

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 5 (1956)

Rubrik: Vb. Influence of atmospheric actions and of temperature changes on
the behaviour of structures

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Vb1

**Altérations dans les constructions en béton armé de la S. N. C. F.;
exposé d'un procédé d'injection de produits plastiques**

**Deterioration of reinforced concrete structures of the French
Railways; description of a process of injecting plastic materials**

**Einwirkungen auf Eisenbetonbauwerke; Beschreibung
von Schadenbehebungen durch Injektion von plastischem Material**

**Alterações sofridas pelas construções de betão armado da
S. N. C. F.; descrição de um processo de injeção
de produtos plásticos**

N. BOUTRON

Ingénieur à la S. N. C. F.

M. BERTRAND

Inspecteur à la S. N. C. F.

Paris

Les Chemins de Fer Français ont fait depuis une cinquantaine d'années un large emploi du béton armé dans leurs installations fixes :

- soit pour les ouvrages d'art : ponts supérieurs et, plus récemment, ponts sous rails,
- soit pour les bâtiments, de types très divers : remises à machines, ateliers, halles à marchandises et à voyageurs, abris de quais, postes d'aiguillage, bâtiments d'habitations, réservoirs, etc..

Si les altérations constatées dans ces constructions peuvent résulter, dans certains cas, d'agents spécialement agressifs : vapeurs sulfureuses, eaux séléniteuses, eau de mer, l'expérience montre que l'action des agents atmosphériques et des variations de température est susceptible à elle seule de provoquer aussi des altérations, parfois sérieuses.

La S. N. C. F. a déjà eu l'occasion de relater, notamment dans une Publication Préliminaire du Congrès de Cambridge (Thème CI-4 – corrosions du béton armé dans les Ponts et Charpentes de chemins de fer), des observations d'altération de ses constructions, notamment sous l'action conjuguée des fumées (vapeurs sulfureuses) et des agents atmosphériques.

C'est pourquoi, tout en consacrant la première partie du présent article à caractériser les altérations provoquées par les agents atmos-

phériques, nous essaierons ensuite d'apporter une contribution au problème de la conservation des constructions en béton armé en exposant une méthode d'injection de produits plastiques qui nous a donné des résultats encourageants.

I

Effets des agents atmosphériques et des variations de température

Nous rappelons que ces effets sont essentiellement les suivants:

- sous l'action des eaux de pluie (eaux pures) : appauvrissement des bétons et des mortiers des chapes,
- sous l'action du gel: dégradations et cloquages des chapes, éclatements plus ou moins localisés dans les éléments de béton, avec mise à nu d'armatures,
- sous les variations de température: fissuration des bétons et des chapes (effets généralement aggravés par phénomène de retrait).

L'apparition et le développement de ces altérations dépendent à la fois de la conception de l'ouvrage, de la correction des calculs, et de la qualité de l'exécution.

Les deux premiers de ces facteurs ont une influence importante sur le comportement de l'ouvrage au point de vue fissuration.

C'est ainsi que, dans bien des ouvrages anciens, on ne s'est pas préoccupé de ménager des joints de dilatation et de retrait, ou bien, s'ils existent, ils sont en nombre insuffisant, ou de disposition défectueuse.

Nous pouvons citer comme exemple les Ateliers de Machines de Nevers (construits en 1930), où des chemins de roulement supportés par des consoles, elles-mêmes solidaires des poteaux de support, comportaient des joints de dilatation trop espacés (67^m50). Il en résulta, sous les variations de température, outre des fissures dans les poutres, des cassures complètes entre consoles et poteaux, qui obligèrent à construire de nouvelles consoles supportant les poutres par l'intermédiaire de plaques de friction. (Fig. 1).

Pour une raison analogue, sur les poteaux de joint d'une passerelle à Vichy, des fissures sont apparues à leur base créant ainsi les articulations qui n'avaient pas été prévues à la construction.

Des erreurs de principe dans les calculs peuvent en outre avoir pour conséquence des fissurations qui, non imputables aux variations de température (mais toujours aggravées par celles-ci) ouvrent néanmoins la voie aux altérations provoquées par les eaux de pluie et le gel.

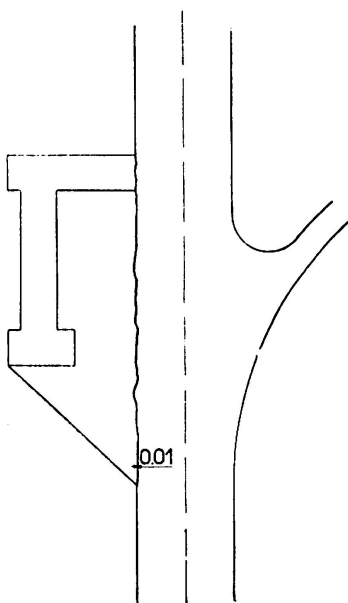


FIG. 1. Cassure de console

C'est ainsi que, dans des couvertures anciennes en béton armé de halles, d'ateliers, d'abris, comportant des hourdis et des solivages à plusieurs travées continues, ces éléments ont présenté dans bien des cas des fissures ou même des cassures à l'aplomb des appuis intermédiaires,



FIG. 2. P. S. d'Achères

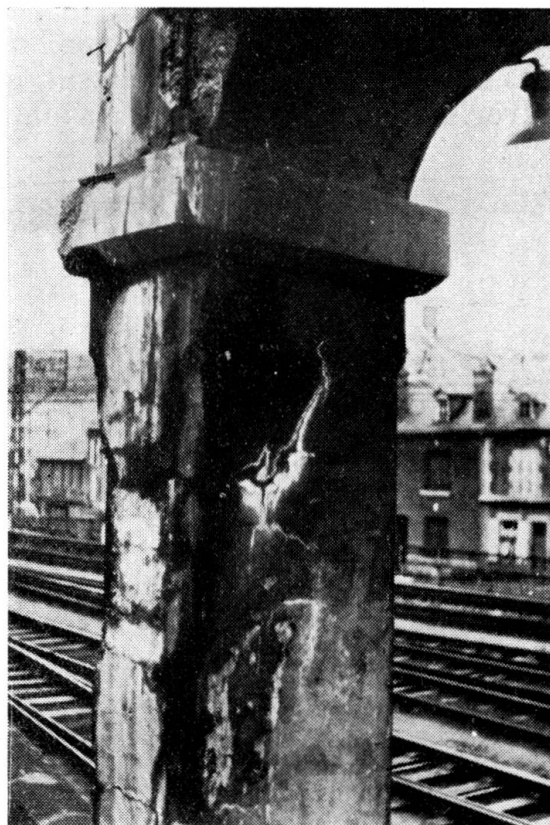


FIG. 3. Passerelle de Neussargues

par suite d'insuffisance d'armatures supérieures, ces éléments ayant été calculés en travée indépendante par simplification.

Quant à la qualité de l'exécution, on sait qu'elle a une importance primordiale vis-à-vis du comportement ultérieur de l'ouvrage sous l'action des agents atmosphériques.

En effet, il n'est pas besoin de rappeler :

- que les mortiers et bétons de ciments Portland artificiels sont vulnérables aux eaux de pluie, lorsque celles-ci peuvent les pénétrer; elles les appauvrissent alors dans leur masse par dissolution de la chaux qu'ils contiennent,
- que, dans les ouvrages en béton (ou à poutrelles enrobées) c'est le béton lui-même qui assure la protection des aciers et que, s'il est poreux ou fissuré, l'action de l'air humide ou des eaux de pluie oxyde les armatures, d'où des réductions de section parfois impor-

tantes et des fissurations ou éclatements du béton lui-même sous le foisonnement de la rouille. Cette oxydation se produira bien entendu également si, par suite d'un ferrailage défectueux, certaines armatures sont insuffisamment enrobées (défauts assez fréquents dans les ouvrages anciens).

S'il s'agit de toitures, ou de hourdis de ponts, soumis à l'action répétée des eaux de pluie, le processus de pénétration et d'altération, souvent favorisé par des fissures, va s'amplifiant au fur et à mesure que le béton

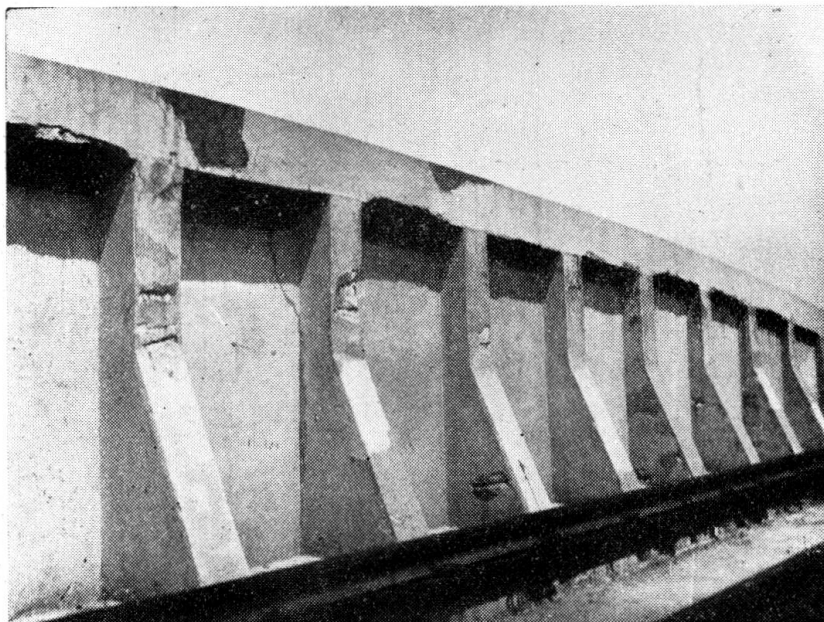


FIG. 4. Pont sous rails
à Marseille

s'appauvrit, jusqu'à provoquer dans certains cas la ruine complète de l'ouvrage, si l'on ne rétablit à temps une étanchéité satisfaisante.

Un processus analogue s'observe fréquemment sur les éléments de béton armé exposés directement aux agents atmosphériques (façades de bâtiments, rives ou superstructures de ponts), l'orientation a alors une influence importante tant par l'exposition aux pluies que par la prépondérance des effets du gel.

Nous donnons quelques vues d'éléments ainsi avariés :

- Superstructures du Bow-String d'Achères sur la ligne de Paris au Havre (Fig. 2) : (porosité du béton, insuffisance d'enrobement),
- Passerelle de Neussargues (Fig. 3) poteau support dégradé par suite des effets du gel et des variations de température (altitude : 800 m, climat rigoureux),
- Pont sous rails à poutres latérales à Marseille (Fig. 4) : dégradations favorisées par l'air salin.

II

Mesures classiques destinées à assurer la conservation des constructions

On vient de voir que les altérations du béton armé sous l'action des agents atmosphériques naissent et se développent en fonction du degré de porosité et des fissurations du béton (et des chapes), les 2 facteurs étant d'ailleurs assez souvent conjugués.

Il faut chercher dans tous les cas à stabiliser la situation.

Nous ne traiterons pas ici des procédés de réparation des avaries courantes du béton armé (traitement au ciment-gun de surfaces dégradées ou présentant des armatures à nu, reprises d'arêtes, etc.), qui ont déjà été exposés dans la publication préliminaire du Congrès de Cambridge citée plus haut.

Nous nous étendrons essentiellement sur le traitement des défauts d'étanchéité (fissures notamment) qui présente d'ailleurs, outre la question de conservation de l'ouvrage, un intérêt direct pour les usagers de la construction.

Réfections au ciment ou mortier de ciment

Qu'il s'agisse de béton poreux ou de chapes en ciment poreuses, ou de fissures, l'emploi du ciment pour rétablir l'étanchéité n'est en général pas recommandable. En effet, la réfection en ciment d'une chape cloquée ou fissurée, l'exécution d'une chape en ciment sur un support ancien, l'injection de ciment dans le béton ou les fissures, donnent rarement des résultats satisfaisants et durables.

L'obturation rigide des fissures, avec du ciment ou du mortier peut d'ailleurs présenter des inconvénients; en effet, beaucoup de fissures ont une ouverture variable dans le temps en fonction de la température et des surcharges momentanées (vent, neige, convois pour les ponts). Un bouchage au ciment n'assure pas alors une obturation permanente et peut en outre, en interdisant le jeu d'une fissure, en provoquer une autre.

Etanchement et obturations par produits plastiques selon les méthodes traditionnelles

- application de bandes de feutre imprégnées ou de métal (cuivre, plomb, aluminium) enrobé de bitume pur,
- calfeutrement par bourrage après élargissement en V des lèvres de la fissure à l'aide d'un mastic plus ou moins épais.

Lorsqu'ils sont appliqués sur un support soumis à des mouvements alternés à grande fréquence, même à faible amplitude (cas des ponts de chemin de fer à poutrelles enrobées) ces produits, dans un délai assez court, s'écrouissent et se coupent en quelques points singuliers. L'armature en métal n'y fait pas exception.

De plus, leur couleur noire les rend inesthétiques. Ils absorbent les rayons solaires et vieillissent assez rapidement. Les surfacés aluminium présentent toutefois à cet égard une amélioration.

III

Procédes d'étanchement par injection de produits autres que le ciment

A - Essais du Laboratoire National des Ponts et Chaussées

En Juillet 1942, dans une Circulaire de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, M. DURIEZ, Ingénieur en Chef, Chef du Laboratoire National des Ponts et Chaussées, exposait le résultat des recherches entreprises par ses Services en vue d'obturer les fissures du béton armé afin de protéger les aciers contre l'attaque des eaux et des fumées.

Ecartant l'obturation rigide, considérée comme généralement nuisible dans les fissures se produisant dans les conditions habituelles de travail

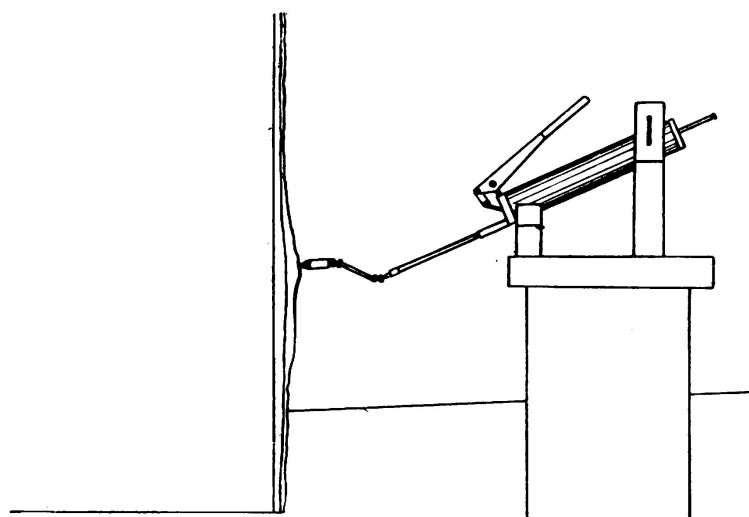


FIG. 5. Appareil d'essai

des ouvrages, M. DURIEZ orienta les recherches vers l'obturation plastique, assimilant ces fissures à des joints de dilatation accidentels qu'il convenait d'obtenir avec des produits permettant un certain jeu.

Les produits essayés étaient des bitumes et des brais de goudron à points de ramollissement différents.

Le matériel employé se composait d'une pompe Técalémit à levier d'une contenance de 1 litre, reliée à une aiguille hypodermique par l'intermédiaire d'un tuyau articulé. L'aiguille était placée entre deux plaques planes de béton dont l'écartement, variable, représentait la fissure à injecter. Un joint en ciment prompt calfeutrait extérieurement la «fissure» ainsi créée en même temps qu'il maintenait l'aiguille en position (Fig. 5).

B - Recherches de la S. N. C. F.

En 1944, de nombreuses destructions de guerre, s'ajoutant à celles de 1940, posèrent, sur la Région de l'Est en particulier, de multiples problèmes de réparations de ponts et autres constructions en béton armé.

Nous cherchâmes alors à utiliser sur le plan pratique les essais de M. DURIEZ, dont l'avis sur l'inopportunité de certaines obturations au ciment confirmait nos propres constatations.

Dès le début de 1945, un premier essai fut fait sur la toiture d'un abri à voyageurs de la gare de Noisy-le-Sec, fortement endommagé par bombardement aérien.

Notre matériel comprenait: 1 marteau, 1 tamponnoir de 4 mm de ϕ 1 pompe Técalémit d'une capacité de 0,5 l., 1 jeu d'aiguilles. Bien que nous ayons conservé le terme «aiguille» l'aiguille hypodermique trop fragile était remplacée par un tube en laiton de $\phi = 2$ mm. (Fig. 6) brasé sur une embase en acier fileté intérieurement de façon à pouvoir se raccorder sur le tuyau d'injection et recevoir un bouchon fileté.

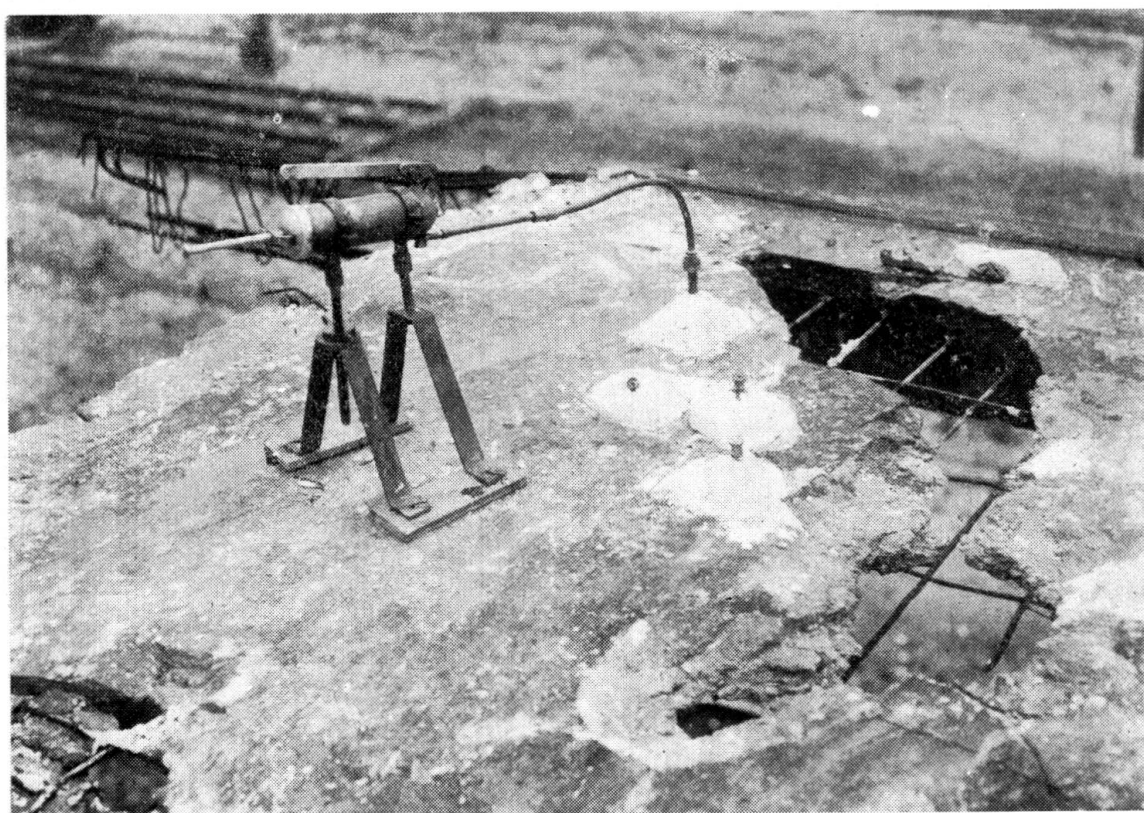


FIG. 6. Noisy-le-Sec - Abri à voyageurs

Sur les fissures, dont l'ouverture variait de 0,5 à 3mm sur la face supérieure la plus ouverte, nous avons percé des trous de 4mm de diamètre et de 2cm de profondeur. Ces trous, espacés de 0,60 à 1,00m recevaient chacun une «aiguille». Ces aiguilles étaient scellées par une sorte de plot confectionné autour de l'embase. La fissure était dans le même temps obturée superficiellement sur les 2 faces, et sur toute sa longueur, à l'aide d'un solin à section triangulaire, exécuté dans un premier essai au mortier de ciment.

Le retrait, l'adhérence insuffisante sur le béton, les trépidations occasionnées par la circulation des convois à proximité de l'ouvrage, occasionnèrent des décollements de solins et d'aiguilles.

A défaut d'accélérateur de prise, nous avons finalement préféré le plâtre qui avait l'avantage de permettre la réparation rapide de ces désordres et d'arrêter les écoulement qui se produisaient alors.

Nous avons injecté deux produits bitumineux commerciaux agréés par la S. N. C. F., à savoir:

- un produit liquide destiné à pénétrer les fissures très fines,
- un produit plus épais pour les fissures plus ouvertes.

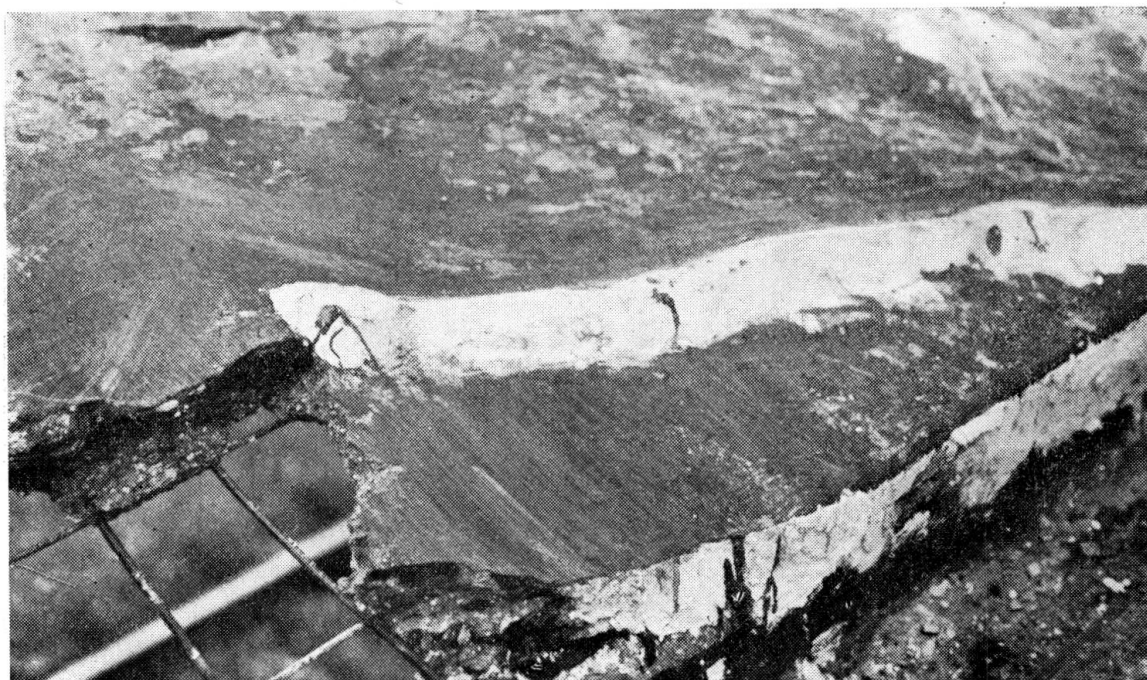


FIG. 7. Noisy-le-Sec – Abri à voyageurs

Commencée par une extrémité de la fissure, l'injection était contrôlée par les aiguilles voisines et poursuivie à partir de ces aiguilles et de proche en proche jusqu'à remplissage complet (Fig. 7).

Après quelques jours d'attente, nous avons enlevé solins et aiguilles et dégagé quelques fissures injectées. Les produits avaient complètement enduit le béton et les armatures. Le résultat cherché était atteint.

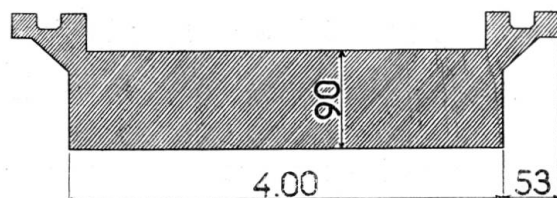


FIG. 8. P. I. de Fouchères coupe transversale

Aussitôt après, une application pratique de ce procédé eut lieu sur un pont de la ligne de Troyes à Gray. Il s'agissait d'un pont dalle en béton armé, sous rails, à 1 voie, dit de Fouchères, sur la Seine (5 travées continues de 10,30 m d'ouverture chacune), (Fig. 8).

En 1944, les travées 2 et 3 avaient été détruites par faits de guerre, ce qui avait occasionné des fissures transversales ayant, sur le dessus du tablier :

- dans la travée n° 1, 0,25 à 0,75mm d'ouverture,
- dans la travée n° 4, 0,5 à 1,5mm d'ouverture.

Ces fissures intéressaient toute la section, mais s'amenuisaient jusqu'à devenir imperceptibles à la sous-face.

Les injections eurent lieu, en hiver, du 28 Janvier au 23 Février 1946, aussitôt achevée la reconstruction des 2 travées détruites.

Nous avons utilisé le matériel et les produits déjà décrits et appliqué la même technique que précédemment. (Fig. 9).

Les fissures ont été calfeutrées superficiellement sur le dessus et les 2 côtés seulement, puisque invisibles à la sous-face. La tenue des solins

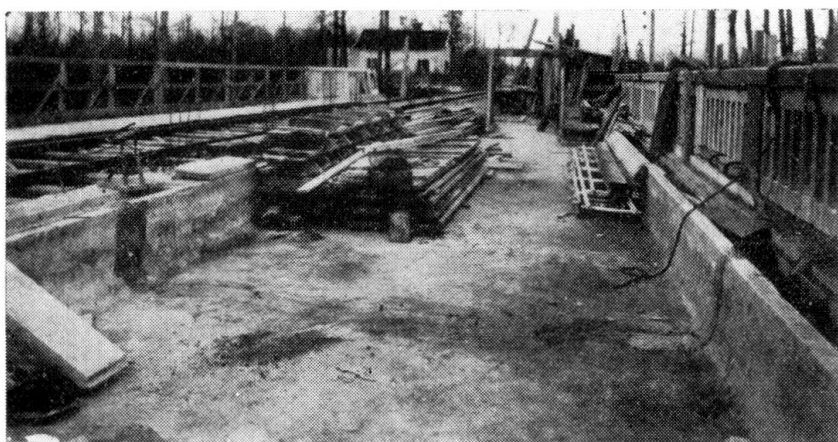


FIG. 9. P. I. de Fouchères

et des scellements a été contrariée par le froid. Nous avons en outre retrouvé là les difficultés d'adhérence précédentes.

Partant du milieu du tablier, nous avons d'abord injecté le produit liquide pour faciliter, en raison de l'épaisseur du béton, le passage du produit épais. Le produit liquide imprègne le béton et réduit les rugosités internes de la fissure. Le produit épais glisse alors entre deux films liquides, ce qui améliore ses possibilités de répartition. Nous avons progressé d'aiguille en aiguille jusqu'à apparition du produit sous le tablier et aux divers points de contrôle.

Malgré l'épaisseur du tablier, la répartition de l'injection a été excellente. Les fissures les plus fines étaient imprégnées. C'est ainsi que sont apparues, dessinées par un fin liseré noir, des fissures de reprise de bétonnage qui étaient invisibles avant l'opération. (Fig. 10).

La même année, nous avons traité de la même façon quelques fissures en voile mince dans la couverture en béton armé d'une halle à marchandises à Château-Thierry, endommagée par des explosions de munitions. L'étanchéité a été rétablie.

La possibilité d'injecter les fissures du béton armé et, par cela même, de protéger le béton et les armatures contre les corrosions étant ainsi

reconnue, nous avons cherché à obtenir, par le même procédé, l'étanchement des ouvrages sous rails, à poutrelles enrobées.

On sait en effet que ces ouvrages, lorsqu'ils sont de types anciens, présentent fréquemment des écoulements d'eau entre les 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} poutrelles de rive, dans l'axe longitudinal du tablier (pour les tabliers à 2 voies), sur les appuis intermédiaires (pour les ouvrages à plusieurs travées).

Pour ce nouvel essai, nous avons choisi un ouvrage dont le nombre de voies, leur tracé, la densité de la circulation rendaient très difficile et très onéreuse toute réfection d'étanchéité traditionnelle.

Cet ouvrage construit en 1921, situé à l'entrée de la gare de Reims, est un passage inférieur à 2 travées continues de 7,00m d'ouverture chacune et de 30,00 m de largeur sans coupures intermédiaires. Le tablier est constitué par des IPN de 400mm enrobés, à ailes inférieures appa-

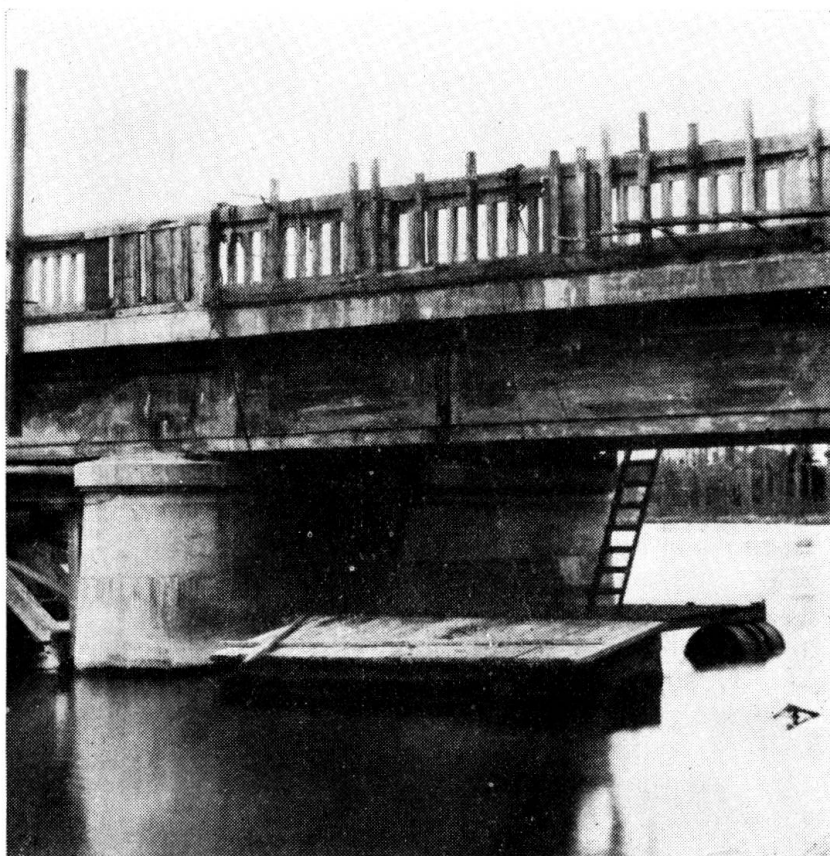


FIG. 10. P. I. de Fouchères

rentes. Les poutrelles reposent en leur milieu sur un poitrail constitué par des IPN de 450mm assemblés par couvre-joints au droit de piliers supports espacés de 2,058 m.

Le tablier a été à l'origine revêtu d'une chape en asphalte de 15mm d'épaisseur recouverte d'une contre-chape en béton maigre de 40mm d'épaisseur. (Fig. 11).

Des infiltrations s'étant produites au droit du poitrail, une chape complémentaire en plomb enrobé de bitume pur avait été posée vers 1938

entre deux couches d'asphalte, sur une largeur de 1,00m à cheval sur l'appui. Une contre-chape en mortier de ciment en assurait la protection.

Aucun résultat n'ayant été obtenu, nous nous sommes proposés d'étancher à titre d'essai un élément du poitrail et les zones avoisinantes du tablier, en opérant dans une entrevoie pour pouvoir enlever le ballast.

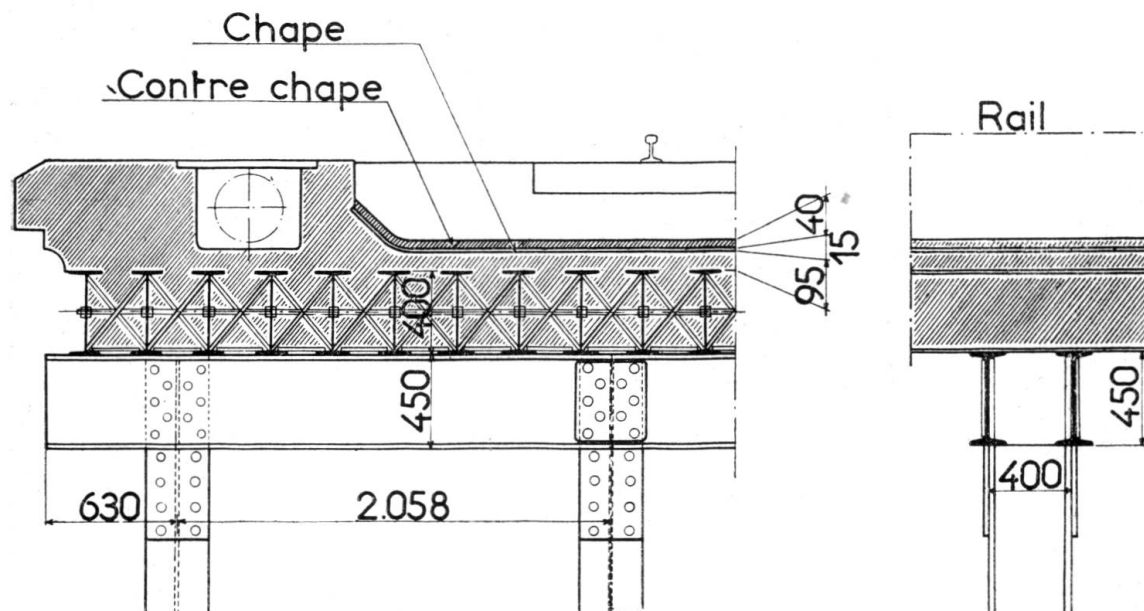


FIG. 11. P. I. de Courcelles

Nous avons trouvé, au droit des appuis, et dans l'ordre: la contre-chape fendue, la 1^{ère} couche d'asphalte fendue, la chape en plomb enrobée, écrouie et déchirée, la 2^{ème} couche d'asphalte fendue ainsi que le béton de la dalle.

Nous avons retroussé la chape en plomb pour atteindre la fissure du béton et y sceller nos aiguilles (Fig. 12).

Nous nous attendions à traiter, au sein d'un béton compact, des fissures caractérisées dont le tracé épouserait le profil des laminés. En fait, nous avons trouvé des vides parfois importants, à communications multiples.

Nous fûmes donc amenés à utiliser une pompe de plus grande capacité, à plus fort débit, à plus grand rayon d'action.

A travers les calfeutrements inférieurs étaient fixées des aiguilles formant exutoires pour les eaux infiltrées dans le tablier et qui devaient servir aussi de points de contrôle de la propagation de l'injection, et, le cas échéant, de points d'injections.

Dans cette zone, nous avons injecté les mêmes produits bitumineux que lors des essais précédents. Nous avons toutefois dû épaissir davantage le produit épais, à l'aide de brai fondu, à cause de l'importance des vides.

Cependant certains vides, de volume unitaire important, se sont parfois emplis de produit liquide que le produit épais n'a pu remplacer. Ce produit liquide, à l'abri de toute évaporation, enfermé en milieu mouillé, ne sèche pas ou très lentement. Toute rupture de calfeutrement, toute communication intempestive avec l'extérieur entraînent un écoule-

ment plus ou moins abondant qui compromet l'efficacité du travail exécuté, en même temps qu'il peut être pour les usagers une source de dommage sous forme de taches indélébiles. Cela s'est produit à plusieurs reprises, mais, par chance, sans dommage autre que la perte du produit écoulé.

C'est alors que, pour pallier cet inconvénient, nous avons pensé qu'une solution de caoutchouc, à solvant plus volatil, et sans huiles, devrait permettre une meilleure tenue du produit en place. L'élimination



FIG. 12. P. I. de Courcelles

du solvant, à la périphérie des fissures, devait entraîner la formation d'un calfeutrement élastique, capable de résister aux mouvements de flexion et empêcher l'écoulement de la solution.

La Société La Guttaterna prépara 2 produits, appelés F1 (très fluide) et F12 (viscosité moyenne) de couleur noire. Le mélange des deux devait permettre d'obtenir la viscosité convenable aux vides à traiter. Une première application de ces produits a été faite sur une autre zone de l'ouvrage ci-dessus moyennement humide.

Par la suite, nous avons demandé à la Société La Guttaterna de confectionner les mêmes produits, en teinte claire. Nous les avons utilisés à la réfection de l'étanchéité des deux passages souterrains à voyageurs de la gare de Troyes, sous les voies I et II de la ligne de Paris à Bâle.

Ces passages souterrains, du type à poutrelles enrobées, ont 5,00 m d'ouverture chacun. Ils comprennent 3 tabliers de 7,50 m de longueur, et comportent des poutrelles IPN de 320 mm, reliées entre elles par 3 files de tiges filetées alternées de ϕ 20 mm et entretoisées par des fers plats disposés en croix de St. André.

Le béton, sur les poutrelles, avait 50 mm d'épaisseur. A l'origine, une chape en asphalte de 15 mm d'épaisseur et une contre-chape de 40 mm en béton maigre assuraient l'étanchéité; en outre, un enduit grillagé

de 20 mm couvrait la sous-face du tablier. Par la suite, les infiltrations qui se sont produites à travers le tablier ont occasionné l'oxydation du grillage, qui s'est rompu. L'enduit, fragmenté, menaçait de tomber. Il a été enlevé pour éviter des accidents.

Au moment où nous avons entrepris nos injections, les infiltrations se faisaient le long des murs de quai, intéressant les quatre premières poutrelles de rive. Le béton de remplissage apparaissait parfois compact, parfois très aéré, avec par endroits des vides au droit des tiges filetées et des croix de St André.

Pour retenir l'injection, et à cause des vides du béton, nous avons exécuté un enduit général en ciment artificiel additionné d'un accélérateur, entre les poutrelles considérées. Des aiguilles peu profondes avaient été scellées auparavant, en quinconce, tous les 0,80 m de chaque côté des poutrelles, pour assurer l'écoulement des eaux infiltrées, contrôler la répartition du produit et pour permettre l'injection le cas échéant.

Le ballast fut enlevé entre la murette du quai et les têtes de traverse. Un solin d'angle, exécuté en mortier de ciment sur un bourrage en mastic bitumineux, apparut cassé, sans que l'on puisse déceler une fissure franche, nettement caractérisée. Cependant, le tablier absorbait l'eau que nous versions le long du quai.

Une tentative d'injection par le dessous fut infructueuse; les aiguilles trop courtes, ne débouchaient pas.

Partant du dessus du tablier dégarni, nous avons percé des trous obliques atteignant l'angle supérieur des poutrelles. Ces trous, au nombre de 3 par poutrelle, avaient 15 mm de diamètre. Nous y avons placé un tube de fer, scellé superficiellement, sur lequel se raccordait l'aiguille prolongeant le tuyau d'injection. (Fig. 13).

Pour ce nouveau travail, nous avons créé le matériel figuré sur la Fig. 14. Il comprend essentiellement un cylindre en acier étiré dans lequel se déplace verticalement un piston actionné par une tige filetée munie d'un volant. L'orifice de sortie se raccorde à 1 rampe à 3 départs permettant d'alimenter 3 aiguilles en même temps.

L'injection fut arrêtée lorsqu'elle apparut sur les sommiers, aux aiguilles de contrôle scellées sous le tablier et que la communication fut établie entre les diverses aiguilles d'injection.

Exécuté sans apporter aucune gêne ni aux voyageurs, ni au trafic, ce procédé d'étanchement est évidemment beaucoup plus économique qu'une réfection d'étanchéité traditionnelle (non dépose de voie, absence de frais de ralentissements, de modifications d'enclenchements, de signalisation).

Le matériel, robuste, peu encombrant, utilisable en tous lieux, a donné entière satisfaction. Il a été généralisé depuis pour l'emploi des produits visqueux.

Les produits Guttaterna, noirs puis beige clair, que nous avons utilisés ont donné dans l'ensemble satisfaction en milieu moyennement humide. En présence d'eau, le produit, hydrophobe, s'insinue mais ne s'accroche pas. Cela nous a valu quelques écoulements extérieurs, moins graves qu'avec les solutions bitumineuses, mais gênants. Nous avons alors demandé au fabricant de composer un produit épaississant par réaction chimique de façon à ne plus couler dans un temps très court.

Après quelques mois de recherches, la Société La Guttaterna a mis au point un produit noir dénommé FR 12, produit moyennement visqueux qui se fluidifie par adjonction d'un diluant. Il épaissit par réaction en présence de chaux et ne coule plus au bout de quatre jours.

Ce produit a été utilisé sur plusieurs ouvrages de la Région Sud-Est, en particulier sur un pont à poutrelles enrobées situé à l'entrée de la gare de Vichy sur la ligne de Paris à Clermont-Ferrand.

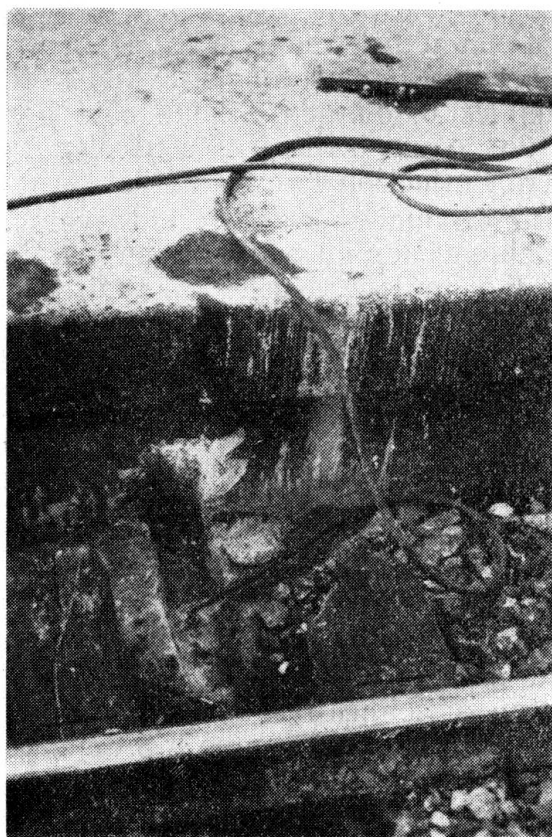


FIG. 13. Troyes. Passages souterrains

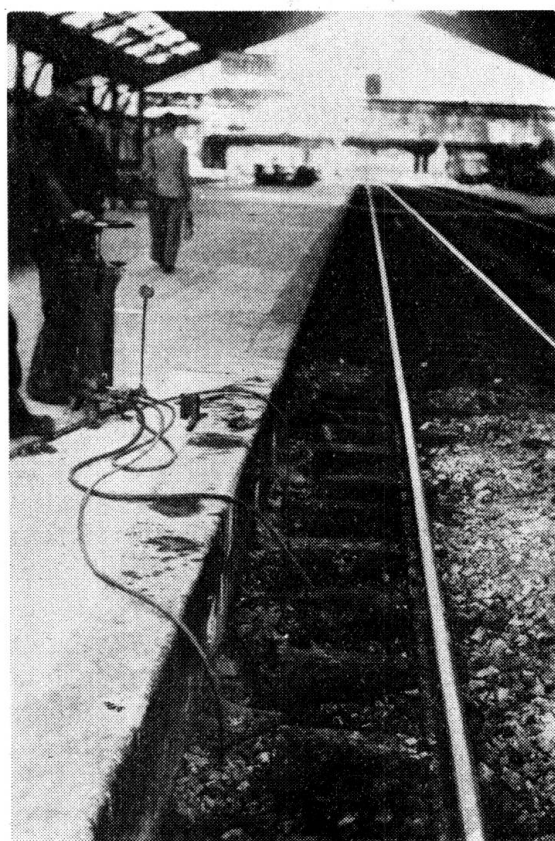


FIG. 14. Troyes. Passages souterrains

Ce pont, construit en 1924, est constitué par des poutrelles Grey de 650 mm entretoisées à l'aide de croix de St. André en fers carrés de 40 mm. Au passage des convois, en plus du meulage du béton le long de l'âme de la poutrelle, les fers carrés sectionnent le remplissage dans les intervalles.

De plus, la chape en asphalte étant usée, l'ouvrage était traversé par les eaux.

En 1951, une injection de ciment, exécutée à l'entreprise en vue de rétablir l'étanchéité n'a donné que des résultats passagers.

Le rétablissement de l'étanchéité par injection de Guttaterna FR 12 a été décidé et exécuté en 1954. (Fig. 15 et 16).

Ce chantier n'a donné lieu à aucune remarque particulière, si ce n'est l'importance des quantités injectées malgré l'injection de ciment effectuée en 1951. Aucune égoutture importante ne s'est produite.

Avant que la Société Guttaterna ait créé son produit en solution FR 12, et toujours dans le but d'obtenir, dans l'ouvrage, un produit élastique se prêtant à toutes les déformations sans risque de coulures accidentelles, nous avons songé à utiliser des émulsions aqueuses de Latex naturel. Après quelques essais de laboratoire exécutés grâce à des échantillons que nous avaient remis gracieusement l'Institut français du Caoutchouc et la Société Alcan et Cie, nous avons appliqué un produit composé industriellement par les Etablissements Hte Boulenger & Cie.

Il s'agit d'une émulsion aqueuse de Revertex, à 70 % de concentration de latex naturel. Cette émulsion possède une fluidité très voisine de celle de l'eau. En y ajoutant, en proportions variables selon le désir de

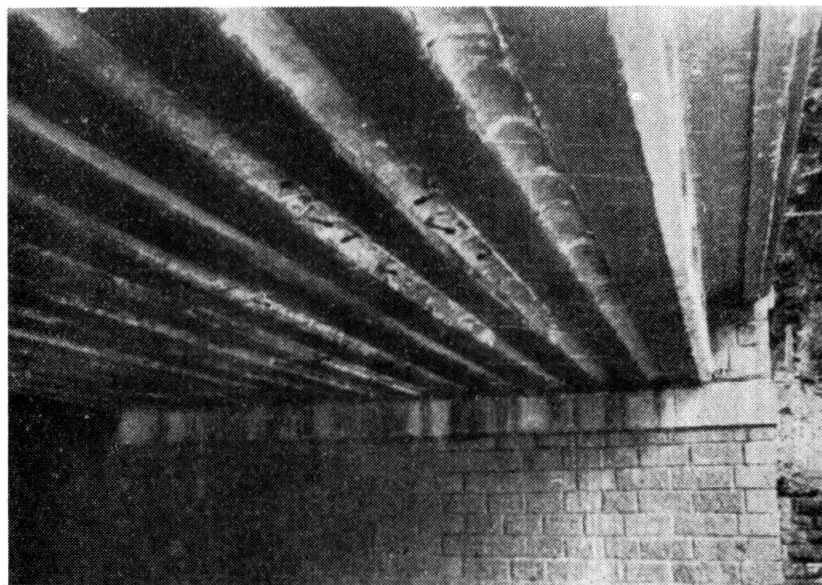


FIG. 15. P. I. de Vichy

l'utilisateur, une poudre dite «déshydratante» on obtient un produit dont la viscosité peut varier entre celle de l'eau et celle d'un mastic, et dont la rapidité de prise varie entre plusieurs heures et quelque dix minutes. La réaction se poursuit et le produit finalement obtenu est un caoutchouc, vulcanisé à froid, et moulé en place.

La poudre d'adjonction contient, entre autres produits, de l'amiante pulvérulente et du ciment. Celui-ci peut être du ciment artificiel, du ciment de fer, du ciment fondu ou même du ciment expansif selon la nature des eaux que l'on peut rencontrer au cours de l'injection.

Après deux essais limités et de peu d'importance, l'un en gare de Dieppe-Maritime, l'autre en gare de Paris-Est, essais destinés à expérimenter ce produit sur le plan pratique (difficultés de mise en oeuvre et tenue), nous avons, en 1954, utilisé l'émulsion de Latex au traitement de deux ouvrages à poutrelles enrobées. Il s'agit :

- 1° - d'un passage souterrain à voyageurs en gare d'Epinal, sous la ligne de Nancy à St. Dié,

2° - d'un passage inférieur à l'entrée de la gare de Lunéville, sous la ligne de Nancy à Strasbourg.

Dans les deux cas, les résultats ont été probants.

L'émulsion se propage avec une grande facilité. Les égouttures qui peuvent se produire au moment de l'injection tarissent d'elles-mêmes très rapidement. Si besoin est, il est possible de les arrêter immédiatement en appliquant une bande de papier Kraft sur le point d'écoulement: le papier absorbe l'eau, se colle immédiatement et l'écoulement s'arrête.

En présence de matériaux hydrophiles, et en milieu peu humide, l'eau de l'émulsion peut être très rapidement absorbée par le milieu

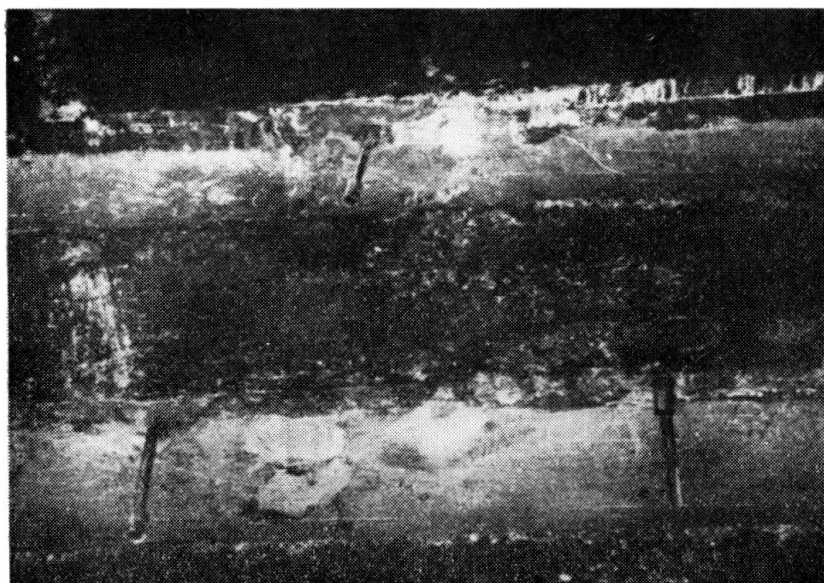


FIG. 16. P. I. de Vichy. Aiguilles d'injection

injecté. Le Latex épaisit alors très rapidement et la propagation du produit peut se trouver retardée ou même arrêtée. Il convient d'en tenir compte le cas échéant.

La réaction de prise, qui se fait en milieu fermé d'autant plus rapidement que la concentration en poudre est plus grande, transforme le liquide en un solide élastique non réversible. Cela oblige à nettoyer consciencieusement tuyaux et appareils avant que commence cette réaction. Toutefois, un simple lavage à l'eau suffit.

Pour l'emploi de ce nouveau produit, le débit de nos pompes à volant est un peu lent; leur nettoyage, difficile. Excellentes pour les produits visqueux en solution, elles sont inadaptées aux injections d'émulsions aqueuses.

Par ailleurs, ces émulsions de Latex sont assez chères. Il convient donc d'en limiter l'emploi à l'étanchement proprement dit et, par conséquent, de réduire le plus possible les vides du béton en injectant au préalable un coulis de ciment, pur ou additionné de sable fin.

C'est cette nouvelle méthode que nous avons appliquée à l'ouvrage suivant.

Il s'agit d'un passage souterrain à voyageurs, en gare de Langres, construit en 1924 et comprenant 3 tabliers à 2 voies, à poutrelles enrobées, de 2,50 m d'ouverture et de 7,50 m de longueur chacun.

Chaque tablier est constitué par des poutrelles IPN de 200 espacées de 300 mm. Le béton assure, au point haut du tablier, une couverture des poutrelles de 35 mm. Une chape en asphalte de 15 mm d'épaisseur, protégée par une contre-chape en béton maigre de 40 mm, assurait à l'origine l'étanchéité de l'ouvrage.

En 1944, les 3 tabliers ont été pétardés au cours des hostilités et partiellement détruits. Ils ont été reconstruits en identique en 1945 (avec chape d'asphalte et contre-chape comme les tabliers initiaux).

Très rapidement, des infiltrations d'eau sont apparues en différents endroits, le long des poutrelles de rive et au raccord des parties nouvelles et anciennes.

Systématiquement, nous avons percé, dans les zones mouillées 3 trous de 22 mm de ϕ de chaque côté des poutrelles considérées. Ils ont été exécutés jusqu'à l'angle supérieur de la poutrelle.

Pour l'injection, les trous étaient munis d'une lance tronconique en fer permettant un calfeutrement facile par serrage, avec interposition de papier. Un raccord, du type raccord rapide avec clé de fermeture, permettait de passer le tuyau d'injection d'une lance à l'autre dans un temps très court.

Avant de commencer l'injection de ciment, le débouché, la capacité d'absorption, l'inter-communication de ces trous ont été recherchés et contrôlés par une injection d'eau à faible pression.

Nous nous sommes servis d'une pompe à injection de ciment, à piston, du type Pfyffer avec l'idée de l'employer également pour l'injection du Latex (Fig. 17).

A partir d'un trou proche de la culée, nous avons injecté un coulis de ciment additionné de sable de Clamart (sable très fin). Au fur et à mesure que le coulis apparaissait à un trou de correspondance, celui-ci était obturé par une broche en bois entourée de papier Kraft et l'injection poursuivie ainsi de proche en proche. Nous arrêtons l'injection par le trou en service lorsque le coulis apparaissait sur les sommiers (afin de ne pas injecter derrière les culées et remplir les filtres) ou lorsque le refus était obtenu à ce trou. Quelques heures après, et avant que le coulis injecté soit dur, les trous étaient débouchés à la main, afin d'être réutilisés pour l'injection d'étanchéité proprement dite.

Nous avons ainsi injecté dans les 3 tabliers 1500 Kg de ciment, ce qui confirmait notre opinion sur les vides existants.

Un contrôle exécuté sur la plateforme des voies, par sondage dans l'entrevoie et le long des murs de quai, n'a révélé qu'une faible intrusion de coulis dans le ballast, en un seul point.

L'étanchéité obtenue par cette première injection était déjà appréciable. Là où les infiltrations ont continué à se produire, nous avons passé l'injection de Latex à l'aide de la même pompe. La quantité injectée a été de l'ordre de 30 litres.

C - Application sur la S. N. C. F. des procédés mis au point par la Société Française d'Imperméabilisation

Cette Société utilise un matériel comprenant un pot à pression à grande capacité, permettant, par le jeu d'une rampe de départ sur laquelle sont fixés des raccords à 2 voies, l'alimentation de 8 tuyaux munis à

chaque extrémité d'un surpresseur à main du type Técalémit. Ce surpresseur apporte le complément de pression nécessaire à la pénétration du produit lorsque la pression primaire, de l'ordre de 5 Kg/cm^2 , appliquée sur le produit dans le pot à pression, se trouve insuffisante.

Le produit injecté, dénommé Terastic, comprend une gamme de viscosités adaptées à la capacité des fissures. C'est essentiellement un composé de bitume et de caoutchouc en solution qui adhère sur parois mouillées. Il conserve, *in situ*, la viscosité d'origine pendant plusieurs mois. Cependant l'adjonction, au moment de l'emploi, d'un vulcanisateur à froid, permet de lui donner une certaine fermeté qui l'empêcherait de couler.

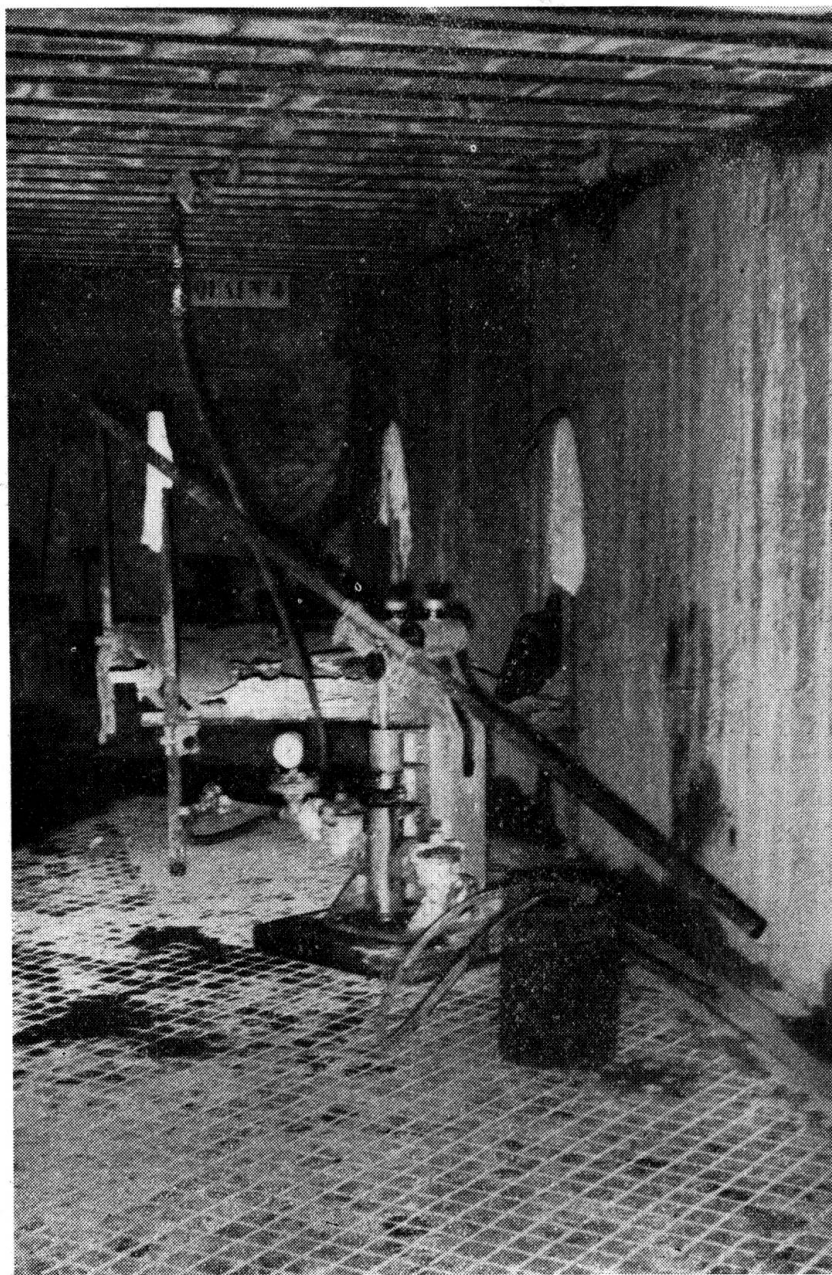


FIG. 17. Passage souterrain de Langres

Cette Société a exécuté pour la S. N. C. F. :

- le bouchement de fissures dans un encorbellement de chaussée à la sortie de la gare St. Lazare,
- l'achèvement de l'étanchement du pont de Courcelles, à l'entrée de la gare de Reims, sur lequel nous avons effectué antérieurement l'essai décrit précédemment,

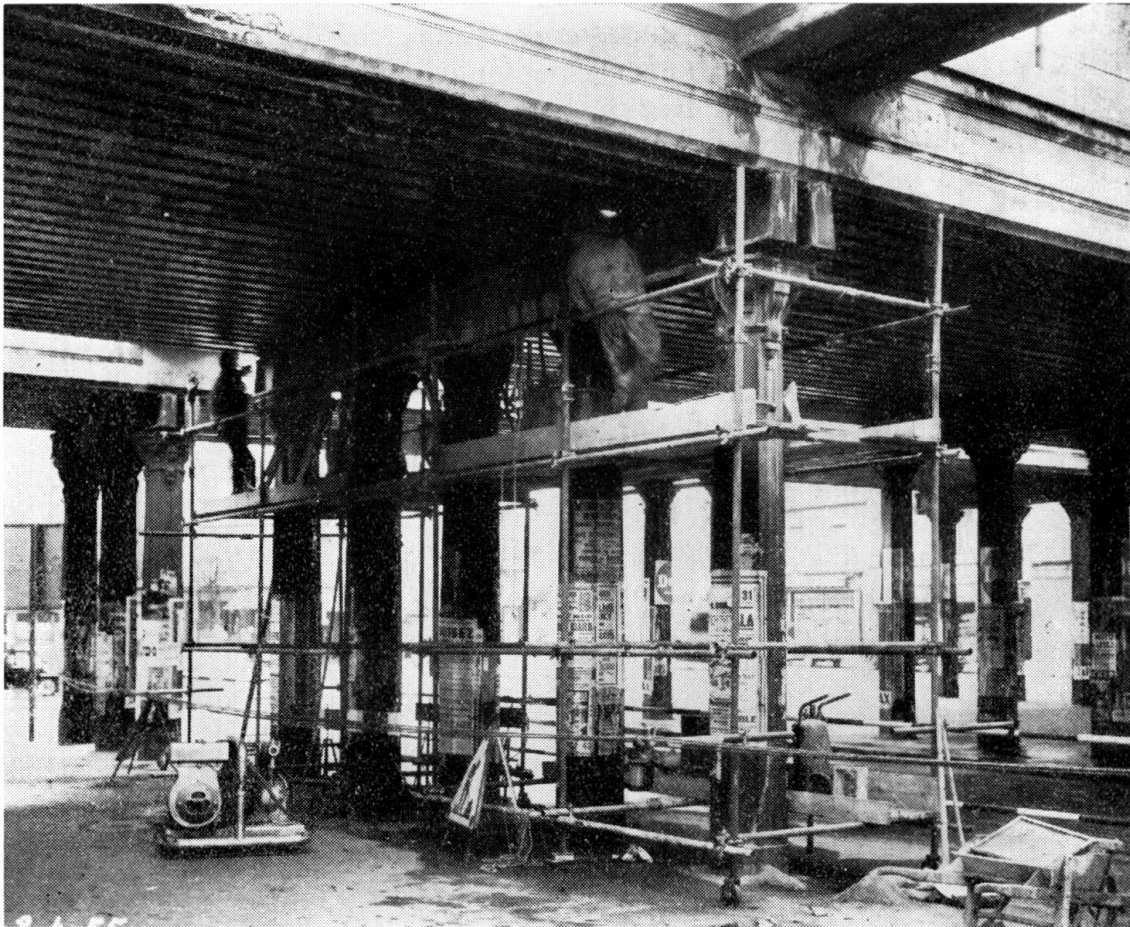


FIG. 18. Viaduc du Raincy. Villemomble

- l'étanchement d'un tablier à poutrelles enrobées au-dessus du passage souterrain à voyageurs de la gare d'Asnières,
- l'étanchement d'une partie du tablier sous voies I et II du viaduc à poutrelles enrobées à l'entrée de la gare de Raincy-Villemomble (Fig. 18).

D — Application des divers procédés exposés ci-avant par la Compagnie du Métropolitain de la Ville de Paris

Nous citerons les essais suivants faits par la Division des Ouvrages d'art de cette Compagnie.

- à la station Gare de Lyon de la ligne Pont de Neuilly — Château de Vincennes :

Etanchement de voutains en briques appuyés sur des pièces de charpente métallique et situés sous le Boulevard Diderot.

Ce travail a été exécuté avec le matériel de la Région Sud-Est (pompes à volant) et par le personnel du Métropolitain, conseillé par les agents de la Région Sud-Est, le produit employé étant ici la Guttaterna FR 12.

- à la station Stalingrad de la ligne de la Porte Dauphine à la Nation :

Etanchement de voutains en briques appuyés sur des pièces de pont métalliques et livrant passage aux voies ci-dessus.

Le travail, entrepris sous notre direction, a été exécuté par la main-d'oeuvre du Métropolitain à l'aide de nos pompes à volant et avec une émulsion de Latex.

- à la station Porte des Lilas : injection de fissures dans une fosse de visite.
- entre les stations Corentin Celton et Porte de Versailles, sur la ligne Porte de la Chapelle — Mairie d'Issy : injection de fissures en voûte d'une galerie de circulation.

Ces travaux ont été exécutés par la Société Française d'Imperméabilisation avec son personnel et son produit Terastic.

IV

Conclusion

En conclusion, l'étanchement des ouvrages par injection de produits autres que le ciment semble avoir un champ d'application assez vaste. En effet, ce procédé permet :

- d'assurer la conservation des armatures et du béton lui-même en les soustrayant à l'action d'ambiances agressives, par obturation *en profondeur* des fissures ou des vides du béton.
- d'assurer ou de rétablir l'étanchéité des ouvrages, en obturant les points où l'étanchement préétabli s'est trouvé en défaut sans avoir à reprendre le système d'étanchement lui-même.

- d'opérer les injections à partir des points les plus favorables en choisissant ceux-ci de façon à n'apporter aucune gêne, ou du moins le minimum de gêne, à l'utilisateur, tout en facilitant le travail de l'applicateur (cas de ponts sous rails ou sous chaussée, où l'injection peut être réalisée à partir du dessous du tablier).
- d'assurer aux étanchements réalisés une élasticité leur permettant de suivre les fluctuations de l'ouvrage en même temps qu'une plus grande longévité, les produits injectés se trouvant soustraits aux facteurs de vieillissements habituels (variations rapides de température, action des rayons solaires).

La gamme des produits, auxquels on peut ajouter les résines vinyliques, doit permettre d'apporter par cette méthode une solution à bien des problèmes jusqu'alors difficilement solubles.

R É S U M É

Les installations des chemins de Fer Français comportent de nombreuses constructions en béton armé: ouvrages d'art et bâtiments.

L'entretien de ces constructions a montré que, même en l'absence d'agents notoirement agressifs, les agents atmosphériques et les variations de température peuvent à eux seuls provoquer des altérations, parfois sérieuses: appauvrissement des mortiers et bétons sous l'action des eaux de pluie, dégradations diverses sous l'action du gel, fissurations, provoquées ou aggravées par les variations de température.

L'apparition et le développement des altérations sont influencés par la conception et le calcul de l'ouvrage (pour les fissurations notamment) et par la qualité de l'exécution (compacité du béton, enrobement des armatures).

Quelques exemples concrets d'altérations sont donnés.

Pour remédier à ces altérations, et pour empêcher leur développement, les méthodes classiques d'entretien comportent divers procédés.

On a examiné ici plus particulièrement le traitement des défauts d'étanchéité et notamment des fissures.

On peut obturer les fissures par du ciment, mais le résultat est généralement peu efficace au point de vue étanchement et peu durable; au surplus, l'obturation rigide des fissures peut présenter des inconvénients.

On peut aussi traiter les fissures par application de bandes de feutre imprégnées, ou de métal enrobé de bitume, ou par calfeutrement avec un mastic plastique; toutefois, ces produits peuvent s'écrouir rapidement sur un support soumis à des mouvements alternés à grande fréquence (ponts sous rails par exemple); en outre, et d'une manière générale, ils vieillissent assez vite.

Pour remédier à ces divers inconvénients, on peut chercher à faire un étanchement en profondeur par injections de produits plastiques.

Dès 1942, M DURIEZ, Ingénieur en Chef, Chef du Laboratoire National des Ponts et Chaussées, avait fait faire divers essais d'injections à l'aide de produits bitumineux.

La S. N. C. F. (Région de l'Est), s'inspirant de ces essais, a mis au point après divers tâtonnements une méthode d'injection.

L'exposé montre l'évolution des recherches qui ont porté:

- sur le perfectionnement du matériel d'injection,
- sur le choix des produits à injecter (solutions bitumineuses, solutions de caoutchouc, émulsions aqueuses de Latex),
- sur le mode opératoire.

Cette méthode, qui nous a donné des résultats encourageants, semble devoir apporter une solution simple et économique à des problèmes d'étanchement qui paraissaient jusqu'ici difficiles à résoudre.

S U M M A R Y

French Railways installations include many reinforced concrete structures such as bridges and buildings.

Maintenance work carried out in these structures has shown that, even when they are not submitted to notoriously aggressive factors, the simple influence of atmospheric actions may sometimes be the cause of serious damage such as mortar or concrete impoverishment under the action of rain-water, deterioration by frost, cracking, caused or increased by temperature changes.

These deteriorations and their spreading depend greatly on the design and calculation of the structure (especially where cracking is concerned) as well as on the quality of its construction (compactness of concrete, embedment of reinforcement bars).

Some practical examples of deterioration are given.

Several classical methods are used to repair these deteriorations and prevent their spreading.

Faulty watertightness, and especially that due to cracking is more particularly dealt with.

Cement can be used to seal cracks, but this method is not very efficient as far as watertightness is concerned; moreover, rigid stopping of cracks may not always be advisable.

Cracks can also be repaired by using felt strips dipped in a waterproofing solution, metal strips embedded in bitumen or caulking with plastic putty; all these products, however, are liable to be rapidly destroyed if used in structures submitted to high frequency alternate motions, (i. e. railway bridges) and age rapidly.

Another solution which does away with these drawbacks is the deep-sealing by means of injection of plastic products.

As early as 1942, M. Duriez, Chief Engineer, Director of the «Laboratoire National des Ponts et Chaussées», was experimenting with injections of bituminous products.

The French Railways (Eastern zone) have developed, after a certain amount of research, an injection method based on these experiments. The authors describe the research process which covered:

- Improvement of the injecting devices,
- Choice of sealing products (bituminous solutions, rubber solutions, aqueous latex emulsions),
- Operating processes.

This method which gave encouraging results seems to bring a simple and economical solution to this difficult problem.

ZUSAMMENFASSUNG

Unter den franz. Bahnanlagen gibt es zahlreiche Eisenbetonbauten — Hochbauten und Tragwerke.

Beim Unterhalt dieser Bauwerke zeigte es sich, dass, selbst beim Fehlen ausgesprochen betongefährlicher Substanzen, durch die atmosphärischen Einflüsse als solche und die Temperaturunterschiede allein schwere Schäden entstehen können. Als solche sind zu nennen: Mörtel- und Beton-Auswaschungen durch das Regenwasser, verschiedenartige Frostschäden und Rissebildungen, welche durch die Temperaturänderungen hervorgerufen oder verstärkt werden.

Das Auftreten und die Verschlimmerungsmöglichkeiten von Bauschäden werden von der statischen Berechnung beeinflusst (vor allem bezüglich Rissebildung), ferner von der Genauigkeit der Bauausführung (Betondichtigkeit, Einbetonieren der Eiseneinlagen).

Es werden einige Beispiele von Bauschäden beschrieben.

Zur Behebung der erwähnten Beschädigungen und zur Verhinderung ihrer Ausbreitung sind verschiedenartige Unterhaltsarbeiten notwendig.

Es seien an dieser Stelle vornehmlich diejenigen Verfahren aufgeführt, mit welchem den Rissebildungen beizukommen ist.

Risse können mit Zement verstopft werden; dieses Verfahren ist aber bezüglich Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit nicht besonders wirksam; ausserdem bringt die Bildung harter, spröder Rissfüllungen neue Unannehmlichkeiten. Risse können auch durch Anbringen imprägnierter Filzstreifen oder mit Bitumen umgebener Metallbänder oder durch Verstopfung mit einer plastischen Masse ausgefüllt werden; diese Produkte können aber rasch erhärten, wenn deren Unterlage starken Stößen ausgesetzt ist (z. B. Eisenbahnbrücken). Zudem werden diese Füllmaterialien verhältnismässig rasch unbrauchbar.

Zur Behebung dieser Unzulänglichkeiten wurde eine in die Tiefe gehende Behandlung versucht, indem plastische Materialien injiziert wurden. Seit 1942 hatte M. Duriez, Ingénieur en Chef, Chef du Laboratoire National des Ponts et Chaussées, verschiedene Injektionsversuche mit Bitumenprodukten durchgeführt.

Die S. N. C. F. (Region Ost) hat auf Grund dieser Versuche ein Injektionsverfahren entwickelt, wobei als wesentliche Punkte hervorzuheben sind:

- Verbesserung des Injektionsmaterials,
- Wahl des Injektionsmaterials (Bitumen, Gummilösungen, Latex-Emulsionen),
- Arbeitsvorgang.

Dieses Verfahren hat vielversprechende Ergebnisse gezeitigt und dürfte als einfache und billige Lösung der Rissebehandlung angesprochen werden.

RESUMO

As instalações pertencentes aos Caminhos de Ferro Franceses compreendem um grande número de estruturas de betão armado tais como pontes e edifícios.

A conservação destas estruturas demonstrou que, mesmo quando não estavam submetidas à acção de factores agressivos característicos, a simples influência dos agentes atmosféricos e das variações de temperatura podia causar alterações por vezes importantes: empobrecimento da argamassa ou do betão sob a acção da chuva, estragos diversos devidos ao gelo, fissuração causada ou agravada pelas variações de temperatura.

O aparecimento e o desenvolvimento destas alterações dependem muito da concepção e cálculo da estrutura (em especial no caso da fissuração) e da qualidade da execução (compacidade do betão, envolvimento das armaduras).

Os autores citam alguns exemplos concretos de alterações.

Existem diversos processos clássicos para reparar e evitar o desenvolvimento destas alterações.

Os autores examinam mais pormenorizadamente a reparação dos defeitos de estanqueidade, tratando em especial da fissuração.

As fissuras podem obturar-se com cimento, mas além do resultado ser geralmente pouco eficaz do ponto de vista da estanqueidade e pouco duradouro, a obturação rígida das fissuras pode apresentar certos inconvenientes.

Podem-se também reparar as fissuras pela aplicação de tiras de feltro impregnado, de barras metálicas envolvidas em produtos betuminosos ou ainda por uma calafetagem executada com massa plástica; estes materiais ficam todavia sujeitos a uma rápida destruição quando empregados em estruturas submetidas a movimentos alternados de grande frequência como, por exemplo, em pontes de caminho de ferro; além disso, envelhecem, de um modo geral, bastante rapidamente.

Para evitar estes inconvenientes pode procurar-se executar a obtenção em profundidade por meio de injeções de produtos plásticos.

Já em 1942, o Sr. Duriez, Engenheiro Chefe, Director do «Laboratoire National des Ponts et Chaussées», tinha organizado vários ensaios de injeções de produtos betuminosos.

Os Caminhos de Ferro Franceses (Região Leste), elaboraram, depois de algumas tentativas, um método de injeções inspirado nos referidos ensaios.

Os autores descrevem a evolução das pesquisas que tratavam:

- do aperfeiçoamento dos aparelhos de injeção;
- do estudo dos produtos a empregar (soluções betuminosas, soluções de borracha, emulsões aquosas de latex);
- do modo de execução das injeções.

Este método que tem dado bons resultados parece constituir uma solução simples e económica de problemas de obturação que pareciam até agora difíceis de resolver.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Vb2

**Un nouvel appareil permettant d'apprécier la résistance
des matériaux à l'influence des agents atmosphériques**

**Device for testing the resistance of various materials
to the influence atmospheric actions**

**Beschreibung eines neuartigen Apparates zur Abschätzung
der Widerstandsfähigkeit von Baumaterialien gegenüber
atmosphärischen Einflüssen**

**Aparelho permitindo apreciar a resistência dos materiais
à acção dos agentes atmosféricos**

MARCEL PROT

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme*

Paris

Introduction.

Nous avons décrit, dans la publication préliminaire du 4^{ème} Congrès de l'Association Internationale des Ponts et Charpents ⁽¹⁾, un appareil qui a été expérimenté, d'une part, dans le laboratoire du Port Autonome du Havre et, d'autre part, dans le laboratoire de Cassis, du Port de Marseille.

La mise au point de ces appareils s'est révélée difficile et divers incidents ont même conduit à mettre hors service l'appareil de Cassis. Cette expérimentation a cependant permis de dégager un certain nombre d'enseignements :

- 1°—l'influence d'un renouvellement rapide du bain au contact de l'éprouvette ne paraît pas avoir une influence notable sur la rapidité de la corrosion ;
- 2°—l'influence de la contrainte à laquelle le matériau est soumis ne paraît pas, non plus, avoir une influence appréciable sur son aptitude à la corrosion ;

⁽¹⁾ Congrès de Cambridge. Publication préliminaire — Thème CI-4- Essais rapides de corrosion des ciments. p. 747 et suivantes.

3° – c'est au voisinage de la surface du bain que les corrosions les plus actives ont été observées, c'est-à-dire dans les régions où de petites différences de niveau de cette surface libre exposaient le matériau à des alternatives de mouillage et de séchage et où les constituants de l'atmosphère pouvaient être les plus actifs;

4° – on ne prend jamais assez de précautions pour éviter qu'une machine de corrosion ne se corrode pas plus vite que les matériaux qu'elle est destinée à essayer.

Par ailleurs, les remarquables communications présentées au Congrès de Cambridge et notamment celle de M. ROBINSON, Ingénieur en Chef des

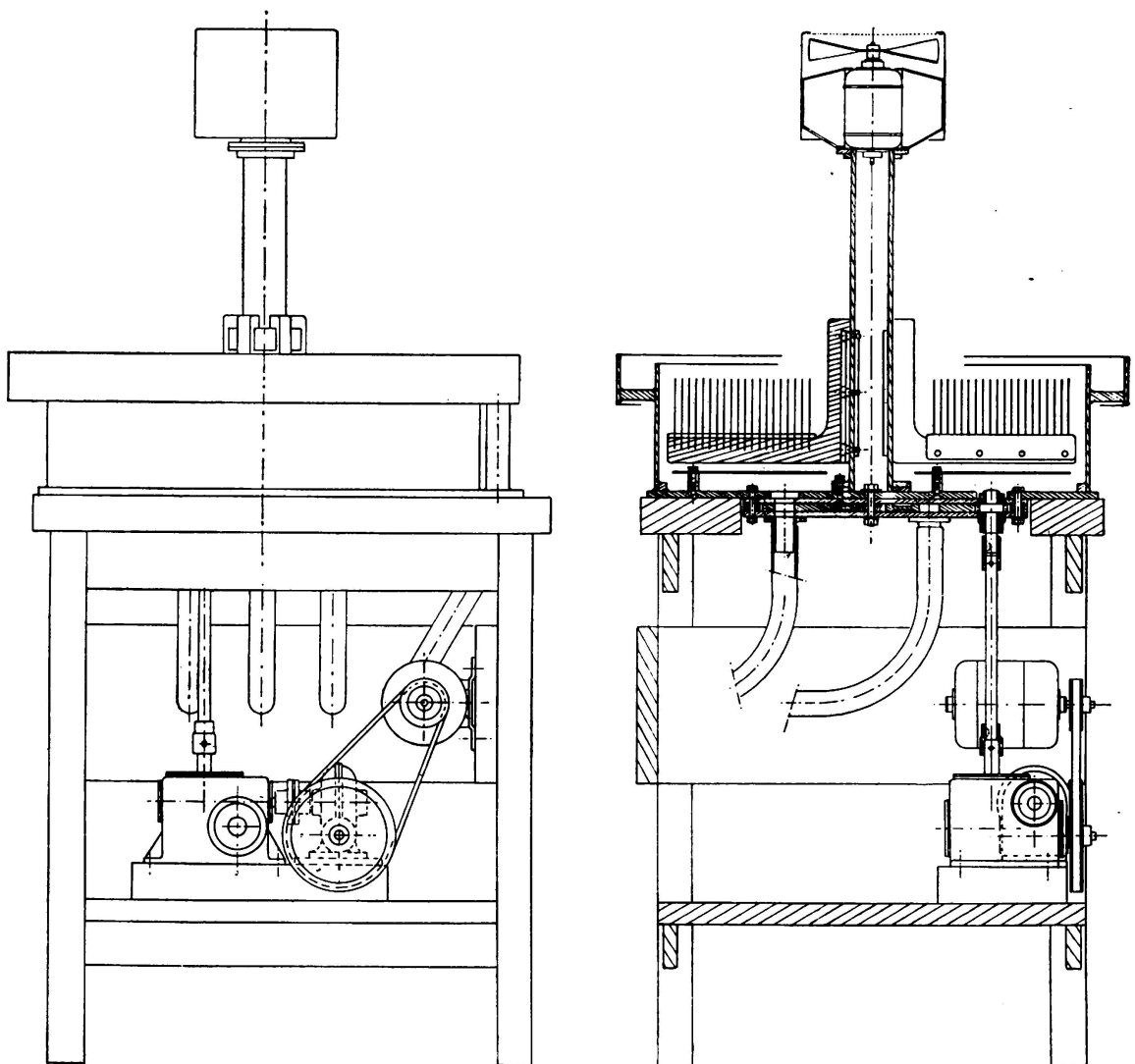


BILD 1

Ponts et Chaussées à Paris, ont attiré l'attention sur l'influence que pouvaient exercer sur la corrosion des mortiers et bétons les constituants de l'atmosphère, en particulier l'acide carbonique, et sur les alternatives de séchage et de mouillage, par l'eau de mer ou les embruns et par l'eau de pluie.

Ces différentes observations nous ont conduit à étudier une nouvelle machine de corrosion accélérée applicable, peut-on dire, à tous les milieux agressifs et à la plupart des matériaux utilisés dans les constructions de génie civil.

Nouvelle Machine.

Pour éviter systématiquement tous les ennuis que nous avons eus avec l'ancienne machine, dont les pièces essentielles étaient cependant en acier inoxydable (ou prétendu tel) nous avons constitué la nouvelle machine entièrement en matières plastiques. Les figures ci-contre en indiquent les dispositions générales.

La machine est essentiellement constituée par une cuve cylindrique de 60 cm environ de diamètre et de 20 cm de hauteur dans laquelle on peut aisément introduire 6 supports portant chacun 20 éprouvettes.

La cuve est alternativement remplie et vidée par le jeu d'un disque tournant autour d'un axe vertical et ouvrant et démasquant tour à tour, par des fenêtres convenablement disposées dans le fond de la cuve :

une arrivée d'eau de mer,
une arrivée d'eau potable,
une canalisation de vidange,

de telle sorte que les éprouvettes sont successivement immergées dans le bain agressif, puis séchées, ensuite lavées à l'eau potable et de nouveau séchées, après quoi le cycle recommence.

L'action d'un ventilateur active le séchage dès que la cuve est vidée et accroît l'influence des constituants de l'atmosphère.

Eprouvettes.

Les éprouvettes affectent la forme de plaques minces rectangulaires de 80 ou 100 mm de longueur, 20 mm de largeur et de 1 à 2 mm d'épaisseur de façon à offrir une grande surface pour une faible masse ; elles peuvent être constituées de pâte pure ou de mortier fin s'il s'agit d'essayer des liants hydrauliques et être soit moulées sur une plaque de matière plastique à l'aide d'une grille de matière plastique de l'épaisseur voulue,

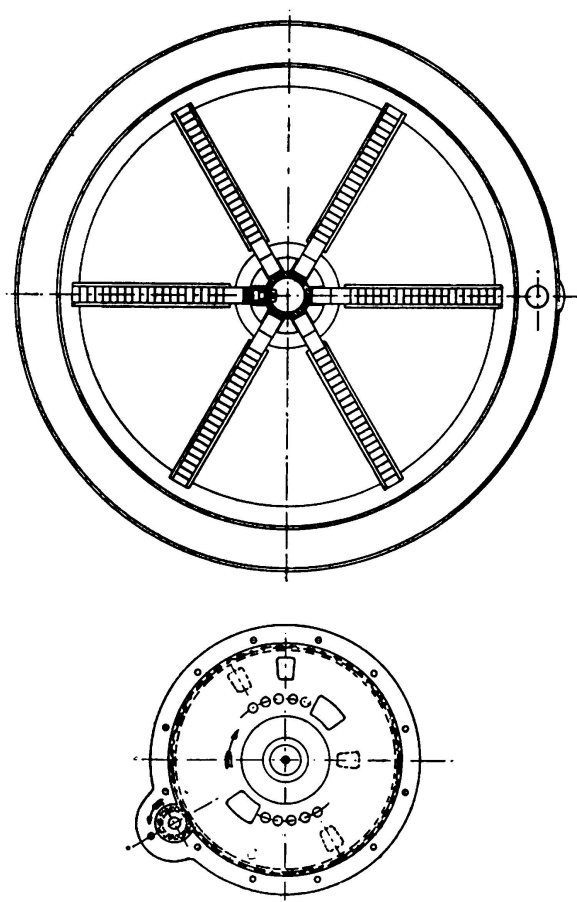


BILD 2

soit découpées à la scie dans des blocs. Des éprouvettes de même forme et de mêmes dimensions peuvent être également découpées dans des pierres, des métaux ou tous autres matériaux.

Ces éprouvettes sont simplement posées verticalement dans les rainures des supports.

L'appréciation de la corrosion est purement qualitative, les éprouvettes, en raison de leur faible épaisseur, étant rapidement ruinées et désagrégées lorsqu'elles sont corrodées; l'utilisation des mortiers très maigres et d'épaisseurs aussi faibles que possible conduisent, en effet, à des corrosions très actives. Des expériences se poursuivent pour déterminer la durée des cycles les plus efficaces; le cycle actuellement expérimenté à Cassis est le suivant:

— remplissage de la cuve par l'eau de mer... ..	7 minutes
— maintien de l'eau de mer dans la cuve	87 »
— vidange de la cuve	7 »
— séchage des éprouvettes avec ventilation... ..	87 »
— remplissage par l'eau potable	7 »
— maintien de l'eau pure dans la cuve	87 »
— vidange de la cuve	7 »
— séchage des éprouvettes avec ventilation... ..	87 » ,

ce qui représente, au total, une durée de 4^h 16^m par cycle.

R É S U M É

L'article décrit une machine destinée à soumettre des matériaux quelconques: ciments, mortiers, bétons, pierres, métaux, etc., à des essais de corrosion accélérés. La machine est constituée par une cuve en matière plastique qui peut être successivement: remplie d'eau de mer, vidée, remplie d'eau douce, vidée, après quoi le cycle recommence. Un ventilateur active le séchage entre les remplissages. La cuve permet d'essayer simultanément 120 éprouvettes affectant la forme de plaques rectangulaires de 100 mm de longueur, de 20 mm de largeur et d'épaisseur aussi faible que possible; l'appréciation de la corrosion est purement qualitative, les éprouvettes étant, lorsqu'elles sont corrodées, rapidement désagrégées.

S U M M A R Y

The author describes a machine for performing accelerated corrosion tests of sundry materials, such as cement, mortar, concrete, stone, metals etc. This machine is constituted by a plastic tank that can be filled up with sea water, emptied, filled with fresh water and emptied again in succession, this cycle being repeated at will, as required. The drying of the materials under test, between two successive fillings, is activated by means of a ventilator. The tank allows simultaneous testing of 120 rectangular plates of 100 mm × 20 mm with a thickness as small as possible; only qualitative research is possible test plates desintegrating rapidly once corroded.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wird eine Vorrichtung für kurzfristige Korrosionsversuche an Zement, Mörtel, Beton, Steinen, Metallen etc. beschrieben. Die Apparatur besteht aus einer Plastic-Wanne, welche nacheinander mit Meerwasser gefüllt, entleert, mit Süßwasser gefüllt und wieder entleert werden kann, wobei sich der ganze Vorgang beliebig wiederholen lässt. Ein Ventilator beschleunigt die Trocknung zwischen den Füllungen. Es können gleichzeitig 120 Proben von 100 mm Länge, 20 mm Breite und möglichst geringer Höhe behandelt werden.

Die Korrosionsuntersuchung geschieht rein qualitativ, indem die Proben nach der Behandlung rasch auseinanderfallen.

RESUMO

O autor descreve uma máquina para a execução de ensaios acelerados de corrosão de materiais tais como cimento, argamassa, betão, pedra, metais, etc. A referida máquina é constituída por um recipiente de plástico que se pode sucessivamente encher de água do mar, esvaziar, encher de água doce e esvaziar de novo, podendo repetir-se o ciclo as vezes que for necessário. A secagem dos materiais entre dois enchimentos sucessivos é acelerada por meio de um ventilador. O recipiente permite ensaiar simultâneamente 120 provetas constituídas por chapas rectangulares de 100 mm $\times$ 20 mm, tão delgadas quanto possível; a apreciação da corrosão só pode ser qualitativa pelo facto das placas, uma vez corroídas, se desintegrarem rapidamente.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Vb3

Untersuchungen über die Frostempfindlichkeit der Einpressmörtel bei vorgespanntem Beton

Sensibilidade ao gelo da argamassa comprimida no betão preesforçado

Sensibilité au gel du mortier comprimé dans le béton précontraint

Frost sensitivity of compressed mortar in prestressed concrete

ARTHUR RÖHNISCH

*Oberregierungsbaurat Dr.-Ing.
Wasser- u. Schifffahrtssdirektion*

Münster

1. Veranlassung für die Untersuchungen.

Im Jahre 1951 wurden an einer Spannbeton-Bogenbrücke in den vorgespannten Hängestangen Längsrisse festgestellt, deren Ursachen zunächst nicht eindeutig zu klären waren. Belastungsgrossversuche führten zu dem Ergebnis, dass weder statische noch dynamische Beanspruchungen als Ursache für die Risse infrage kamen. Weiterhin waren bei 15 Einfeld-Spannbetonstrassenbrücken im Jahre 1953 längs der Spannbewehrung der an Ort und Stelle hergestellten Spannbetonträger Längsrisse aufgetreten, über deren Ursache die Auffassungen ebenfalls geteilt waren. Einheitlich war jedoch in den vorstehenden und in den späteren Schadensfällen die Tatsache, dass die Risse erstmals nach Ablauf der Wintermonate beobachtet wurden, so dass die Vermutung für die Einwirkung von Frost nahelag.

Die aufgetretenen Schäden führten in der Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schifffahrtssdirektion Münster zu systematischen Untersuchungen über die Frosteinwirkung auf den Einpressmörtel von Spanngliedern. Über die Ergebnisse der beiden ersten Versuchsprogramme hat der Verfasser bereits berichtet [1]. Der nachfolgende Bericht soll die bisher vorliegenden Ergebnisse ergänzen und die aufgestellten Hypothesen durch weitere Tatsachen belegen. Ausserdem soll versucht werden, durch Vergleich mit den entsprechenden Arbeiten und Untersuchungen von T. C. Powers und R. A. Helmuth, Chicago, die dem Verfasser leider

erst nach Abschluss seiner Untersuchungen bekannt wurden, festzustellen, in wie weit die Ergebnisse übereinstimmen [2].

2. Aufbau und Ergebnisse des 1. Versuchsprogramms.

Grundlage des 1. Versuchsprogramms bildeten die z. Zt. der Ausführung der Einfeld-Spannbetonbrücken massgebenden örtlichen Bedingungen und Temperaturverhältnisse, da die Versuche die Ursache der Risse an diesen Bauwerken feststellen sollten. Die Einpressmörtel wurden daher für die Versuche einheitlich von Hand aufbereitet, wie es im übrigen auch in der Praxis allgemein noch bis Mitte 1954 üblich war. Die gewählten Wasserzementwerte (0,50 – 1,0) entsprachen den tatsächlichen Feststellungen auf den Baustellen.

Im Rahmen des 1. Versuchsprogramms wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Entmischung (Absetzen des Einpressmörtels),
Einfluss der Temperatur auf die Erstarrungszeit,
Einwirkung von Frost.

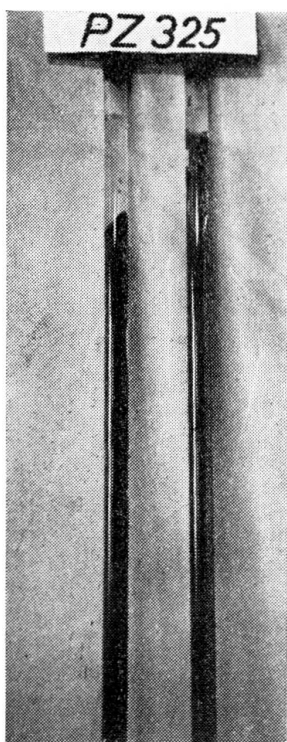


BILD 1. Frostversuch, die Rohre sind im Bereich der Mörtelmasse ($W/Z=1,0$ und $0,75$) gesprengt, nicht aber im Bereich des abgesetzten Wassers. Oberhalb des Wassers befindet sich ein Luftpolster

Zur Untersuchung gelangten die z. Zt. der Bauausführung in der Regel verwendeten PZ 325 und 425, letzterer auch mit 0,2 % LP-Stoff A, und 2 Tonerdeschmelzzemente, da diese bekanntlich die grösste Frostbeständigkeit aufweisen. Die Entmischung und die Frosteinwirkung wurden mit Hilfe von Glasrohren, 10 mm i. L. und 60 cm lang festgestellt. Zur genauen Bestimmung der Absetzmasse, Porenvolumen und wasserfreien Poren dienten Normen-Hartgummiringe, die nach dem Einbringen des Frischmörtels beidseitig, zur Vermeidung von Wasserverlusten, mit Glasplatten abgedeckt und abgedichtet wurden.

Die Ergebnisse des 1. Versuchsprogramms waren auf Grund der festgestellten Schäden zu erwarten. In fast allen Fällen war ein Absetzen der festen Stoffe zu beobachten, wobei sich im oberen Teil der Rohre Wasser und darüber Luft ansammelte (Abb. 1). Hieraus muss gefolgert werden, dass die bis Mitte 1954 verwendeten Einpressmörtel den nach DIN 4227 vorgeschriebenen Verbund nicht immer mit Sicherheit

gewährleisten. Für die Einwirkung von Frost war das abgesetzte Wasser überraschend nicht von entscheidender Bedeutung, da sich über dem Wasser stets auch ein Luftpolster einstellte, so dass der Wasserdruck infolge der Eiskristallisation und Volumenvergrösserung ausgeglichen werden konnte. Dagegen traten bei der Mehrzahl der Proben, die starke Absetzerscheinungen gezeigt hatten, im Zementmörtel Frostscha den auf. Im Rahmen des 1. Versuchsprogramms haben mit Ausnahme der 7 Tage

alten Proben PZ 425 mit Quarzmehl i. Mischungsverhältnis 2:1, W/Z = 0,525 (0,55) und 0,75, lediglich die Mörtelmischungen mit Tonerdeschmalzzement und Quarzmehl, i. M. 2:1, W/Z = 0,50 und 0,75 — und zwar unabhängig vom Alter — bestanden, da diese einen wesentlich höheren Wasserbedarf haben und infolgedessen bei etwa gleichem Wasser-Zementwert auch einen grösseren Gehalt an wasserfreien Poren aufweisen.

3. Voraussetzungen und Hypothese für die Frostbeständigkeit.

Bereits bei Durchführung des 1. Versuchsprogramms wurde festgestellt, dass die Frostbeständigkeit von dem Gehalt an wasserfreien Poren abhängt. Der Porenraum der Proben wurde ermittelt aus:

$$V_p = V_{\text{erst}} - V_t, \text{ wobei } V_t = \frac{G_t}{S}$$

V_{erst} = Volumen der erstarrten Probe,
 G_t = Gewicht der trockenen Probe,
 V_t = Volumen der trockenen Probe und
 S = Reingewichte.

Der Porenraum der wasserfreien Poren folgt aus:

$$V_L = V_{\text{erst}} - V_t - V_{\text{wu}}$$

V_{wu} = Volumen des chemisch nicht gebundenen Wassers wird aus der Wägung der Frisch- und der Trockenproben gefunden.
 $G_{\text{wu}} = G_n - G_t = V_{\text{wu}}$.

Frostbeständigkeit der Zementmörtel wurde in der Regel dann angetroffen, wenn dem chemisch nicht gebundenen Wasser im Augenblick der Eiskristallisation und für die damit verbundene Vergrößerung des Volumens zusätzlich mindestens 9 v. H. wasserfreier (Luft) Porenraum zur Verfügung steht,

$$\text{d. h. } f_B = \frac{V_L}{V_{\text{wu}}} \cdot 100 \geq 9.$$

Falls sich, wie bei einigen Proben des 1. Versuchsprogramms festgestellt wurde, Wasser auf den in den Hartgummiringen erstarrten Proben absetzen sollte, wird der wasserfreie Porenraum zweckmässig auf das Gesamtvolumen $V_o = V_{\text{erst}} + V_{\text{wa}}$ bezogen, wobei V_{wa} das Volumen des abgesetzten Wassers bedeutet.

Um Missdeutungen zu vermeiden, wird es für notwendig gehalten, den Begriff der Frostbeständigkeit genau festzulegen. Im Rahmen des 1. Versuchsprogramms wurden die Frostprüfungen entsprechend den örtlichen Temperaturverhältnissen auf den Baustellen der Einfeldbrücken einheitlich von + 3° bis — 20° C durchgeführt, sofern die Glasrohre nicht bereits vorher zerstört waren. Die Abkühlung war hierbei recht langsam. Sie betrug 0,5° C/Std.. Benutzt wurde eine Kühltruhe der Firma Brown,

Boveri & Cie mit besonderer automatischer Temperaturregelung. Die Zementmörtelproben wurden beim 1. Versuchsprogramm 12,36 und 168 Std. (7 Tage) nach dem Anmachen dem Frost ausgesetzt, während beim 2. Versuchsprogramm auf die Prüfung 12 und 36 Stunden alter Proben verzichtet und statt dessen 48 Std. = 2 Tage alte Proben untersucht wurden.

4. Zusammenfassung des 2. Versuchsprogramms, seiner Durchführung und Ergebnisse.

Bei der Festlegung und Durchführung des 2. Versuchsprogramms (Aug./Sept. 1954) konnten die Erkenntnisse des 1. Versuchsprogramms, darüber hinaus aber auch die Erfahrungen auf einer Reihe von Spannbetonbaustellen berücksichtigt werden. Die auf einzelnen Baustellen durchgeführte Überprüfung der Arbeitsmethoden für die Aufbereitung und Verpressung der Einpressmörtel führte zu dem Ergebnis, dass hierfür nur noch schnellaufende Mischer mit anschliessender Verpressung durch geeignete Pumpen zugelassen wurden.

Zur Aufbereitung des Einpressmörtels für das 2. Versuchsprogramm wurde daher ein schnellaufender Mischer (1500 Umdrehungen/Min.) als Laboratoriumsgerät entwickelt, der sich bisher recht gut bewährt hat. Ein Vergleich der Mörtelproben einzelner Baustellen, die mit dem Colcrete- oder ähnlichen Mischern hergestellt wurden, ergab kaum feststellbare Unterschiede in der Durchmischung und im Fliessvermögen. Die Wassorzementwerte wurden für die einzelnen Einpressmörtel entsprechend dem Wasseranspruch der Zemente, Zuschläge und Zusatzmittel so festgelegt, dass die Gemische aller Proben gleiches Fliessvermögen aufwiesen, so dass gleiche Verarbeitbarkeit erwartet werden konnte. Ausgangstemperatur für die Prüfungen des 2. Versuchsprogramms war + 19° C. Die Endtemperatur wurde nach denselben Grundsätzen des 1. Versuchsprogramms auf — 20° C festgesetzt.

Tafel I gibt eine Übersicht über die Zusammensetzung der einzelnen Einpressmörtel, die im Rahmen des 2. Versuchsprogramms geprüft wurden. Da die bisher verwendeten Portlandzemente verhältnismässig ungünstig abgeschnitten hatten, wurde auf Vorschlag des Zementlaboratoriums der Westfälischen Zementindustrie in Beckum ein besonderer PZ 325 aus dem Beckumer Raum für die weiteren Prüfungen vorgesehen, der nur 4,5 % Tricalcium-Aluminat enthält, mit dem Tricalcium-Silikat unter 50 % liegt und sich durch besondere Sulfatbeständigkeit auszeichnet. TS-Zement R wurde nochmals verwendet, da er sich hinsichtlich der Frostbeständigkeit bisher am besten bewährt hatte.

Tafel II zeigt die Ergebnisse der Normenprüfungen und der chemischen Untersuchungen für die verwendeten Zemente. Geprüft wurden Einpressmörtel ohne Zuschläge sowie unter Zugabe von Quarzmehl (Mahlung G2) im Mischungsverhältnis Zement: Quarzmehl 2:1 und 4:1.

Obwohl die Anwendung des LP-Stoffes A beim 1. Versuchsprogramm eine nachweisbare Verbesserung des Einpressmörtels nicht gezeigt hat, führte die vorstehend erläuterte, auf Grund der Ergebnisse aufgestellte Hypothese über den erforderlichen Anteil an wasserfreien Poren als Schlussfolgerung der ersten Versuche zu eingehenden Überlegungen über die zweckmässige Anwendung von Zusatzmitteln. Infrage kommen ausser

LP-Stoffen Zusatzmittel mit blähenden Wirkungen auf der Grundlage von Aluminium-Pulver, wie es für diesen Zweck bereits bei der Herstellung von Ytongsteinen Verwendung findet. Allerdings darf beim Einpressmörtel im Gegensatz zu den Ytong-Steinen die blähende Wirkung erst dann einsetzen, wenn der Mörtel eingepresst ist, d. h. etwa 15 – 20 Minuten nach der Aufbereitung. Mit Rücksicht hierauf wurde ein Aluminium-Pulver mit verhältnismässig kleiner Oberfläche gewählt. Da die Zugabe von Aluminium-Pulver in den gewählten Dosierungen von etwa 0,006 % auf Baustellen nicht zuverlässig genug möglich ist, werden wahrscheinlich zweckmässiger Spezial-Zusatzmittel mit einem richtig bemessenen Anteil an blähenden Stoffen Verwendung finden. Eine Erprobung derartiger Mittel konnte erst im Rahmen des 3. Versuchsprogramms erfolgen.

Bei Durchführung des 2. Versuchsprogramms war weiterhin bekannt, dass Bentonit zur Güteverbesserung von Zementmörtel und Beton mit Erfolg zu verwenden ist. Entsprechend seinem grossen Wasseradsorptionsvermögen, das eine Quellung und Volumenausweitung zur Folge hat, durfte hier mindestens mit der Verringerung der Entmischung gerechnet werden. Erfahrungen über die Frostbeständigkeit von Zementmörtel unter Verwendung von Bentonit lagen beim Ablauf des 2. Versuchsprogramms nicht vor.

Ursprünglich war auch Trass als Zusatzmittel in Aussicht genommen. Da aber bereits bei den ersten Versuchsreihen mit Trass festgestellt wurde, dass die Zugabe von Trass den Wasseranspruch erheblich erhöhte ($W/Z = 0,72$ bis $0,8$), wurde auf die Erprobung von Trass als Zusatzmittel verzichtet.

Die Ergebnisse der 2 und 7 Tage alten Proben des 2. Versuchsprogramms sind ebenfalls auf Tafel I, 1 und I, 2 zu sehen. Wie bereits bei Abschluss des 1. Versuchsprogramms festgestellt werden konnte, sind für die Güte der zur Verwendung kommenden Einpressmörtel neben den vorhandenen Biegezug- und Druckfestigkeiten die Wasser/Zement-Werte, das Absetzmass ($V_n - V_{erst}$), der Porenraum des Festmörtels (V_p), die Menge des chemisch nicht gebundenen Wassers (V_{wu}) und die sich hieraus ergebenden wasserfreien Poren und die entsprechenden f_B -Werte massgebend. Wenn bei den untersuchten Mörtelgemischen des 2. Versuchsprogramms auch kein Mörtel gefunden werden konnte, der alle Vorzüge eines guten einwandfreien Einpressmörtels gleichermassen vereint, so kann aus den Ergebnissen wenigstens der Weg für die Zusammensetzung und Aufbereitung brauchbarer Einpressmörtel abgeleitet werden.

Die Ergebnisse des 2. Versuchsprogramms haben bestätigt, dass die Mörtelgemische mit Tonerde-Schmelz-Zement infolge ihres geringen Anteils an chemisch nicht gebundenen Wasser und entsprechend dem hohen Gehalt an wasserfreien Poren -durchweg frostbeständig waren. Dagegen zeigten diese Mörtelgemische bei W/Z -Werten von etwa 0,50 stets recht hohe Absetzwerte (V_a). Aus der Tatsache, dass das Absetzmass der 7-Tage alten Proben z. B. der Reihe 5.321 (TSZR + Q 2:1, $W/Z = 0,56$) etwa den 4-fachen Wert der 2-Tage alten Probe erreicht, muss geschlossen werden, dass es sich hier nicht allein um Absetzerscheinungen, sondern auch um Schrumpfauswirkungen handelt. Für die Praxis dürfte

Ermittlung der wasserfreien Poren u

Bezeichn. der Probe	Mörtelmischung	$\frac{W}{Z}$	Gewicht			Reinwichte der trockenen Probe s gr/cm ³	Vol. de erstarre Probe Verst cm ³
			der		des		
			frischen	trockenen	ungeb.		
			Probe G _n gr.	Probe G _t gr.	Wassers $G_{wu} = V_{wu} = (G_n - G_t)$ gr = cm ³		
1	2	3	4	5	6	7	8
4.111	PZ 425 — ohne —	0,50	287,63	219,13	68,50	2,72	153,64
4.112	+ 0,2 % LP — A —	0,48	289,62	221,94	67,68	2,72	153,64
4.113	+ 2,0 % LP — A —	0,455	273,50	209,45	64,05	2,72	153,81
4.114	+ 0,006 % Alu. Pulv.	0,50	288,83	218,26	70,57	2,74	154,20
4.115	+ 3 % Bentonit	0,525	286,67	214,53	72,14	2,73	152,87
4.116	+ Trass iMV 2 : 1	0,80	271,01	191,59	79,42	2,69	150,97
4.121	+ Qu. 2:1 — ohne —	0,56	302,23	241,38	60,85	2,70	153,20
4.122	+ 0,2 % LP — A —	0,57	297,56	237,71	59,85	2,66	152,87
4.132a	+ 0,5 % LP — A —	0,525	292,52	231,27	61,25	2,69	153,2
4.211	PZ 325 — ohne —	0,41	296,75	232,00	64,75	2,82	151,1
4.212	+ 0,2 % LP — A —	0,41	291,62	228,46	63,16	2,84	150,9
4.213	+ 2,0 % LP — A —	0,39	270,24	210,66	59,58	2,80	154,5
4.214	+ 0,006 % Alu. Pulv.	0,41	303,59	237,77	65,82	2,84	154,5
4.215	+ 3 % Bentonit	0,435	298,47	230,39	68,08	2,82	153,4
4.216	+ Trass iMV 2 : 1	0,72	277,02	198,07	78,95	2,74	151,5
4.221	+ Qu. 2:1 — ohne —	0,56	303,13	234,96	68,17	2,77	151,9
4.222	+ 0,2 % LP — A —	0,56	295,92	229,75	66,17	2,74	151,7
4.231	+ Qu. 4:1 — ohne —	0,48	300,37	237,13	63,24	2,78	152,8
4.232	+ 0,2 % LP — A —	0,48	292,79	230,22	62,57	2,78	153,4
4.232a	+ 0,5 % LP — A —	0,48	283,55	222,70	60,85	2,77	154,0
4.232b	+ 1,0 % LP — A —	0,47	278,53	217,53	61,00	2,78	154,2
4.233	+ 2,0 % LP — A —	0,46	265,93	209,51	56,42	2,80	154,2
4.311	TSZ — R — ohne —	0,50	284,00	237,03	46,97	2,72	151,0
4.312	+ 0,2 % LP — A —	0,50	276,30	231,37	44,93	2,73	151,0
4.313	+ 2,0 % LP — A —	0,48	254,05	211,92	42,13	2,74	154,7
4.314	+ 0,006 % Alu. Pulv.	0,50	281,49	234,42	47,07	2,74	154,7
4.321	+ Qu. 2:1 — ohne —	0,56	297,46	254,65	42,81	2,67	153,7

Prüftemperatur 18 — 20° C; (*) V_n = 145,59 cm³; (**) V_t = G_t/s; (***) b. = bestanden, n

I, 1

f_B - Werte des 2. Versuchsprogramms

(*) absetzen $\frac{V_n - V_{\text{erst}}}{V_{\text{erst}}} \cdot 100$ Raum %	(**) Porenraum des erstarrten Mörtels $V_{\text{erst}} - V_t = V_p$ cm³	Feste Masse $\frac{V_t}{V_{\text{erst}}} \cdot 100$ Raum %	Porenraum $\frac{V_{\text{erst}} - V_t}{V_{\text{erst}}} \cdot 100$ Raum %	Chem. nicht gebundenes Wasser $W = \frac{V_{\text{su}}}{V_{\text{erst}}} \cdot 100$ Raum %	Wasserfreie Poren $L = \frac{V_L}{V_{\text{erst}}} \cdot 100 = \frac{V_{\text{erst}} - V_t - V_{\text{su}}}{V_{\text{erst}}} \cdot 100$ Raum %	Verhältnis der wasserfreien Poren zum chem. nicht gebundenen Wasser f _B	(***) Ergebnis der Frostprüfung
9	10	11	12	13	14	15	16
0,61	73,08	52,43	47,57	44,58	2,99	6,71	n. b.
0,61	72,04	53,11	46,89	44,05	2,84	6,45	n. b.
0,50	76,81	50,06	49,94	41,64	8,30	19,93	b.
0,25	74,54	51,66	48,34	45,77	2,57	5,62	n. b.
1,11	74,29	51,40	48,60	47,19	1,41	2,99	n. b.
2,34	79,75	47,17	52,83	52,61	0,22	0,42	n. b.
0,86	63,86	58,33	41,67	39,70	1,97	4,96	n. b.
1,11	63,51	58,45	41,55	39,15	2,40	6,13	n. b.
0,86	67,29	56,09	43,91	39,96	3,95	9,88	b.
2,24	68,85	54,44	45,56	42,85	2,71	6,32	n. b.
2,34	70,53	53,28	46,72	41,84	4,88	11,66	b.
-	79,35	48,67	51,33	38,54	12,79	33,19	b.
-	70,87	54,16	45,84	42,58	3,26	7,66	n. b.
0,75	71,73	53,25	46,75	44,37	2,38	5,36	n. b.
1,97	79,25	47,70	52,30	52,19	0,20	0,38	n. b.
1,70	67,14	55,82	44,18	44,86	0	0	n. b.
1,84	67,90	55,26	44,74	43,60	1,14	2,61	n. b.
1,11	67,57	55,80	44,20	41,37	2,83	6,84	n. b.
0,75	70,62	53,97	46,03	40,78	5,25	12,87	b.
0,36	73,63	52,20	47,80	39,51	8,29	21,98	b.
0,25	75,95	50,75	49,25	39,56	9,69	24,49	b.
-	79,76	48,41	51,59	36,50	15,09	41,34	b.
2,28	63,92	57,69	42,31	31,09	11,22	36,09	b.
2,28	66,31	56,10	43,90	29,74	14,16	47,61	b.
0,25	76,86	50,16	49,84	27,32	22,52	82,43	b.
-	69,04	55,34	44,66	30,45	14,21	46,67	b.
0,82	57,95	62,20	37,80	27,92	9,88	35,39	b.

: bestanden.

Ermittlung der wasserfreien Poren u

Bezeichn. der Probe	Mörtelmischung	$\frac{W}{Z}$	Gewicht			Reinwichte der trockenen Probe s gr/cm ³	Vol. der erstarrter Probe Verst cm ³
			frischen	trockenen	des		
			Probe		Wassers		
			G _n	G _t	$\frac{(G_n - G_t)}{G_{n,u}} = V_{n,u}$		
			gr.	gr.	gr = cm ³		
1	2	3	4	5	6	7	8
5.111	PZ 425 — ohne —	0,50	288,08	225,26	62,82	2,67	153,43
5.112	+ 0,2 % LP — A —	0,48	289,52	228,38	61,14	2,66	153,64
5.113	PZ 425 + 2,0 % LP — A —	0,455	274,88	215,00	59,88	2,66	153,81
5.114	PZ 425 + 0,006 % Alu. Pulv.	0,50	287,08	223,87	63,21	2,665	154,59
5.115	PZ 425 + 3 % Bentonit	0,525	285,11	217,53	67,58	2,66	152,48
5.116	PZ 425 + Trass iMV 2 : 1	0,80	272,46	195,67	76,79	2,66	150,97
5.121	PZ 425 + Qu. 2:1 — ohne —	0,56	301,57	247,52	54,05	2,63	152,66
5.122	PZ 425 + Qu. 2:1 + 0,2 % LP — A —	0,57	298,65	243,24	55,41	2,65	152,27
5.132a	PZ 425 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,525	292,60	233,12	59,48	2,65	153,04
5.211	PZ 325 — ohne —	0,41	295,37	234,49	60,88	2,79	151,12
5.212	PZ 325 + 0,2 % LP — A —	0,41	292,54	233,65	58,89	2,78	150,97
5.213	PZ 325 + 2,0 % LP — A —	0,39	267,98	211,17	56,81	2,78	154,59
5.214	PZ 325 + 0,006 % Alu. Pulv.	0,41	302,90	242,44	60,46	2,77	153,81
5.215	PZ 325 + 3 % Bentonit	0,435	299,22	233,98	65,24	2,76	152,66
5.216	PZ 325 + Trass iMV 2 : 1	0,72	276,68	201,45	75,23	2,71	151,54
5.221	PZ 325 + Qu. 2:1 — ohne —	0,56	301,39	236,58	64,81	2,71	150,76
5.222	PZ 325 + Qu. 2:1 + 0,2 % LP — A —	0,56	293,55	233,19	60,36	2,72	151,75
5.231	PZ 325 + Qu. 4:1 — ohne —	0,48	300,70	240,19	60,51	2,75	152,27
5.232	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,2 % LP — A —	0,48	288,79	228,59	60,20	2,75	153,04
5.232a	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,48	283,96	224,60	59,36	2,745	153,43
5.232b	PZ 325 + Qu. 4:1 + 1,0 % LP — A —	0,47	277,23	219,89	57,34	2,74	154,20
5.233	PZ 325 + Qu. 4:1 + 2,0 % LP — A —	0,46	265,21	211,92	53,29	2,74	154,20
5.311	TSZ — R — ohne —	0,50	280,63	237,19	43,44	2,69	151,06
5.312	TSZ — R + 0,2 % LP — A —	0,50	273,46	228,66	44,80	2,70	151,06
5.313	TSZ — R + 2,0 % LP — A	0,48	254,96	213,51	41,45	2,73	153,75
5.314	TSZ — R + 0,006 % Alu. Pulv.	0,50	282,71	238,11	44,60	2,67	154,52
5.321	TSZ — R + Qu. 2:1 — ohne —	0,56	298,06	259,32	38,74	2,66	148,84

Prüftemperatur 18 — 20° C; (*) V_n = 145,59 cm³; (**) V_t = G_t/s; (***) b. = bestanden, n. b

L I, 2

 $r f_B$ - Werte des 2. Versuchsprogramms

(*) Absetzen	(**) Porenraum des erstarrten Mörtels	Feste Masse	Porenraum	Chem. nicht gebundenes Wasser	Wasserfreie Poren	Verhältnis der wasserfreien Poren zum chem. nicht gebundenen Wasser	(***) Ergebnis der Frostprüfung
$\frac{V_n - V_{\text{erz}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$	$V_{\text{erz}} - V_t = V_p$	$\frac{V_t}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$	$\frac{V_{\text{erz}} - V_t}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$	$\frac{V_{\text{wu}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$	$L = \frac{V_L}{V_{\text{erz}}} \cdot 100 = \frac{V_{\text{erz}} - V_t - V_{\text{wu}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$	f_B	
Raum %	cm ³	Raum %	Raum %	Raum %	Raum %		
9	10	11	12	13	14	15	15
0,75	69,06	54,99	45,01	40,94	4,07	9,94	b.
0,61	67,78	55,88	44,12	39,79	4,33	10,88	b.
0,50	72,98	52,55	47,45	38,93	8,52	21,89	b.
-	70,59	54,34	45,66	40,89	4,77	11,67	b.
1,36	70,70	53,63	46,37	44,32	2,05	4,63	b.
2,34	77,41	48,72	51,28	50,86	0,42	0,83	n. b.
1,25	58,55	61,65	38,35	35,41	2,94	8,30	b.
1,50	60,48	60,28	39,72	36,39	3,33	9,15	b.
1,00	65,07	57,48	42,52	38,87	3,65	9,39	b.
2,24	67,07	55,62	44,38	40,29	4,09	10,15	b.
2,34	66,92	55,67	44,33	39,01	5,32	13,64	b.
-	78,63	49,14	50,86	36,75	14,11	38,39	b.
0,50	66,24	56,90	43,10	39,31	3,79	9,64	b.
1,25	67,88	55,54	44,46	42,74	1,72	4,02	b.
1,97	77,20	49,06	50,94	49,64	1,30	2,62	n. b.
2,48	63,46	57,91	42,09	42,99	0	0	n. b.
1,84	66,02	56,49	43,51	39,78	3,73	9,38	b.
1,50	64,93	57,36	42,64	39,74	2,90	7,30	n. b.
1,00	69,92	54,31	45,69	39,34	6,35	16,14	b.
0,75	71,61	53,33	46,67	38,69	7,98	20,63	b.
0,25	73,95	52,04	47,96	37,19	10,77	28,96	b.
0,25	76,86	50,16	49,84	34,56	15,28	44,21	b.
2,28	62,89	58,37	41,63	28,76	12,87	44,75	b.
2,28	66,37	56,06	43,94	29,66	14,28	48,15	b.
0,54	75,54	50,87	49,13	26,96	22,17	82,23	b.
0,05	65,34	57,71	42,29	28,86	13,43	46,53	b.
3,72	51,35	65,50	34,50	26,03	8,47	32,54	b.

t bestanden.

TAFEL II

*Normenprüfung DIN 1164 und chemische Untersuchung
der verwendeten Zemente*

I Portland — Zement 425 II Portland — Zement 325		III Tonerdeschmelzzement — R — IV Hochofenzement 325		
Normenprüfung	I	II	III	IV
Mahlfeinheit (Sieb 4900 Maschen)	0,84	9,73	3,48	3,68
Wasseranspruch (Normensteife)	28,0 %	24,3 %	26,7 %	26,7 %
Erstarrungszeit Beginn	2 h 00 Min	1 h 50 Min	3 h 10 Min	1 h 35 Min
Ende	2 h 35 Min	2 h 15 Min	5 h 00 Min	2 h 15 Min
Kochversuch	bestand.	bestand.	Haut	bestand.
Kaltwasserversuch	bestand.	bestand.	abgeblätt.	bestand.
Festigkeiten				
Biegezug, Alter 24 Std.	44,4	—	18,3	—
» 3 Tage	69,4	46,5	65,8	43,7
» 7 Tage	78,0	55,1	70,1	60,6
» 28 Tage	90,1	69,6	69,1	78,1
Druck, Alter 24 Std.	184	—	107	—
» 7 Tage	377	213	638	192
» 3 Tage	492	280	736	305
» 28 Tage	629	388	865	507
Chemische Untersuchung	Ergebnisse in Gew. %			
Kieselsäure, SiO ₂	19,6	22,2	9,4	26,7
Tonerde, Al ₂ O ₃	11,4	4,8	44,2	0,0
Eisenoxyd Fe ₂ O ₃	4,2	4,0	6,2	10,5
Kalk, CaO	63,8	64,3	36,5	56,6
Magnesiumoxyd, MgO	2,8	2,1	2,2	3,2
Sulfat, SO ₃	1,6	2,0	1,0	2,0
Sulfidschwefel	0,0	0,0	0,0	0,9
Säureunlösliches	0,2	0,2	0,1	0,0
Chlorid, Cl	0,0	0,0	0,0	0,0
Glühverlust	0,6	0,4	0,4	0,2

es jedoch gleichgültig sein, welcher Anteil auf Absetzen oder auf Schrumpfen entfällt. Die nachteiligen Folgen des unzulänglichen Verbunds sind in beiden Fällen gleich. Im übrigen ist eine gewisse Einwirkung des Schrumpfens auch bei den mit Portlandzement und Quarzmehl aufbereiteten Mörtelgemischen zu erkennen.

Es war zu erwarten, dass sich entsprechend den grösseren Absetz- bzw. Schrumpfwerten kleinere Porenräume ergaben. Umgekehrt hatten

kleinere Absetz- (Schrumpf-) -Werte grössere Porenräume zur Folge. Ausnahmen gab es neben den beiden PZ 325 = Gemischen (.211 und .212) allein bei den Versuchsreihen mit Trass (.116 und .216), die bei hohen Absetzmassen auch recht grosse Porenräume — allerdings mit voller Wassersättigung zeigten. Die Zementmörtel aus Tonerde-Schmelz-Zement mit 2 % LP-Stoff A und 0,006 % Aluminium-Pulver waren hinsichtlich der Absetz- oder Schrumpferscheinungen wesentlich günstiger als die übrigen TSZ-Mörtelgemische.

Bei den Mörtelgemischen mit PZ 425 waren mit Ausnahme der Reihen mit Trass (d. h. .111 bis .115) die Absetzmasse recht gering, obwohl die Wasser-Zement-Werte zwischen 0,46 und 0,525 lagen. Der Porengehalt dieser Gemische war ebenso wie beim PZ 325 (.211 und .212) verhältnismässig hoch, gleichfalls auch das Volumen des chemisch nicht gebundenen Wassers. Hierdurch verringerten sich die wasserfreien Poren, so dass in der Regel nur die 7-Tage alten Proben f_B — Werte > 9 erreichten und damit frostbeständig waren. Eine Ausnahme bildet die Versuchsreihe mit 2 % LP-Stoff A, die auch im Alter von 2 Tagen die Frostprüfung bestand. Dass die beiden Versuchsreihen mit Trass infolge des hohen Wasseranspruchs bei der Frostprüfung versagen würden, war zu erwarten.

Von besonderem Interesse sind die systematischen Untersuchungen der mit Portlandzement 325 und Quarzmehl im Mischungsverhältnis 4:1 aufbereiteten Mörtelmischungen, bei denen ausserdem noch verschiedene Dosierungen des LP-Stoffes A erprobt wurden. Hierbei zeigte es sich, dass sich mit steigender Zugabe von LP-Stoff A (0,0,2 0,5,1 und 2 %), bei etwa gleichbleibenden W/Z — Werten (0,46 — 0,48) die Absetzmasse und das chemisch nicht gebundene Wasser verringerten, während entsprechend das Porenvolumen und damit die Anteile der wasserfreien Poren und die f_B — Werte grösser wurden. Es kann erwartet werden, dass bei weiterer konsequenter Verfolgung dieser Lösung bereits bei einer Dosierung von 0,2 bis 0,5 % LP-Stoff A mit Sicherheit ein entmischungsfreier und frostbeständiger Einpressmörtel erreicht wird.

Die bei der Auswertung des 1. Versuchsprogramms aufgestellte Hypothese über die Frostbeständigkeit konnte durch die Ergebnisse des 2. Versuchsprogramms bestätigt werden. Lediglich die Reihe 5.121 (PZ 425 mit Quarzmehl 2:1) und die Reihen 5.115 n. 5.215 (PZ 425 bzw. PZ 325 + 3 % Bentonit) haben die Frostprüfung bestanden, obwohl die f_B — Werte mit 8,3 bzw. 4,63 und 4,02 kleiner als 9 waren. Bei der Reihe 5.121 liegt die Abweichung im Rahmen der möglichen Streuungen. Dagegen ist die Ursache bei den Reihen 5.115 n. 5.215 in der Eingenart des Bentonits zu suchen, bei dem im Bereich der kolloidalen Grössenordnung der Stoffteilchen das Adsorptionswasser als hygroskopisches Wasser eine ebenso grosse Bedeutung hat wie das Hydrationswasser. Da etwa 40 v. H. des Adsorptionswassers in den Kristallgitterbau des Bentonits eingegliedert werden müsste dieser Anteil von dem Volumen des chemisch nicht gebundenen Wassers abgesetzt werden, um vergleichbare f_B — Werte zu erhalten.

Die Prismenfestigkeit der Mörtelgemische war mit Ausnahme der Einpressmörtel mit PZ 325 wesentlich geringer als sie auf Grund der Normenprüfung der Zemente erwartet werden konnte. Sowohl beim Portland-Zement 425 wie insbesondere beim Tonerde-Schmelz-Zement

machte sich das Fehlen der bei der Normenprüfung vorgeschriebenen Wassereinlagerung stark bemerkbar. Es wurde jedoch der Standpunkt vertreten, dass die Prüfungen den örtlichen Bedingungen der einzelnen Baustellen angepasst werden müssten, wenn diese Versuche überhaupt Wert haben sollten.

Die im Rahmen des 2. Versuchsprogramms vorgenommenen Schwindmessungen an 16 cm langen Normen-Prismen (4×4 cm) liessen einen Zusammenhang von Schwinden, Absetzen und Frostbeständigkeit nicht erkennen. Die Zusatzmittel haben die Schwindmasse in der Regel erhöht. Erwartungsgemäss zeigten die Reihen mit PZ 425 die grössten Schwindmasse, und zwar wurde bei der Reihe .113 (PZ 425 mit 2 % LP-Stoff A) eine Schrumpfung von 0,36 mm gemessen. Demgegenüber wiesen die Einpressmörtel aus PZ 325 mit 0,14 mm (Reihe .221) das kleinste Schwindmass auf. Überraschend lagen die Zementmörtel mit TSZ an der unteren Grenze (0,22 — 0,25 mm).

Auf Grund der Ergebnisse des 2. Versuchsprogramms konnte folgende Schlussfolgerung gezogen werden. Hinsichtlich der Frostbeständigkeit haben die Mörtelgemische mit TSZ wiederum am günstigsten abgeschnitten, sie haben in jeder Zusammensetzung die Frostprüfung bestanden. Da aus den Kreisen der interessierten Spannbetonfirmen Einwendungen gegen die Verwendung von TSZ erhoben wurden, die sich insbesondere gegen seine Empfindlichkeit bei höheren Temperaturen richteten, wurden die Untersuchungen der Baustoffprüfanstalt Münster in dieser Hinsicht ergänzt. Hierbei zeigte es sich, dass bei höheren Temperaturen ($> 30^{\circ}\text{C}$) die mit TSZ — R angesetzten Mörtelgemische ausserordentlich langsam abbinden. Ausserdem treten bei höheren Temperaturen Festigkeitsverluste auf, die die Verwendung des TSZ für Einpressmörtel zwar nicht völlig ausschliessen, aber auf Sonderfälle beschränken dürften.

Neben dem TSZ — R wurde in dem Portland-Sonder-Zement 325 ein Zement gefunden, der bei weiterer Verbesserung des Gesamtgemisches voraussichtlich alle Bedingungen eines einwandfreien Einpressmörtels erfüllen wird. Er zeigte gegenüber den Normenprüfungen kaum Festigkeitsverluste, in Verbindung mit Quarzmehl (zweckmässig i. M. nicht unter 4:1) und LP Stoff A bei Wasserzementwerten zwischen 0,46 — 0,48 recht geringe Absetzerscheinungen und infolgedessen verhältnismässig hohe Anteile an wasserfreien Poren. Damit sind die Voraussetzungen für eine ausreichende Frostbeständigkeit erfüllt. Es ist zu erwarten, dass unter den Bedingungen des Versuchsprogramms auch in der Praxis bereits die Mörtelzusammensetzung der Reihen .232 (PZ 325 + Quarzmehl 4:1 + 0,2 % LP-A) als frostbeständig anzusehen ist. PZ 425 bringt demgegenüber keine Vorteile. Wahrscheinlich liegt das an dem höheren Wasseranspruch, so dass die Wasserzementwerte bei gleicher Verarbeitbarkeit etwa 10 bis 20 % höher als bei dem verwendeten PZ 325 liegen.

Bentonit und Aluminiumpulver haben sich im Gegensatz zu dem LP-Stoff A als Zusatzmittel nicht restlos bewährt. Das mag an der nicht ausreichenden Dosierung oder an der Art bzw. Zusammensetzung dieser Stoffe liegen. Auf Grund der Versuche wird es jedoch durchaus für möglich gehalten, auch mit Bentonit oder Alu-Pulver einen Einpressmörtel zu entwickeln, der allen Ansprüchen genügt. Es konnte nicht Aufgabe

der durchgeführten Versuche sein, fertige Rezepte für die einzelnen Einpressmörtel herauszugeben. Hierfür müssen noch weitere, systematische Untersuchungen durchgeführt werden, um insbesondere auch festzustellen, ob und in welcher Form Zusätze mit blähender Wirkung in der ausserordentlich geringen Dosierung zuverlässig angewendet werden können.

In der Zwischenzeit sind einige Zusatzmittel für die Herstellung von Einpressmörtel bekannt geworden (Intrusion Aid, Intraplast und nach Abschluss der Versuche Tricosal H 181), bei denen die aufgezzeichneten Schwierigkeiten ausgeschaltet werden können. Da sie aus zeitlichen Gründen nicht mehr in das 2. Versuchsprogramm einbezogen werden konnten, wurden sie in einer weiteren Serie von Versuchen berücksichtigt (3. Versuchsprogramm), die im April 1955 in der Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster durchgeführt wurden.

Im Rahmen dieser Versuche sollte bei den bewährten Mörtelmischungen des 2. Versuchsprogramms die Frostbeständigkeit mit einem Dilatometer festgestellt werden, um auch hiermit die Richtigkeit der Hypothese über die Frostbeständigkeit von Einpressmörteln zu überprüfen. Leider war bis zum Beginn der Versuche die Neuentwicklung eines Dilatometers nicht betriebsbereit, so dass auf das bereits vorhandene, nach den Angaben von R. C. Valore [3] entwickelte Gerät zurückgegriffen werden musste. Der Bericht über die ersten beiden Versuchsprogramme [1] enthält nähere Einzelheiten über dieses Gerät, das in Abb. 2 dargestellt ist.

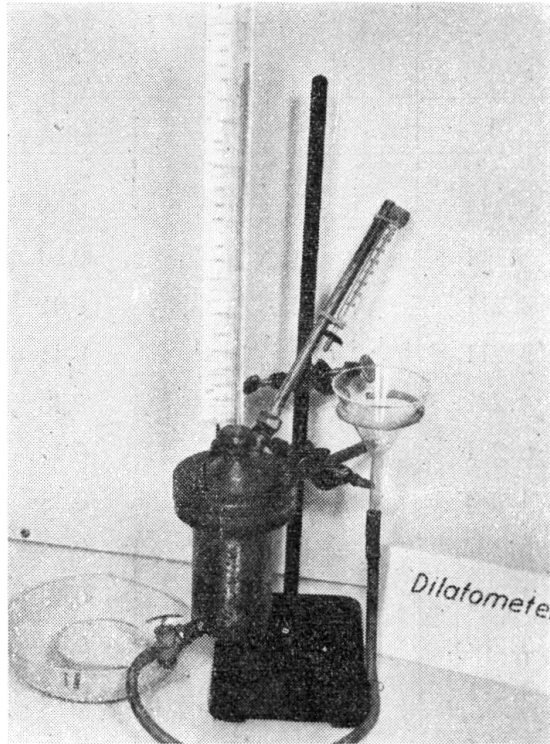


BILD 2. Dilatometer zur Feststellung der Frostbeständigkeit von Einpressmörtel

5. Aufbau, Durchführung und Ergebnisse des 3. Versuchsprogramms.

Im einzelnen ist das 3. Versuchsprogramm aus Tafel III zu ersehen. Neben PZ 325 und 425 mit und ohne Quarzmehl und LP-Stoff A in verschiedenen Dosierungen sollte auch die Eignung des HOZ 325 für die Herstellung von Einpressmörtel festgestellt werden. Intrusion Aid und Intraplast wurden nach den Rezeptangaben der Hersteller bzw. der Verbraucher angewendet.

Die Versuchsgrundlagen waren im allgemeinen dieselben wie beim 2. Versuchsprogramm. Lediglich die Frostprüfungen zeigten infolge der Anwendung des Ausdehnungsmessgerätes Abweichungen. Ausserdem wurden die Frostprüfungen mit wesentlich grösseren Kühlgeschwindig-

Ermittlung der wasserfreien Poren in

Bezeichn. der Probe	Mörtelmischung	$\frac{W}{Z}$	Gewicht			Reinwichte der trockenen Probe s gr = cm ³	Vol. der erstarrten Probe Verst cm ³
			der		des		
			frischen	trockenen	ungeb.		
			Probe		Wassers		
			G _n	G _t	$\begin{matrix} = \\ (G_n - G_t) = \\ \text{gr/cm}^3 \end{matrix}$		
			gr.	gr.	$\begin{matrix} = \\ G_{\text{wa}} = \\ V_{\text{wa}} \end{matrix}$		
1	2	3.	4	5	6	7	8
4.111	PZ 425 — ohne —	0,50	282,30	215,11	67,19	2,71	152,02
5.111	PZ 425 — ohne —	0,50	282,32	222,37	59,95	2,64	152,02
4.211	PZ 325 — ohne —	0,41	300,12	235,39	64,73	2,81	153,52
5.211	PZ 325 — ohne —	0,41	300,15	239,40	60,75	2,77	153,04
4.231	PZ 325 + Quarzmehl 4:1	0,48	299,04	236,50	62,54	2,76	152,60
5.231	PZ 325 + Quarzmehl 4:1	0,48	299,03	239,51	59,52	2,71	152,60
4.232	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,2 % LP — A —	0,48	282,82	221,37	61,45	2,78	153,72
5.232	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,2 % LP — A —	0,48	282,79	225,10	57,69	2,71	153,52
4.232a	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,48	274,39	214,75	59,64	2,78	153,80
5.232a	PZ 325 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,48	274,55	217,85	56,70	2,71	153,72
4.511	HOZ 325 — ohne —	0,45	292,33	227,15	65,18	2,77	152,87
5.511	HOZ 325 — ohne —	0,45	292,37	233,35	59,02	2,68	152,48
4.531	HOZ 325 + Quarzmehl 4:1	0,48	294,82	235,16	59,66	2,72	152,44
5.531	HOZ 325 + Quarzmehl 4:1	0,48	294,81	240,02	54,79	2,69	151,96
4.532	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 0,2 % LP — A —	0,48	291,45	229,23	62,22	2,74	152,28
5.532	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 0,2 % LP — A —	0,48	291,34	234,55	56,79	2,64	151,96
4.532a	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,48	284,83	224,07	60,76	2,74	151,38
5.532a	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 0,5 % LP — A —	0,48	284,93	229,48	55,45	2,64	151,15
4.532b	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 1,0 % LP — A —	0,48	276,01	216,31	59,70	2,74	151,50
5.532b	HOZ 325 + Qu. 4:1 + 1,0 % LP — A —	0,48	276,10	223,36	52,74 (*)	2,61	151,74
4.600	PZ 325 + Flugasche 3:1 + 0,6 % Instrusion Aid	0,63	281,56	210,59	70,97 (*)	2,72	154,59
5.600	PZ 325 + Flugasche 3:1 + 0,6 % Instrusion Aid	0,63	281,49	215,36	66,13 (*)	2,69	154,59
4.700	PZ 325 + 3 % Intraplast	0,40	298,04	237,19	60,85	2,81	154,59
5.700	PZ 325 + 3 % Intraplast	0,40	298,05	239,82	58,23	2,76	154,59

Prüftemperatur 18 — 20° C; (*) V_n = 145,59 cm³; (**) V_t = G_t/s; (***) b. = bestanden, n. b.

IL III

er f_8 - Werte des 3. Versuchsprogramms

(*) Absetzen $\frac{V_n - V_{\text{erz}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$ Raum %	(**) Porenraum des erstarrten Mörtels $V_{\text{erz}} - V_i = V_p$ cm ³	Feste Masse $\frac{V_i}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$ Raum %	Porenraum $\frac{V_{\text{erz}} - V_i}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$ Raum %	Chem. nicht gebundenes Wasser $W = \frac{V_{\text{su}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$ Raum %	Wasserfreie Poren $L = \frac{V_i}{V_{\text{erz}}} \cdot 100 = \frac{V_{\text{erz}} - V_i - V_{\text{su}}}{V_{\text{erz}}} \cdot 100$ Raum %	Verhältnis der wasserfreien Poren zum chem. nicht gebundenen Wasser fit	(***) Ergebnis der Frostprüfung
9	10	11	12	13	14	16	16
1,64	72,64	52,22	47,78	44,20	3,58	8,10	n. b.
1,64	67,79	55,41	44,59	39,44	5,15	13,06	b.
0,69	69,75	54,57	45,43	42,16	3,30	7,83	n. b.
1,00	66,61	56,48	43,52	39,70	3,82	9,62	b.
1,29	66,91	56,15	43,85	40,98	2,87	7,00	n. b.
1,29	64,22	57,92	42,08	39,00	3,08	7,90	n. b.
0,56	74,09	51,80	48,20	39,98	8,30	20,76	b.
0,69	70,46	54,10	45,90	37,58	8,32	22,14	b.
0,51	76,55	50,23	49,77	38,78	10,99	28,34	b.
0,56	73,33	52,30	47,70	36,89	10,81	29,30	b.
1,11	70,87	53,64	46,36	42,64	3,72	8,72	n. b.
1,36	65,41	57,10	42,90	38,71	4,19	10,82	b.
1,39	65,98	56,72	43,28	39,14	4,14	10,58	b.
1,70	62,73	58,72	41,28	36,06	5,22	14,48	b.
1,49	68,62	54,94	45,06	40,86	4,20	10,28	b.
1,70	63,12	58,46	41,54	37,37	4,17	11,16	b.
2,08	69,60	54,02	45,98	40,14	5,84	14,55	b.
2,23	64,23	57,51	42,49	36,69	5,80	15,81	b.
2,00	72,55	52,11	47,89	39,41	8,48	21,52	b.
1,84	66,16	56,40	43,60	34,76	8,84	25,43	b.
-	78,07	49,50	50,50	45,91	4,59	10,00	b.
-	74,54	51,78	48,22	42,78	5,44	12,72	b.
-	70,08	54,60	45,40	39,36	6,04	15,35	b.
-	67,70	56,21	43,79	37,67	6,12	16,25	b.

icht bestanden,

keiten durchgeführt (6 bis 28°/Std.) gegenüber 0,5°/std. bei den Frostversuchen der ersten beiden Versuchsprogramme.

Die Untersuchung der Einpressmörtel mit Intrusion Aid ergab ähnliche Schwierigkeiten wie sie auch bei der Anwendung von Aluminiumpulver im Rahmen des 2. Versuchsprogramms bereits festgestellt wurden, da auch Intrusion Aid Stoffe mit blähender Wirkung enthält. Infolge der Erhöhung des Innendrucks bei der Wasserstoffbildung ist es trotz guter Dichtigkeit des Prüfkörper-Formen (Abb 3) und trotz grösster Sorgfalt bei der Versuchsdurchführung nicht einwandfrei möglich, Wasserverluste aus dem Frischmörtel der Versuchskörper zu vermeiden.

So konnte der Wasserverlust der Reihe 4.600 mit Hilfe eines Kontrollversuchs zu 2,84 cm³ festgestellt werden.

Das Volumen der im Hartgummiring erstarrten Proben war infolge der Zugabe von 0,6 % Intrusion Aid durchweg um 9,25 cm³, d. h. um rd. 6 % gewachsen. In den Spannkälen kann jedoch nicht mit einer derartigen Ausweitung des Volumens gerechnet werden. Der Porenraum und infolgedessen auch das chemisch nicht gebundene Wasser und die wasserfreien Poren sind daher bei der Auswertung der Versuche mit Intrusion Aid auf das Volumen der frischen Probe zu beziehen. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen wurden für die Reihen 4.600 bzw. 5.600 (Tafel III) 4,59 bzw. 5,44 % wasserfreie Poren festgestellt. Die f_B — Werte lagen bei 10,00 bzw. 12,72 %.



BILD 3. Formen für die Herstellung der Probekörper zur Feststellung der Frostbeständigkeit im Dilatometer

Die Versuchsdurchführung mit Intraplast, das ebenfalls geringe Anteile blähender Stoffe auf der Grundlage von Aluminiumpulver enthält, war wesentlich einfacher, da kaum ein Verlust von Wasser zu beobachten war. Wahrscheinlich ist diese Tatsache auf den recht niedrigen Wasserzementwert zurückzuführen, der bei Zugabe von Quarzmehl oder anderen Zusätzen auf etwa 0,44 erhöht werden müsste. Bei den mit Intraplast aufbreiteten Versuchsreihen 4.700 bzw. 5.700 ergaben sich 6,04 bzw. 6,12 % wasserfreie Poren, so dass die f_B — Werte 15,35 % bzw. 16,25 % erreichten. Von wesentlicher Bedeutung ist die Tatsache, dass in beiden Fällen, d.h. sowohl bei Verwendung von Intrusion Aid wie Intraplast Absetzerscheinungen des Einpressmörtels in den Hartgummiringen nicht beobachtet wurden.

Die weiteren Ergebnisse des 3. Versuchsprogramms sind im einzelnen der Zusammenstellung der Tafel III zu entnehmen. Besonders günstig haben im Rahmen des 3. Versuchsprogramms die Versuchsreihen mit PZ 325 abgeschnitten. Bei recht niedrigen Absetzwerten ($V_a = 0,51$

bis 1 %) stieg der Anteil an wasserfreien Poren (V_L) von 3,3 bis 10,99 %, damit ergaben sich für die Mörtelgemische .211, .231 — .232a (0,5 % LP-Stoff A) f_B — Werte von 7,83 bis 29,30 %. Demgegenüber wurde für die entsprechenden Mörtelgemische mit HOZ 325 festgestellt

$$\begin{aligned} V_a &= 1,11 \text{ bis } 2,23 \% \\ V_L &= 3,72 \text{ bis } 5,84 \% \\ \text{und } f_B &= 8,72 \text{ bis } 15,81 \% \text{ (0,5 \% LP-A)} \end{aligned}$$

Bei 1 % LP-Stoff A stieg der Anteil an wasserfreien Poren bis 8,84 % und der entsprechende f_B — Wert auf 25,43 %. Hieraus kann eine gewisse Überlegenheit des PZ 325 abgeleitet werden. Man wird jedoch wahrscheinlich bei Anpassung der Dosierung des LP-Stoffes A an die Eigenart des HOZ zu einem höherem Nutzeffekt kommen können. Auch hierfür sind noch weitere Versuche erforderlich.

Die 3 untersuchten Zemente PZ 325, PZ 425 sowie HOZ 325 haben bei den 2 Tage alten Proben ohne Zuschläge und Zusatzmittel den erforderlichen Anteil an wasserfreien Poren und damit $f_B > 9$ % nicht erreicht. Sie sind in dieser Beziehung recht gleichwertig:

Alter der Probe	V_L %		f_B %	
	2 Tage	7 Tage	2 Tage	7 Tage
PZ 425 (Reihen 4.111 u. 5.111)	3,58	5,15	8,10	12,06
PZ 325 (Reihen 4.211 u. 5.211)	3,30	3,82	7,83	9,02
HOZ 325 (Reihen 4.511 u. 5.511)	3,72	4,19	8,72	10,82

Auch die Absetzwerte der 3 Zementmörtel ohne Zuschläge und Zusatzmittel sind nicht allzu verschieden. Sie sind beim PZ 325 am kleinsten (0,69 bzw. 1,00 %), sie betragen beim HOZ 325 1,11 und 1,36 % und beim PZ 425 1,64 %.

6. Ergebnisse der in Dilatometer durchgeführten Frostprüfungen.

Die im Dilatometer durchgeführten Frostprüfungen haben die bisherigen Ergebnisse und das Kriterium über die Frostbeständigkeit von Einpressmörtel in vollem Umfange bestätigt. Nach der vorstehenden Zusammenstellung hatten die 2 Tage alten Proben der Reihen 4.111, 4.211 und 4.511, d. h. der Zementmörtel ohne Zuschläge und Zusätze f_B — Werte < 9 ergeben. Tatsächlich haben diese Körper die Frostprüfung nicht bestanden. Abb. 4 zeigt die 3 Probekörper nach Durchführung der Frostprüfungen.

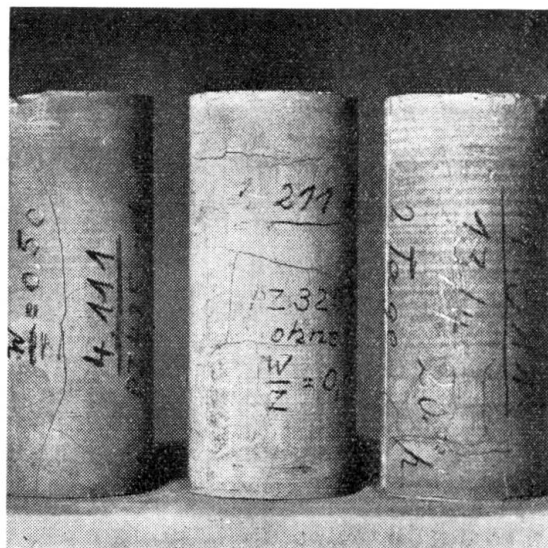


BILD 4: 3 Proben (4.111; 4.211; 4.511), welche die Frostprüfung im Dilatometer nicht bestanden haben

Die deutlich sichtbaren Risse sind infolge der Ausdehnung bei der Eiskristallisation entstanden. Der Riss im HOZ — Körper ist kaum wahrnehmbar, ein Zeichen dafür, dass dieser Körper sehr nahe an der Grenze der Frostbeständigkeit lag ($f_B = 8,72\%$). Diese Tatsache ist auch aus Abb. 5 zu entnehmen, die den Frostverlauf sowie die Zusammenziehung und Dehnung der Körper bei der Durchführung der Frostversuche darstellt. Wie bereits ausgeführt wurde, ist die Frostbeständigkeit davon abhängig, ob eine Ausdehnung über das ursprüngliche Volumen hinaus stattfindet. Da das benutzte Gerät vor Durchführung der Prüfung geeicht wurde, stellen die aufgezeichneten Dehnungen Absolutwerte dar. Abb. 5 zeigt, dass von den 3 untersuchten Zementen der HOZ 325 die kleinsten Ausdehnungen hat. Bis -20° und 340 Min. wurde hier eine Zunahme des Volumens von $0,05\text{ cm}^3$ festgestellt. Auch die entsprechenden Ergebnisse für die übrigen Zemente stimmen mit den f_B — Werten überein.

	PZ 325	PZ 425
f_B	7,83 %	8,10 %
V_B	$0,74\text{ cm}^3$	$1,37\text{ cm}^3$

In Abb. 6 und 7 sind demgegenüber die Ergebnisse der Dilatometer-Frostprüfungen für die Prüfkörper aufgezeichnet, die die Frostprüfung

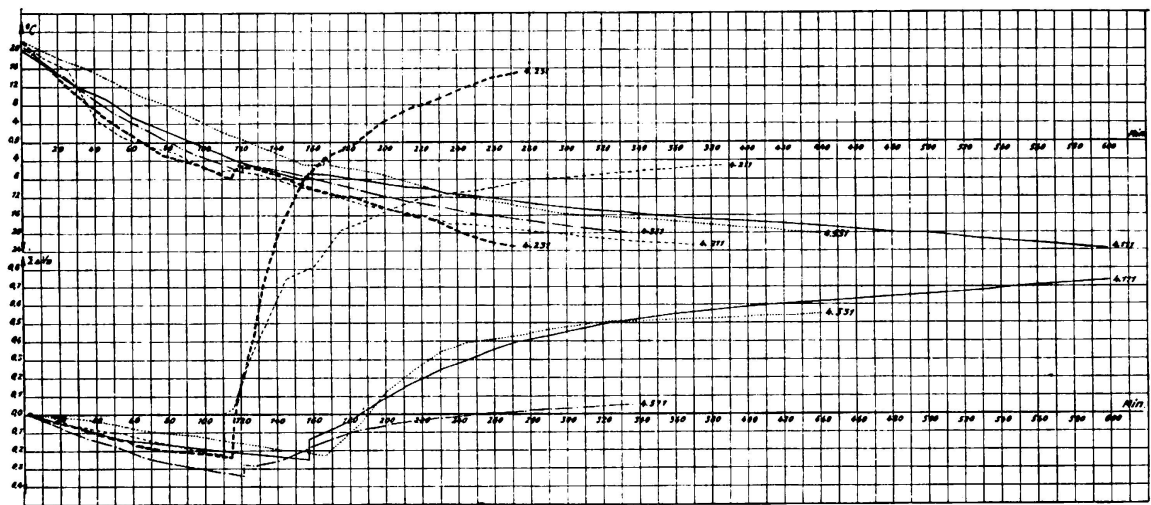
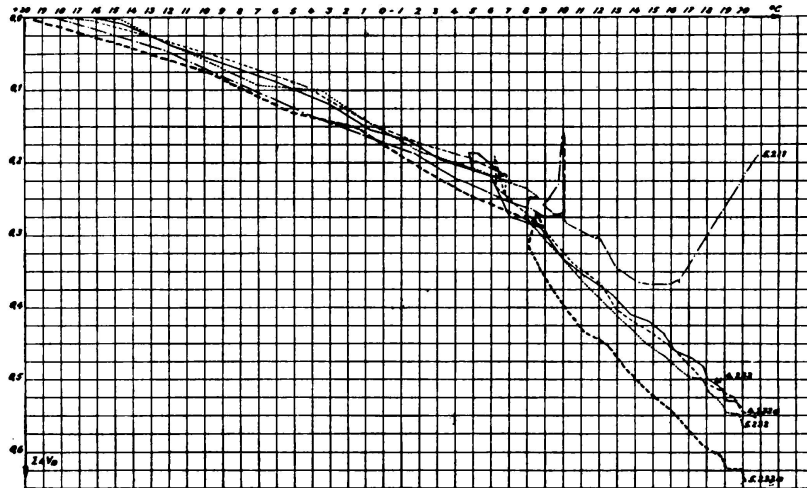


BILD. 5. Darstellung der Volumensänderung der Probekörper ohne Frostbeständigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur

bestanden haben. Dargestellt wurden die Raumänderungen der Körper in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Temperaturverlauf war bei allen dargestellten Versuchen gleichartig. Mit wenigen Ausnahmen liegen die Ergebnisse, und zwar bis zum Gefrierpunkt, recht eng zusammen. Vor allem trifft dies für die Versuchsreihen mit PZ 325 zu ($V_L = 8,30$ bis $10,99$; $f_B = 20,76$ bis $29,30\%$), bei denen der Beginn des Gefrierens durchweg beobachtet werden konnte. In den Fällen, wo der Temperaturverlauf einen ausgesprochenen Gefrierpunkt nicht erkennen liess, kann angenommen werden, dass der Gefrierpunkt noch nicht erreicht ist

(5.511, 5.532, 5.532a und 5.532b). Das schliesst jedoch nicht aus, dass der Einpressmörtel noch bei tieferen Temperaturen als -20° zu gefrieren beginnt und dann bei der Eiskristallisation infolge Ausdehnung bleibende Frostschäden erleidet.

BILD 6. Darstellung der Volumensänderung der Probekörper mit PZ 325, die frostbeständig sind, in Abhängigkeit von der Temperatur



Ähnliche Erscheinungen sind im übrigen bei den Reihen 5.211 (Abb. 6) und 4.532 (Abb. 7) zu beobachten, die unterhalb des Gefrierpunktes (-10 bzw. -6° C) zunächst durchweg noch Schrumpferscheinungen

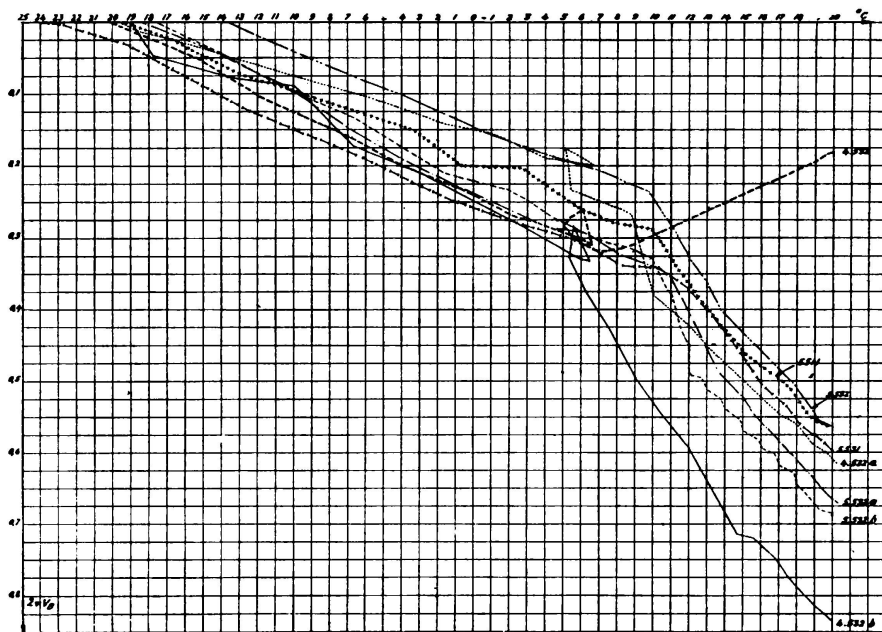


BILD 7. Darstellung der Volumensänderung der Probekörper mit HOZ 325, die frostbeständig sind, in Abhängigkeit von der Temperatur

zeigen, dann aber allmählich an Volumen zunehmen. Bis zu welcher Temperatur diese Einpressmörtel noch als frostbeständig anzusehen sind, kann hinreichend genau aus dem Verlauf der Ausdehnungen abgelesen

werden (-25 bzw. -30°C). Die grössten Schrumpfungen sind bei dem Einpressmörtel 5.232a (PZ 325) mit rd. $0,6\text{ cm}^3$ bzw. bei 4.532b (HOZ 325) mit etwa $0,8375\text{ cm}^3$ festgestellt worden.

Hinsichtlich des Alters ist bei den Probekörpern, die die Frostprüfung bestanden haben, ein wesentlicher oder grundsätzlicher Unterschied in dem Verhalten bei Frost nicht festzustellen. Bis zum Gefrierpunkt war aus dem Alter eine bestimmte Tendenz nicht abzuleiten. Dagegen ergaben die 7 Tage alten Probekörper unterhalb des Gefrierpunktes im allgemeinen grössere Schrumpfwerte als die 2 Tage alten Proben. Ausserdem lag der Gefrierpunkt der älteren Probekörper um $2-3^{\circ}\text{C}$ tiefer, sofern ein Gefrierpunkt überhaupt zu erkennen war.

Der Verlauf der Dilatometer-Frostprüfungen der mit Intrusion Aid und Intraplast angesetzten Mörtelgemische wurde in Abb. 8 dargestellt. Der Beginn des Gefrierens konnte in beiden Fällen nur bei den 2 Tage

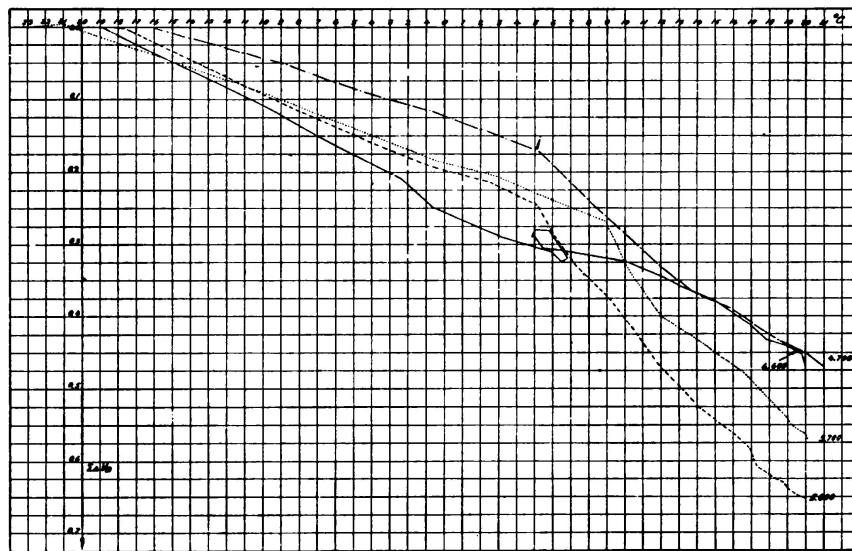


BILD 8. Darstellung der Volumensänderung der Probekörper mit Zusätzen von Intrusion Aid und Intraplast in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur

alten Proben beobachtet werden (5 bis 6°C). Obwohl der Verlauf des Schrumpfens dieser Gemische bei Frosteinwirkung keineswegs gleichartig war, konnte nach Ablauf der Frostperiode ein fast völlig gleiches Schrumpfmass festgestellt werden. ($0,47\text{ cm}^3$) Bei den 7 Tage alten Proben zeigt das Mörtelgemisch mit Intrusion Aid mit rd. $0,65\text{ cm}^3$ eine um $0,0575\text{ cm}^3$ grössere Schrumpfung als die Probe mit Intraplast. Beide Mörtelgemische haben die Frostprüfung bis -20°C bestanden. Da die Tendenz bei allen Probekörpern etwa gleichartig gut war, kann ein wesentlicher Unterschied in der Wirkungsweise der Zusatzmittel hinsichtlich der Frostbeständigkeit nicht festgestellt werden.

Um den Einfluss verschiedenartiger Temperaturänderungen festzustellen, wurde bei einigen Probekörpern nach Erreichen des Gefrierpunktes die Temperatur konstant gehalten. Während bei der Probe 5.211 (PZ 325) ohne Zuschläge und Zusatzmittel bei der Konstanthaltung der Tem-

peratur (-12°C) ein geringes Schrumpfen auftrat, hatte diese Massnahme bei dem Probekörper 5.532b (HOZ 325 + Quarzmehl 4:1 + 1 % LP-A) mit einem wesentlich höheren Anteil an Luftporen keinerlei Einfluss auf das Volumen. Aus dem Verlauf der Temperaturen, Schrumpfungen bzw. Ausdehnungen ist bei der Probe 5.211 aus der Ausdehnung nach Wiederaufnahme des Kühlfortgangs wiederum zu erkennen, dass die Frostbeständigkeit mit Sicherheit voraussichtlich nicht wesentlich über -25° bis -30° gewährleistet ist. Dagegen setzt die Probe 5.532b nach Abschluss der konstanten Temperatur und weiterer Abkühlung die Schrumpfung fort. Beide Ergebnisse waren zu erwarten.

Schliesslich wurde auch die Auswirkung eines plötzlichen Temperaturabfalls auf Zementmörtelgemische (4.111 und 4.532b) untersucht (Abb. 9). Zum Vergleich wurde diese Prüfung mit Mörtelgemischen.

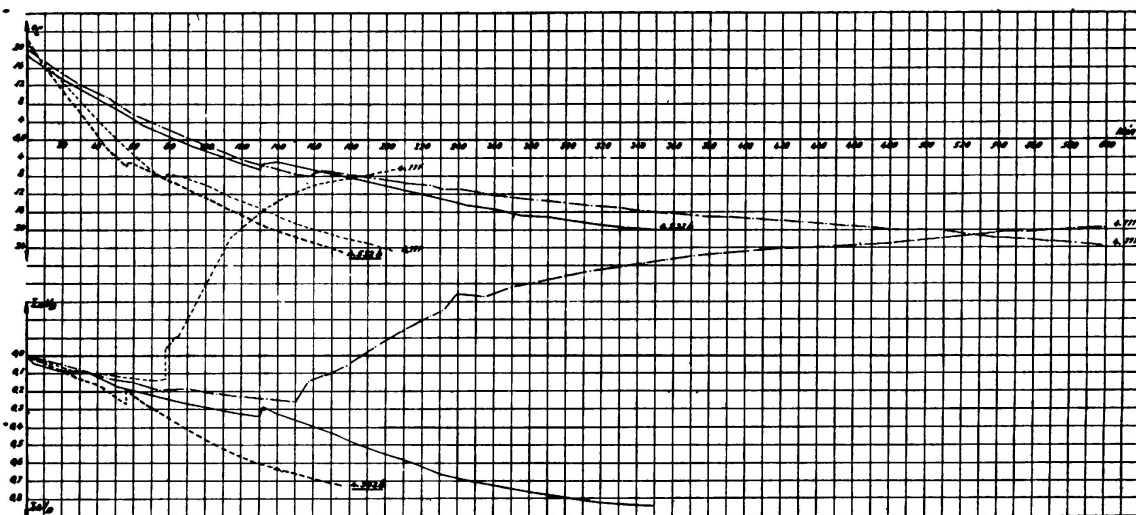


BILD 9. Darstellung der Volumensänderung von Probekörpern in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur, wobei der Probekörper einem plötzlichen Temperaturabfall ausgesetzt wurde

durchgeführt, bei denen erwartet werden konnte, dass sie die Frostprüfung bestanden bzw. nicht bestanden. An der Art des Verhaltens der untersuchten Mörtelgemische bestand keinerlei Zweifel; von Bedeutung und Interesse war in erster Linie die Frage, in welchem Umfange Abweichungen in den Volumensänderungen bei dem beschleunigten Kühlvorgang auftreten würden. Der beschleunigte Kühlvorgang wurde in der Weise durchgeführt, dass die Prüfkörper mit einer Eigentemperatur von etwa $+20^{\circ}\text{C}$ in den bis auf -20°C abgekühlten Innenraum der Kühltruhe gestellt wurden. Der Beginn des Gefrierens wurde in beiden Fällen etwa zu denselben Temperaturen festgestellt, wie bei dem normalen Kühlvorgang (-6 bzw. -8°C). Überraschend ist wiederum die Tatsache, dass die Probe mit dem höheren Luftporengehalt (4.532b mit $V_L = 8,48\%$) bereits bei -6°C zu gefrieren begann, während dies bei der Probe 4.111 erst bei -8°C der Fall war. Die Änderungen des Volumens waren bis -24°C ebenfalls nicht allzu verschieden. Die Ausdehnung des Probekörpers 4.111 nahm bei normalem Kühlfortschritt von 0,73 bis

1,03 cm³ bei beschleunigtem Kühlfortschritt zu, während umgekehrt die Schrumpfung der Probe 4.532b entsprechend von 0,84 auf 0,73 cm³ abnahm.

7.a) Überblick über die von T. C. Powers und R. A. Helmuth durchgeführten Versuche.

Bei den durchgeführten Frostversuchen konnten im übrigen gleichartige oder ähnliche Feststellungen getroffen werden, wie sie T. C. Powers und R. A. Helmuth, Chicago, auf Grund umfangreicher und sehr exakt durchgeführter Versuche dargelegt und begründet haben [2]. T. C. Powers und R. A. Helmuth führen die Volumensänderungen in erhärteten Portlandzementmörteln beim Gefrieren auf die Erzeugung von Wasserdruck zurück, wenn das Wasser in den Kapillar — Hohlräumen gefriert, dann aber auch auf das Anwachsen der Eiskörper in den kapillaren Hohlräumen oder Luftporen infolge des thermodynamischen Energieausgleichs zwischen dem Gelwasser und dem Eis in den Kapillarporen, der ein Abziehen des Wassers vom Gel zur Folge hat. Die Versuche wurden von Powers/Helmuth zum grössten Teil mit 3 Wochen bis 3 Monate alten röhrenförmigen Körpern von 5,08 cm Länge, 2,54 cm Aussen- und 1,27 cm Innendurchmesser durchgeführt. Die Wasserzementwerte schwankten zwischen 0,45 bis 0,70. Die Abkühlung erfolgte zwischen + 25 und — 25° C. Die Kühlgeschwindigkeit war im allgemeinen recht gross (— 15°/Std.). Längen- und Temperaturänderungen sowie die Zeitdauer wurden selbsttätig aufgezeichnet.

Luftporen infolge der Verwendung von Luftporenzusatzmitteln werden von den Verfassern nicht als Teil des Zementmörtels angesehen. Sie betrachten den Zementmörtel als Substanz, die die Luftporen umgibt, die porös sein kann, wobei ihre Poren entweder Luft oder Wasser enthalten können.

Die in der Abhandlung der Verfasser [3] erläuterten Versuche beziehen sich ausschliesslich auf völlig wassergesättigte Zementmörtel, die ausserdem so gelagert wurden, dass der grösstmögliche Sättigungsgrad während der Nachbehandlung aufrecht erhalten blieb.

7.b) Zusammenfassung der grundsätzlichen Feststellungen.

Der erste Teil der von Powers/Helmuth gefundenen Ergebnisse kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. In allen wassergesättigten Zementmörteln ohne Luftporen beginnt die Ausdehnung in dem Augenblick, wenn das Gefrieren einsetzt.
2. Falls Luftporen in genügend dichter Lagerung vorhanden sind, fällt der Beginn der Anfangsausdehnung, sofern überhaupt eine Ausdehnung auftritt, mit dem Gefrierpunkt zusammen, worauf dann die Zusammenziehung folgt.
3. Wird die Abkühlung etwa in der Mitte des Gefriervorgangs abgebrochen und anschliessend die Temperatur constant gehalten,

dehnen sich die Proben ohne Luftporen weiter aus, während umgekehrt die Proben mit Luftporen sich für begrenzte Zeitspannen zusammenziehen.

4. Wenn die Abkühlung nach einer konstanten Temperaturperiode wieder aufgenommen wird, dehnen sich die Zementmörtel ohne Luftporen wieder plötzlich aus. Die Zementmörtel mit Luftporen ziehen sich dagegen allmählich zusammen.
5. Bei gekühlten wassergesättigten Zementmörtelgemischen von bekannter Porosität ist die Ausdehnung um so geringer, je dichter die Luftporen im Zementmörtel vertreten sind.

T. C. Powers und R. A. Helmuth weisen auf Versuchsergebnisse aus dem Jahre 1947 hin, wonach Zementgel, selbst wenn es den ihm zur Verfügung stehenden Raum vollständig ausfüllen würde, noch etwa 25 % Poren enthält. Ausserdem wird hervorgehoben, dass das Volumen des Gels bei der Mehrzahl der Mörtelgemische nicht dem Mörtelvolumen entspricht. Die nicht gefüllten Porenräume im Zementmörtel werden wie üblich als Kapillar-Poren oder -Hohlräume gedeutet. Sie sind um so zahlreicher und grösser, je höher die entsprechenden Wasserzementwerte und je kürzer die Trockenzeiten sind. Nur in kapillaren Hohlräumen kann Eis bestehen. Die Gelporen sind dagegen so klein, dass das Gefrieren erst bei einer Temperatur = -78°C eintreten kann.

Die von T. C. Powers und R. A. Helmuth durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass nur ein kleiner Wasseranteil in der Nähe des normalen Gefrierpunktes des Wassers erstarrt, da die meisten der Kapillaren — Hohlräume so klein sind, dass die in ihnen befindlichen Eiskristalle infolge der Oberflächenspannung nur dann bestehen können, wenn die Temperatur unter dem normalen Gefrierpunkt liegt. Die Herabsetzung des Gefrierpunktes entsprechend der Grösse der kapillaren Hohlräume darf nicht mit der möglichen Unterkühlung infolge der im Wasser aufgelösten Substanzen, hauptsächlich Alkalien, verwechselt werden.

Den in einem kapillaren Hohlraum bei der Eiskristallisation anwachsenden Eiskörper stellen sich Powers/Helmuth als eine Art Pumpe vor, die das den Eiskörper umhüllende Wasser durch den Zementmörtel zu den wasserfreien (Luft) Poren treibt, wobei der hierbei auftretende Druck von der Durchlässigkeit und dem Gefrierpunkt des Zementmörtels, ferner aber auch von der Entfernung der Luftporen abhängt. Da der Druck annähernd mit dem Quadrat der Entfernung wächst, könnte der Anfangsdruck bei grösseren Luftporenabständen so hoch werden, dass das umgebende Gel über die Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht wird und damit einen bleibenden Schaden erleidet.

Wie bereits ausgeführt wurde, halten T. C. Powers und R. A. Helmuth mit der Erzeugung des Wasserdrucks jedoch nicht alle Erscheinungen für geklärt, die bei den durchgeführten Frostprüfungen aufgetreten sind. Sie führen diese auf thermodynamische Folgerungen zurück, wie sie bei der Temperaturverminderung von Wasser und Eis auftreten. Da bei Temperaturverminderungen Wasser schneller als Eis freie Energie gewinnt, besteht für das Gelwasser ein Energiepotential, es fliesst entlang den Oberflächen der Gelpartikel in den Film des mit Eis ausgefüllten

Kapillarrhohlraums (Oberflächendiffusion). Die Verfasser machen darauf aufmerksam, dass in gleicher Weise auch eine Diffusion des Gelwassers in das Eis der Luftporen stattfindet, durch die jedoch mit Rücksicht auf die dort vorhandenen geringen Eismengen kein wesentlicher Eisdruck auftreten wird.

Bei konstant gehaltener Temperatur nach Beginn des Gefrierens haben T. C. Powers und R. A. Helmut festgelegt, dass eine gewisse Wechselwirkung der freien Energie des Gelwassers, des Kapillareises und des Eises in den Luftporen auftritt, wie sie in Abb. 10 dargestellt wurde.

Während der Zeit $t_0 - t_1$ wächst infolge Oberflächendiffusion vom Gelwasser das Kapillareis an und erzeugt Wasserdruck auf die Wände

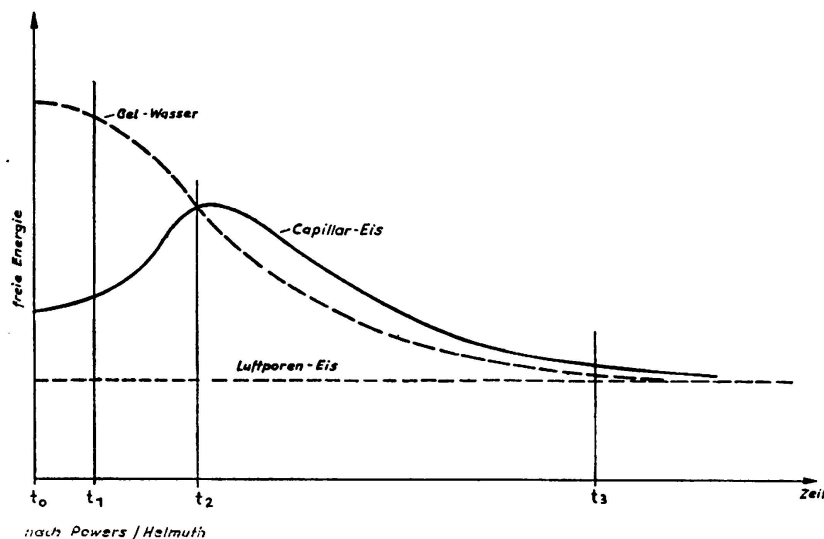


BILD 10. Zusammenhang der freien Energie des Gelwassers, Kapillar- und Luftporeneises in Abhängigkeit von der Zeit bei konstanter Temperatur

des Hohlraumes. Infolgedessen nimmt die freie Energie des Kapillareises während dieses Zeitabschnittes zu. Das Luftporeneis nimmt während dieser Zeit zwar ebenfalls Gelwasser auf, die freie Energie bleibt jedoch bei konstanter Temperatur und bei dem geringen Druck konstant. In dem Zeitabschnitt $t_1 - t_2$ nimmt die freie Energie des Gelwassers infolge fortschreitender Austrocknung des Gels weiter laufend ab, während die freie Energie des kapillaren Eises solange steigt, bis sie die freie Energie des restlichen Gelwassers erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt hört die Diffusion zum kapillaren Eis auf, dagegen kann die Diffusion zum Luftporeneis noch weiter gehen. Während des Zeitabschnitts $t_2 - t_3$ nähert sich das System wieder dadurch dem Gleichgewicht, dass die freie Energie des Kapillareises laufend Wasser an das Gel und die Luftporen abgibt.

Für den Zeitabschnitt $t_0 - t_2$ kommen T. C. Powers und R. A. Helmut zu der Feststellung, dass das Kapillareis fast 1,09 mal das Volumen des Wassers übersteigt, das es aufnimmt. Die Teile des Gels, aus welchem dieses Wasser kommt, neigen zum Schrumpfen, das jedoch in wesentlich kleinerem Umfange auftritt, als es dem Volumen des abgegebenen Wassers entspricht. Wenn der Zementmörtel keine Luftporen enthält, wird der Anteil des Gelwassers, der von den Kapillarrhohlräumen aufzunehmen ist, ein Maximum betragen. In diesem Fall wird das Kapillareis

so lange wachsen, bis Gleichgewicht mit der freien Energie des Gels besteht, oder aber das Gel wird vorher infolge Überschreitung seiner Festigkeiten reißen.

8. Vergleich mit den Frostversuchen des 3. Versuchsprogramms.

Der Vergleich der Ergebnisse des 3. Versuchsprogramms mit den Feststellungen von T. C. Powers und R. A. Helmuth, insbesondere hinsichtlich der Frostbeständigkeit zeigt im wesentlichen grundsätzliche Übereinstimmung der Beobachtungen und Feststellungen.

Eine Einschränkung wäre lediglich hinsichtlich des erforderlichen wasserfreien (Luft) Porenraumes zu machen, da eine Vergleichsmöglichkeit nicht besteht. Powers/Helmuth geben in Abb. 4 ihres Berichtes Mindestabstände der erforderlichen Luftporen zur Sicherstellung der Frostbeständigkeit an ($i = 0,254 \text{ mm}$).

Demgegenüber ist bei den 3 Versuchsprogrammen der Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster recht eindeutig und übereinstimmend festgestellt worden, dass Frostbeständigkeit von Einpressmörtel — jedenfalls bis -20 bzw. -24°C — dann zu erwarten ist, wenn wasserfreie (Luft) Poren in einem Umfange von mindestens 9 % des chemisch nicht gebundenen Wassers vorhanden sind. Ob darüber hinaus noch weitere Sicherheiten verlangt werden müssen, wird jeweils von den klimatischen Bedingungen der Baustellen abhängen. Im allgemeinen werden Temperaturen unter -24°C nicht zu berücksichtigen sein, da derartige Kälteeinbrüche vorauszusehen sind, so dass die Einpressarbeiten zurückgestellt werden können. Ältere Einpressmörtel werden nicht mehr in dem Masse wassergesättigt sein, so dass die Frostempfindlichkeit geringer ist.

9. Vorschläge für die Zulassungsprüfungen von Einpressmörtel.

Die Zulassung von Einpressmörtel für die Verpressung von Spannkämen sollte von einer Prüfung abhängig gemacht werden, um festzustellen, ob die zur Ausführung vorgesehenen Einpressmörtel den Vorschriften in Ziff. 6.2 DIN 4227 entsprechen. Hierbei müsste das Fließvermögen, das Absetzen und die Frostbeständigkeit untersucht werden.

Es wird zuvor jedoch die grundsätzliche Frage zu prüfen und zu entscheiden sein, ob Einpressmörtel mit Absetzerscheinungen überhaupt zugelassen werden können. Andernfalls führt nur die Verwendung von blähenden Zuschlägen zum Ziel. Die Frostbeständigkeit kann entweder mit Hilfe der festzustellenden f_g — Werte oder durch Frostprüfungen im im Dilatometer nachgewiesen werden. Beide Verfahren dürften einfacher sein, als die Luftporenabstände zu bestimmen.

Nachsatz

Inzwischen wurden im Juli 1955 von der Arbeitsgruppe Einpressmörtel im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton «Vorläufige Richtlinien für das Auspressen von Spanngliedern mit Zementmörtel» herausgegeben, an denen der Verfasser als Mitglied der Arbeitsgruppe mitgewirkt hat.

Bei der überaus schnellen Entwicklung der Verfahren wäre es ausserordentlich erwünscht, wenn die mit der Zusammensetzung, Aufbereitung und Verarbeitung von Einpressmörtel nach den Richtlinien gewonnenen Erfahrungen diskutiert und möglichst weitgehend ausgetauscht werden könnten.

SCHRIFTTUM

1. RÖHNISCH — *Beton- und Stahlbetonbau* 1955 — Heft 2, Seite 64 und Heft 3 Seite 89.
2. T. C. POWERS u. R. A. HELMUTH — *Proceedings of the Highway Research Board*, Vol. 32, p. 285 (1953).
3. VALORE — *Zement, Kalk, Gips* 1950 — Heft, 6 Seite 129.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem Überblick über die ersten beiden, durch die Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Münster durchgeführten Versuchsprogramme, erläutert der Verfasser die Notwendigkeit eines 3. weiteren Versuchsprogramms, das inzwischen zum Abschluss gelangt ist. Die Ergebnisse dieses Programms werden ausführlich erläutert. Die auf Grund des 1. Versuchsprogramms aufgestellte Hypothese über die Frostbeständigkeit von Einpressmörtel konnte durch die Ergebnisse des 3. Versuchsprogramms in ihrer Richtigkeit bestätigt werden.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse des 3. Versuchsprogramms mit den von T. C. Powers und R. A. Helmuth festgelegten Grundsätzen verglichen. Hierbei konnte in den Beobachtungen und Grundsätzen recht gute Übereinstimmung festgestellt werden.

Zum Abschluss werden Vorschläge über die Prüfung und Zulassung von Einpressmörtel besprochen. Da z. Zt. weder geeignete Vorschriften noch Richtlinien vorliegen, sollte möglichst bald eine endgültige Klärung über die Zulassung der Einpressmörtel für Spannbetonglieder herbeigeführt werden.

RESUMO

Depois de expor os dois primeiros programas de ensaios levados a efeito pelo Instituto de Ensaios de Materiais de Construção da Direcção dos Transportes Terrestres e Marítimos de Munster, o autor justifica a necessidade de uma terceira série, entretanto executada, e cujos resultados descreve em pormenor. As hipóteses referentes à resistência ao gelo das argamassas comprimidas, formuladas quando dos primeiros ensaios foram confirmadas pelos referidos resultados.

Estes foram depois comparados com os princípios estabelecidos por T. C. Powers e R. A. Helmuth com os quais concordaram de maneira bastante satisfatória. O autor conclui apresentando algumas sugestões acerca dos ensaios e da segurança das argamassas comprimidas. A obtenção rápida de dados precisos sobre o comportamento e a segurança da

argamassa comprimida nas estruturas de betão preesforçado, tornou-se necessária pelo facto de não existirem na altura, nem Normas, nem Regulamentos a este respeito.

R É S U M É

Après avoir exposé les deux premiers programmes d'essais effectués par l'Institut d'Essais de Matériaux de Construction de la Direction des Transports Terrestres et Maritimes de Munster, l'auteur justifie la nécessité d'une troisième série, effectuée entretemps, et dont il décrit en détail les résultats. Les hypothèses concernant la résistance au gel des mortiers comprimés, formulées lors des premiers essais ont été confirmées par ces résultats.

Ceux-ci ont, par après, été comparés avec les principes énoncés par T. C. Powers et R. A. Helmuth, la concordance obtenue étant assez satisfaisante. L'auteur termine en présentant quelques suggestions concernant les essais et la sécurité des mortiers comprimés. L'obtention rapide d'éléments précis sur le comportement et la sécurité du mortier comprimé dans les ouvrages en béton précontraint a été rendue nécessaire par l'absence, à ce moment là, de Normes et de Règlements à ce sujet.

S U M M A R Y

After describing both initial series of experimental research carried out by the Institute for Testing of Building Materials of the Land and Sea Transport Authority in Munster, the author justifies the need of a third series of tests which have now been completed and the results of which are fully reported. The hypothesis of the first series of tests, regarding the frost sensitivity of compressed mortar, were confirmed by the results of this third series.

These results were then compared to the principles established by T. C. Powers and R. A. Helmuth and were found to agree fairly well with them. The author finally presents a number of suggestions regarding testing and safety of compressed mortar. The obtaining of practical data on the behaviour and safety of compressed mortar in prestressed concrete structures was rendered necessary owing to the fact that, at the time, neither Standards nor Code of Practice were available on the subject.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Vb4

**Etude expérimentale de la migration de la chaux
dans le béton armé**

**Experimental investigation on the migration of lime
in reinforced concrete**

Versuche über das Abwandern des Kalkes im Eisenbeton

Estudo experimental da migração da cal no betão armado

J. R. ROBINSON

R. PELTIER

*Ingénieurs en Chef des Ponts et Chaussées
Service Central d'Etudes Techniques*

Paris

1 — C'est un fait d'expérience que les ouvrages en béton armé vieillissent; et la rapidité du vieillissement peut varier considérablement d'un ouvrage à un autre. Ce vieillissement se manifeste par la rouille progressive des armatures, et par l'éclatement du béton au droit des armatures rouillées.

Dans une communication au Congrès de CAMBRIDGE (Rapport final p. 383), l'un de nous a proposé une théorie de la corrosion, ou vieillissement, du béton armé. Celui-ci serait dû à une migration de la chaux libre du béton.

On sait, en effet, que c'est la chaux libre du béton, dégagée par certains ciments pendant leur prise, qui protège, par son ambiance basique, les armatures contre la rouille. Des expériences récentes ont été faites à ce sujet au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à Paris, en noyant des armatures d'acier dans des éprouvettes de béton ⁽¹⁾ confectionnées avec différents types de ciment, en faisant varier la nature et le dosage du ciment, ainsi que le mode de conservation des éprouvettes. C'est ainsi que certaines éprouvettes étaient conservées dans l'air ambiant, d'autres étaient immergées dans l'eau douce, d'autres enfin étaient con-

⁽¹⁾ Ces éprouvettes prismatiques à section carrée de 10 cm de côté étaient armées d'un acier axial de 20 mm de diamètre.

servées dans la salle de brouillard du laboratoire, c'est-à-dire dans une salle à hygrométrie maximum (95 % au moins) et à température réglée à: 20 ± 1 degré centigrade.

Après destruction du béton des éprouvettes âgées d'un an, on a examiné leurs armatures. Les attaques de rouille, lorsqu'elles s'étaient produites, étaient nettement visibles, car on avait pris soin, en confectionnant les éprouvettes, d'utiliser des armatures bien propres et fraîchement décapées au jet de sable de toutes taches de rouille. On a observé alors que toutes les éprouvettes conservées dans l'air ambiant d'une salle du laboratoire (donc à l'abri de la pluie et dans une atmosphère assez sèche), étaient absolument indemnes de rouille. Il en était de même des éprouvettes conservées dans l'eau.

Seules, les éprouvettes conservées dans l'air humide ont présenté des traces d'attaque de rouille, et ces traces variaient considérablement suivant la nature du ciment. Les éprouvettes en ciment sursulfaté étaient de beaucoup les plus attaquées, la rouille couvrant complètement les armatures. De même, les éprouvettes en ciment de laitier à forte teneur en laitier ont présenté de larges taches de rouille. Celles-ci étaient faibles avec le ciment métallurgique mixte (contenant 50 % de laitier); et étaient nulles ou presque avec les ciments de fer (30 % de laitier), le ciment Portland C. P. B. (10 % de laitier) et le ciment Portland C. P. A., qui ne contient pas du tout de laitier.

Ces trois derniers types de ciment sont les seuls de tous ceux essayés à dégager de la chaux libre lors de la prise; ce qui confirme bien l'action anti-rouille de cette chaux libre.

2 — Toutefois, dans un ouvrage réel, exposé aux intempéries, la chaux libre du ciment est susceptible d'émigrer vers la paroi et l'extérieur des pièces en béton armé. En effet, l'eau de pluie, particulièrement pure, qui tombe sur l'ouvrage, pénètre par capillarité dans le béton, et y dissout plus ou moins entièrement la chaux libre. Lorsqu'une période de sécheresse succède à la pluie, l'eau est attirée vers l'extérieur par l'évaporation. Elle circule alors en sens inverse en entraînant, dans son mouvement, la chaux libre qu'elle a dissoute, et dépose celle-ci vers la périphérie des pièces, où elle ne tarde pas à se carbonater. On conçoit qu'après plusieurs alternances d'humidité et de sécheresse, l'intérieur des poutres en béton armé puisse être trop pauvre en chaux libre pour protéger les aciers contre la rouille. D'où le vieillissement progressif des ouvrages en béton armé.

Il est à noter d'ailleurs que les armatures jouent un rôle d'écran, vis-à-vis du mouvement de migration de la chaux libre. Elles protègent ainsi derrière elles une portion plus ou moins grande de béton; par contre, devant elles, c'est-à-dire entre elles et la paroi de la poutre, le béton est beaucoup plus exposé à un appauvrissement en chaux, puisqu'il est fortement délavé, et n'est pas réalimenté en chaux libre venant de l'intérieur. C'est pour cette raison que l'on observe souvent, dans les ouvrages réels vieillis, que la face des armatures tournée vers l'extérieur est fortement rouillée, alors que la face interne est intacte.

Cette théorie de la migration de la chaux est d'une importance capitale pour l'étude du vieillissement des ouvrages en béton armé et pour la recherche des moyens de lutte contre ce vieillissement. Aussi, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a-t-il entrepris des essais de longue durée, pour la vérifier, et pour déterminer l'action des différents facteurs qui peuvent intervenir dans le phénomène. Ce n'est que lorsque l'on connaîtra bien l'influence de ces facteurs que l'on pourra étudier efficacement les moyens de réduire ou de supprimer complètement ce phénomène, ou tout au moins ses effets néfastes.

3 — Bien que les essais aient été pratiquement commencés en Octobre 1954, ils n'ont encore fourni que peu de résultats, car ayant nécessité une assez longue mise au point des méthodes d'essais. Ces résultats partiels sont toutefois très concluants, et il a paru intéressant de les indiquer ici. Ils seront d'ailleurs complétés dans les prochains mois, grâce aux nombreux essais mis en train, à la suite de la mise au point des premiers.

Ces premiers essais ont porté sur des éprouvettes cylindriques de 10 cm. de diamètre et de 12 cm. de hauteur, confectionnées avec le mortier suivant :

— Sable de Fontainebleau... ..	100 kg.
— Ciment Portland (C. P. A.)... ..	25 kg.
— Eau	12,5 litres.

(On a en effet jugé préférable, pour ces premiers essais, d'opérer sur un mortier fin régulier et poreux, plutôt que sur un béton. Il s'agissait d'ailleurs principalement de mettre au point la méthode d'essai, et notamment les dosages chimiques très délicats.)

Des éprouvettes identiques de ce type ont ainsi été confectionnées. Au bout d'un mois de conservation dans la salle de brouillard du laboratoire, l'une d'elles, que nous appellerons : E, a été immergée dans de l'eau sous une cloche à vide, puis mise à sécher pendant quelques jours dans une étuve à 75°. L'autre éprouvette, que nous appellerons : T, n'a subi aucun traitement, c'est l'éprouvette témoin.

Les deux éprouvettes ont alors été cassées perpendiculairement à leur axe. On a tout d'abord constaté qu'elles présentaient des aspects différents.

L'éprouvette E comportait trois zones concentriques :

- une couronne extérieure, gris foncé, d'environ 7 mm. de large ;
- un liseré circulaire intermédiaire, blanc, d'environ 3 mm. ;
- une région interne d'aspect uniforme gris clair.

L'éprouvette T comportait une couronne extérieure gris foncé de 15 à 20 mm. de large, et un noyau intérieur plus clair.

Plusieurs prélèvements ont été effectués dans chacune des régions présentant un aspect différent; et on a déterminé sur chacun d'eux:

- La teneur en carbonates (par calcimétrie) exprimée en CO^3Ca .
- La teneur en chaux totale (méthode de Longuet-Burglen).
- La teneur en chaux libre (méthode de Bogue).

Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-joint; ils sont exprimés en grammes pour 100 grammes de mortier.

Il semble que l'on puisse considérer ces valeurs comme exactes à: 0,5 gr. près en ce qui concerne la chaux totale, et à: 0,2 gr. près en ce qui concerne la chaux libre. Mais il ne s'agit là que de dispersion de la mesure; il s'y ajoute, en fait, dans les résultats du tableau ci-joint, la dispersion due à l'hétérogénéité du matériaux. Ce n'est qu'en opérant sur de nombreuses éprouvettes que l'on parviendra à éliminer cette dernière.

Ces résultats mettent nettement en évidence la migration de la chaux libre du centre de l'éprouvette vers l'extérieur. Cette migration est, bien entendu, beaucoup plus forte avec l'éprouvette E soumise à un cycle immersion-séchage, qu'avec l'éprouvette T qui n'a été soumise qu'à son séchage naturel.

On voit, d'autre part, que la carbonatation progresse en sens inverse de la migration de la chaux libre.

4 — Ces essais ayant démontré la réalité du phénomène, de nouveaux essais, beaucoup plus importants, ont été entrepris pour l'étudier dans le détail. Ils ont comporté la confection de nombreuses éprouvettes de béton et de mortier, en faisant varier la composition du béton ou du mortier, son dosage en ciment, et sa compacité.

Ces éprouvettes sont soumises à des cycles climatiques comportant des alternances de pluie et de sécheresse. La pluie est réalisée à l'aide d'eau dégazée et déminéralisée, qui tombe finement pulvérisée sur les éprouvettes. Après des durées de pluie variables, les éprouvettes sont séchées à l'étuve à diverses températures.

D'autres essais sont entrepris, à l'aide de calcium 45, c'est-à-dire d'un isotope du calcium naturel. On utilise ainsi la méthode des «atomes marqués», qui est particulièrement aisée dans ce cas, puisque ce calcium 45 est assez inoffensif, et que sa durée de vie, assez longue, est bien adaptée à la durée de l'essai. Dans cette méthode, un ciment est fabriqué avec de la chaux irradiée dans une pile atomique; et des éprouvettes de béton ou de mortier sont fabriquées avec ce ciment comme avec un ciment normal. En coupant l'éprouvette, et en appliquant sur cette face coupée un papier photographique, on obtient alors une image de la répartition des atomes de calcium. Cette méthode est particulièrement utile pour l'étude de l'effet d'écran des armatures; elle donne une image claire du phénomène, mais nécessite toujours un étalonnage préalable par la méthode chimique classique. Elle ne donne d'ailleurs que la chaux totale, et non pas la chaux libre.

Ces nouveaux essais ne sont toutefois pas encore assez avancés pour que des résultats intéressants puissent en être extraits. Mais nous

espérons bien pouvoir en exposer les résultats détaillés au prochain Congrès de l'A. I. P. C.

Chaux et carbonates	Eprouvette E			Eprouvette T	
	Zone intérieure	Liseré blanc	Couronne extérieure	Zone intérieure	Zone extérieure
CaO totale = t	10,90	10,80	12,03	10,25	10,25
Carbonates exprimés en CO ² Ca	2,32	7,42	9,82	2,32	5,33
CaO carbonatée = c (par calcul)	1,30	4,15	5,50	1,30	2,99
CaO libre = l (éthylène-glycol)	3,42	0,62	0,35	2,49	1,86
CaO libérée = c + l	4,72	4,77	5,85	3,79	4,85
CaO restée dans silicates et aluminates s = t — (c + l)	6,18	6,03	6,18	6,46	5,40

R É S U M É

Une théorie publiée au Rapport final du Congrès de CAMBRIDGE (p. 383), explique la corrosion du béton armé par la migration de la chaux du béton. La présente communication décrit les expériences entreprises pour vérifier cette théorie. Les premières de ces expériences mettent bien en évidence la réalité du phénomène de migration de la chaux.

Des essais plus étendus sont en cours dont on espère pouvoir rendre compte au Congrès de LISBONNE de l'A. I. P. C.

S U M M A R Y

Corrosion in reinforced concrete was explained in a theory published in the Final Report of the Cambridge Congress (page 383) by the migration of the lime contained in the concrete. The authors describe the experimental investigation carried out in order to verify this theory. The first series of tests confirms the existence of the lime-migration phenomenon.

Another series of more complete tests is in progress and the authors hope to report on them at the I. A. B. S. E. Congress in Lisbon.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine im Schlussbericht des Kongresses von Cambridge (S. 383) erschienene Theorie erklärt die Korrosion des Eisenbetons durch das Abwandern des Kalkes aus dem Beton. Der vorliegende Beitrag beschreibt die unternommenen Untersuchungen für die Rechtfertigung dieser Theorie. Die ersten Ergebnisse zeigen augenscheinlich das Vorhandensein einer solchen Kalkabwanderung.

Ausgedehntere Versuche sind noch im Gang, über die voraussichtlich am Kongress der IVBH in Lissabon berichtet werden kann.

RESUMO

Numa teoria incluída na Publicação Final do Congresso de Cambridge (pág. 383) explicava-se o fenómeno da corrosão no betão armado pela migração da cal contida no betão. Os autores descrevem ensaios efectuados no intuito de verificar essa teoria. A primeira série de experiências põe em evidência a realidade do fenómeno da migração da cal.

Estão em curso ensaios mais completos que os autores esperam poder descrever durante o Congresso de Lisboa da A. I. P. E.