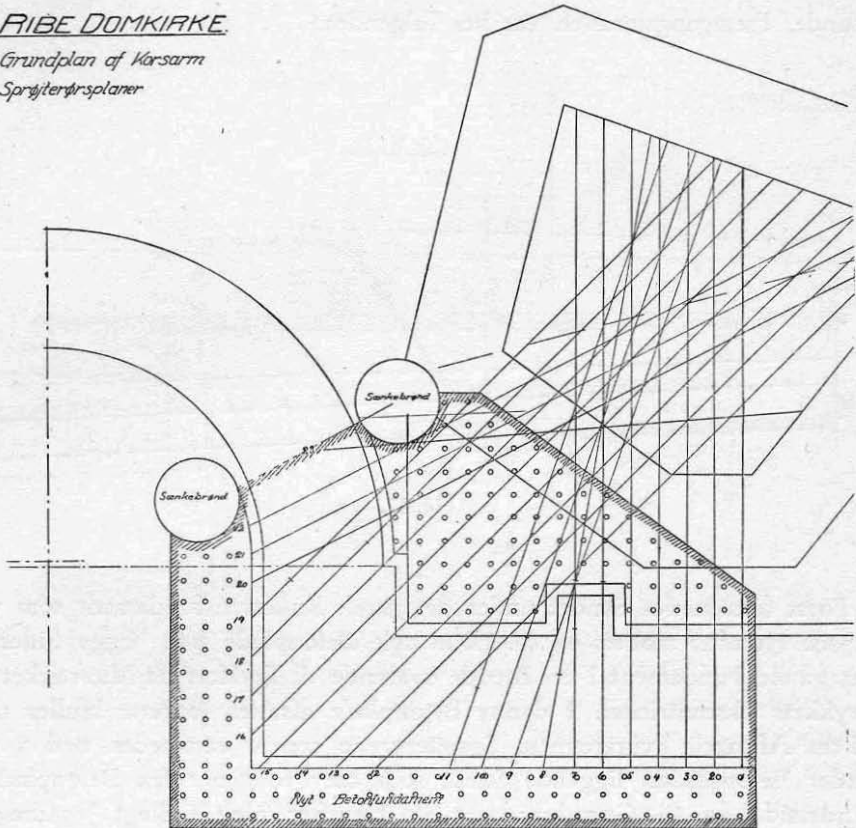


Fig. 16.

Apsisfundamentet blev derfor en Kombination af den oprindelig tænkte Udførelsesmaade og Forsteningsarbejde, idet Arbejdet blev udført paa følgende Maade:

Efter at Sænkebrøndene var sænkede, fyldte med Beton, og Jerndragerne indlagte og opkilede, blev Sandmassen under det gamle Rullestensfundament forstenet ned til Grundvandsspejlet og i en noget større Bredde end

det gamle Fundament. Herefter blev der sektionvis udgravet foran og bagved det gamle Rullestensfundament ned til Forsteningen, Fugerne i Rullestensfundamentet blev udkradsede saa dybt som muligt uden at ødelægge Fundamentet, og Fugerne fyldt med Cementmørtel ved Indsprøjtning med Cementkanon, ligesom der ogsaa blev paasprøjet en armeret Skal paa begge Sider af Rullestensfundamentet. Fig. 14 og 15 illustrerer Arbejdets Omfang og Udførelsesmaaden. Forstærkningerne af Fundamenterne under Korsarmmurene blev udført uden Anvendelsen af Sænkebrønde. Fremgangsmaaden var her følgende:

RIBE DOMKIRKE

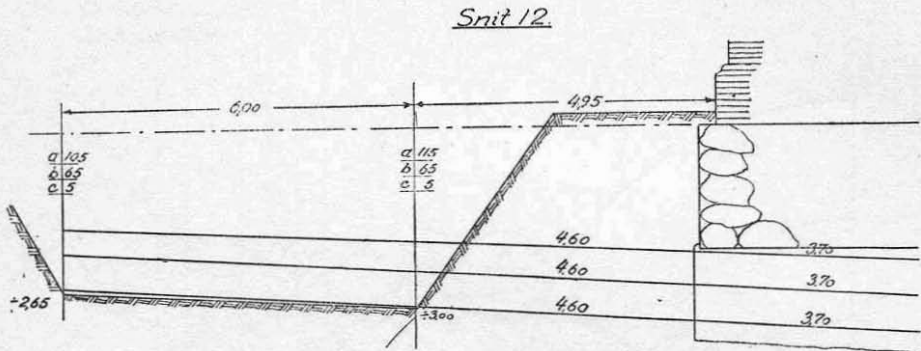


Fig. 17.

Først forstenedes Sandet under det gamle Rullestensfundament som ved Apsis. Herefter støbtes en ca. 1,0 m tyk Betonplade paa begge Sider af det gamle Fundament i en Bredde svarende til Trykket fra Murværket og Trykkets Ekscentricitet. I denne Betonplade afsattes lodrette Huller med 55 cm Afstand, hvorigennem Sprøjterørene senere rammedes ned i det under Betonpladen liggende Sand, som blev forstenet fra Betonpladens Underside og til Grundvandsspejlet. Herefter blev indlagt Jerndragere paa tværs af Kirkemuren til Fordeling af Trykket paa det udvidede Fundament. Jerndragerne blev opkilede og indstøbte. Endelig blev hele det gamle Rullestensfundament forstenet, idet der udvendigt og indvendigt langs Omkredsen af Rullestensfundamentet i Betonfundamentet var udsparet Huller for Indsætning af Sprøjterør, hvorigennem der blev indpresset Kemikalier til Forstening af Rullestensfundamentet. At dette kunde lade sig gøre ved Anvendelsen af særlig højt Tryk paa Kemikaliepumperne var godt gjort ved Forsøg, idet en Jernbeholder var blevet pakket med Sten og Sand som Rullestensfundamentet og forstenet ved Indpresning under højt Tryk gennem et enkelt Rør.

Fig. 16, 17 og 18 illustrerer Arbejdets Omfang og Udførelsesmaaden. Forstærkningen af det gamle Rullestensfundament blev herved udført uden at berøre dette eller udgrave under eller omkring det. Der blev ialt for-

RIBE DOMKIRKE

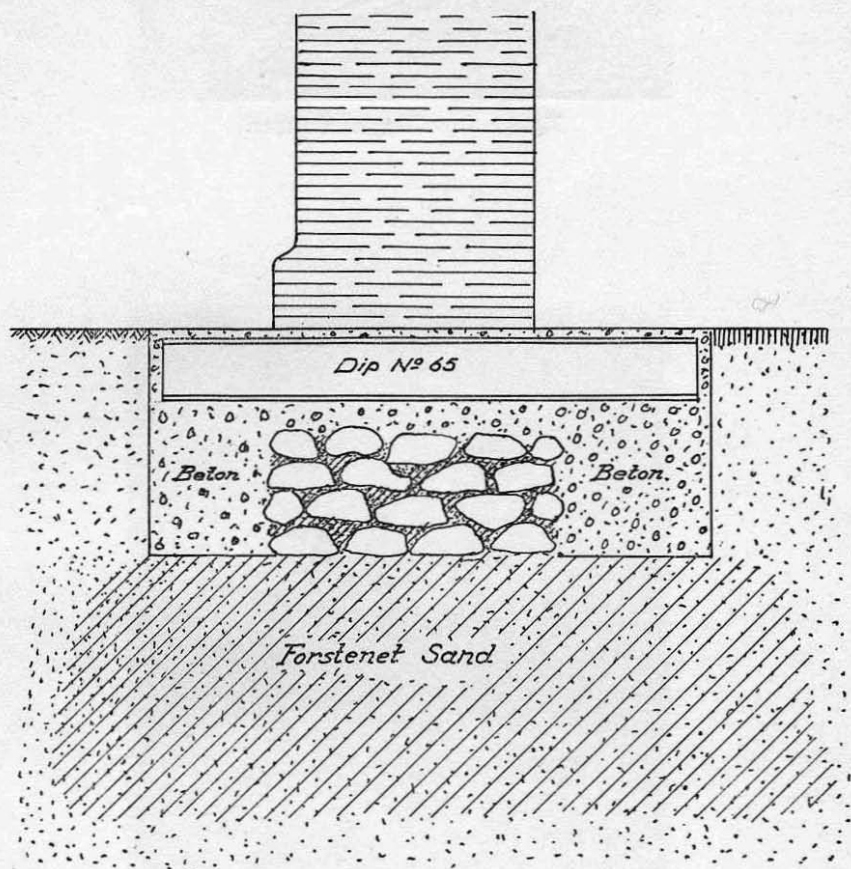


Fig. 18.

stenet ca. 400 m³ Sand under og omkring Fundamenterne, hvortil medgik ca. 125 ts Kemikalier, og der blev rammet ca. 850 Sprøjterør.

Det blev endvidere ved Opgravning enkelte Steder konstateret, at Forsteningsprocessen var foregaaet efter Forventning og Sandet forstenet til en fast Masse af Karakter som Sandsten, ligesom ogsaa Arbejdet blev fuldført, uden at der fremkom nye Revner i Kirkens Murværk.

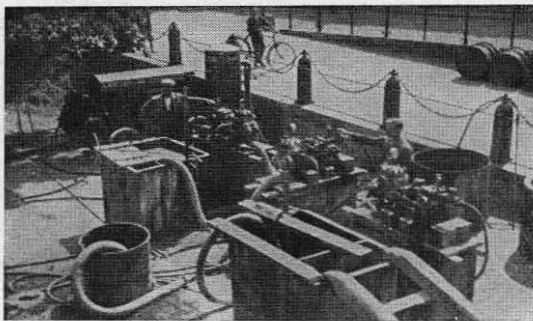


Fig. 19. Opstilling af Pumper.

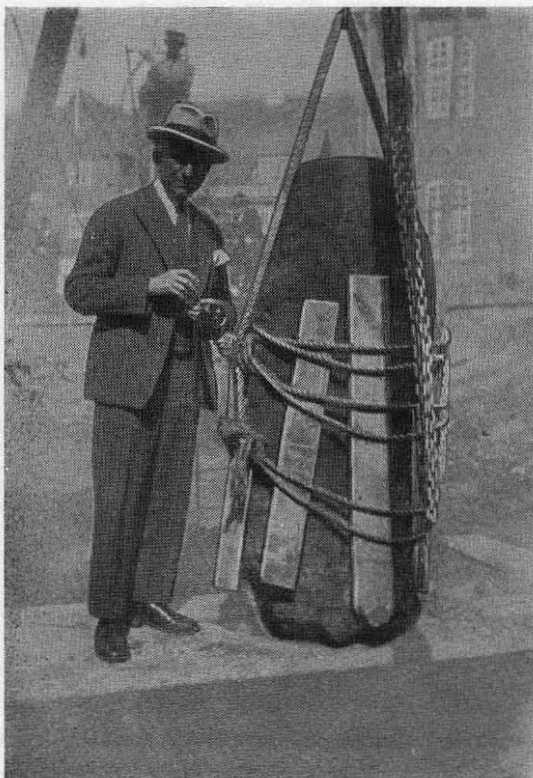


Fig. 20. Opgravet Forstening fra eet Sprøjterør
med Sprøjtelængde 1,0 m.



Fig. 21. Ramning af Sprøjterør.

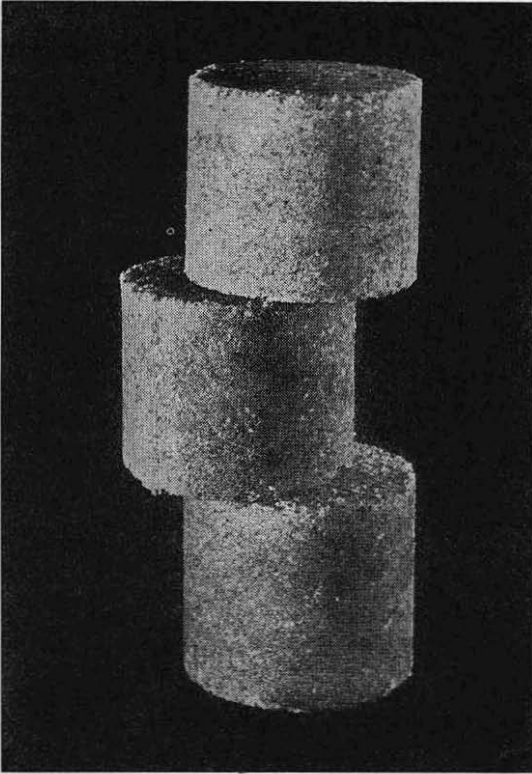


Fig. 22. Sand forstøbet i Prøveapparat.

E. Ved Anvendelse i Vandbygning.

Indenfor Vandbygning har Metoden utvivlsomt store Anvendelsesmuligheder, men udover de under B og C nævnte Tilfælde er den formentlig ikke anvendt ved noget Arbejde. Man kan imidlertid tænke sig en Række forskellige Tilfælde, hvor Metoden vil kunne finde Anvendelse.

II.

Tætningsarbejder.

Indpresning af Kemikalier kan ogsaa anvendes til Tætning af fine Revner i Murværk og Beton eller til Forstærkning af porøs Beton. Revnerne kalfatres med Værk eller tættes med Cementmørtellag, og der indsættes i Revnerne Rør med passende Mellemrum, hvorigennem Kemikalierne I og II presses ind og danner et Bindemiddel, der tætner Revnerne. Fremfor andre Fremgangsmaader har denne den Fordel, at Revnerne tættes i Dybden, medens de hidtil kendte Fremgangsmaader kun har kunnet tætnes rent overfladisk. Metoden kan anvendes selv paa Steder, hvor der er Vandtryk i Revnerne, og Vandet strømmer ud. Metoden har i denne Hen-

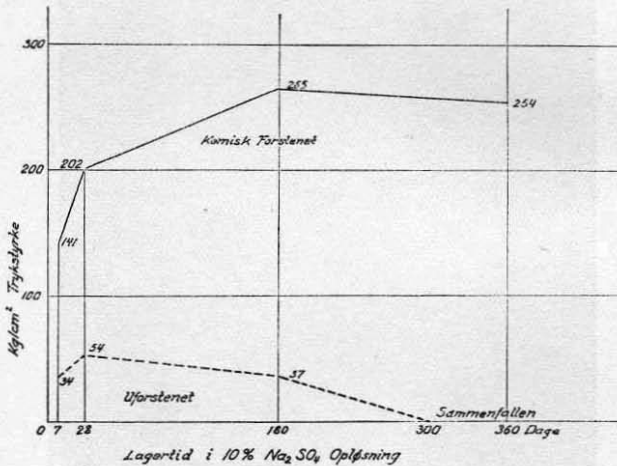
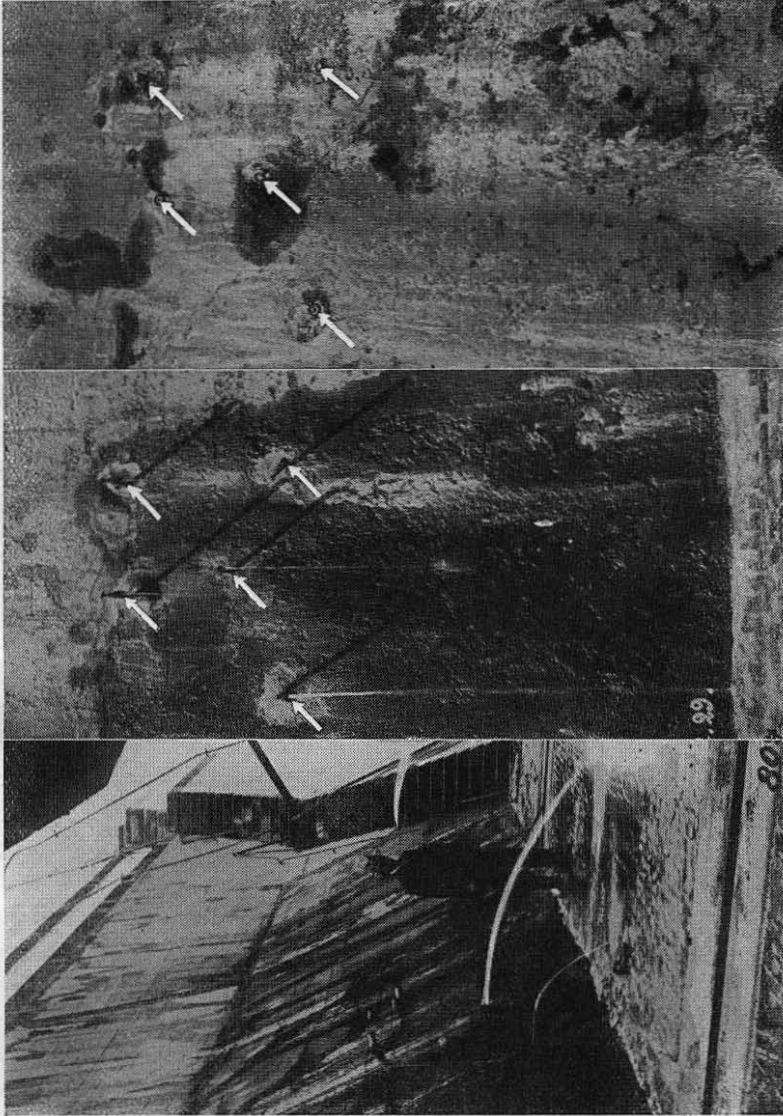


Fig. 23.

sende fundet stor Anvendelse i Tyskland til Tætningsarbejder i Dokker, Sluser, Tunneler etc. Herhjemme er der ogsaa udført en Del Tætningsarbejder af denne Art og med et godt Resultat.

Til Forstærkning af porøs Beton har Metoden ogsaa fundet Anvendelse, og der er af Professor Dr. *Guttman* paa Forschungsinstitut des Vereins deutsches Eisenportlandzementwerke i Düsseldorf, foretaget en lang Række



Samme Væg, tætnet.

Samme Væg med indstøbte Sprojterør.

Dokvæg inden Tætningen.

Fig. 24.

Forsøg i denne Henseende, som har godtgjort, at den med Kemikalierne indpressede Beton har en væsentlig forøget Modstandsdygtighed mod Angreb af Syre og Saltopløsninger. De af Professor *Guttmann* udførte Forsøg blev udført med Betonprøvelegemer i Blanding 1:10 med 7% Vand. Halvdelen af Prøvelegemerne blev efter 7 Døgn kemisk forstærkede og derefter nedlagt i forskellige aggressive Vædsker, saasom 10% Natriumsulfatopløsninger, 10% Magniumsulfatopløsninger, humussyreholdigt Vand, kulsyreholdigt Vand og mange andre Opløsninger. Forsøgene gav det Resultat, at alle de forstærkede Prøvelegemer var betydeligt mere modstandsdygtige overfor de angivne aggressive Vædsker end de ikke forstærkede Prøvelegemer. Fig. 23 viser Forholdet for Prøvelegemerne i 10% Natriumsulfatopløsning. Den større Modstandsdygtighed beror vel i første Række paa den større Tæthed af den kemisk behandlede Beton. Rumvægten af Prøvelegemerne forøgedes ogsaa ca. 20% ved Indpresningen af Kemikalierne.

Man har saaledes her en Metode til Ubedring af daarlig Beton, og en Metode, der er anvendelig, hvor almindelig Cementinjektion ikke lader sig praktisere paa Grund af Porernes Finhed.
