

# RÉPARATION PROVISOIRE ET DÉFINITIVE DES DOMMAGES DUS À LA CORROSION DANS LES PLANCHERS À POUTRES D'ACIER ET BÉTON DE LAITIER

Par

L. BRUZSA

Chaire de Bâtiment, Université Technique de Budapest

Accepté le 10 mars 1976

En 1975 les organes municipaux et d'entretien d'immeubles ont géré 34 000 bâtiments à Budapest, cela veut dire 453 000 différents lieux loués, entre autres 412 000 logements. La valeur de l'existence de bâtiments administrés par l'État dépasse 100 milliard Fts, le maintien en état de fonctionnement technique de près d'une demie million d'habitations est de grande importance tant au point de vue social qu'économique.

Malgré les grands efforts faits pour construire des logements, en 1975 encore 27 pour-cent des logements de la capitale étaient privés de confort et 15 pour-cent n'étaient que demi-confortables. La proportion des appartements tout confort et confortables atteindra jusqu'à 1980 65% mais il faudra tout de même faire de grands efforts pour supprimer jusqu'au tournant du millénaire la désuétude des logements situés dans des immeubles d'habitation surannés.

Les difficultés viennent surtout du fait que plus d'un tiers de l'ensemble des logements date encore de l'époque avant le tournant du siècle et la moitié des immeubles d'habitation a dépassé la cinquantaine. Bien que la rénovation des bâtiments «vieillis» soit en cours au prix de grandes dépenses, on n'est pas parvenu à rénover depuis 35 à 40 ans une moitié de la totalité des logements à Budapest. La valeur de ces travaux de construction arriérés dépasse 10 milliards Fts. Selon la situation du 31 décembre 1975, 34,8% des lieux loués étaient situés dans de vieux bâtiments non rénovés et 6,1% étaient voués au pic des démolisseurs.

Les bâtiments qui devront être rénovés présentent des problèmes de construction et technologiques spéciaux, notamment ceux où la corrosion impose l'étayement du système porteur pour que les logements soient habitables jusqu'à la rénovation. Pour les bâtiments destinés à être démolis la grande proportion des systèmes porteurs corrodés constitue également une difficulté notable; néanmoins il conviendrait d'y introduire des systèmes de renforcement qui — en attendant — ne demandent pas d'échafaudage altérant la fonction du logement et dont les éléments pourront être récupérés lors de la démolition qui aura lieu après 10 ou 15 ans.

Dans les années 1970—1975 on a renforcé ou remplacé à Budapest en moyenne 72 000 m<sup>2</sup> de planchers usés par an, néanmoins le nombre des planchers et des coursives étayés à l'aide de supports provisoires s'est presque doublé en conséquence de l'accélération du processus de vieillissement. Jusqu'à la fin de l'an 1975 l'étendue des systèmes porteurs utilisés à l'aide d'un échafaudage de protection atteignit 180 000 m<sup>2</sup> et cet inconvénient affecte — même selon une estimation modeste — 3500 à 5000 logements.

Ces données attestent la grande importance du renforcement des systèmes porteurs corrodés — surtout des planchers — en employant une méthode de montage à grande productivité — ainsi que l'intérêt de recherches dans ce domaine des structures. Le type de plancher traité dans l'article présent était d'une utilisation courante dans les immeubles d'habitation vers le tournant du siècle, dont la corrosion demande de chercher de nouvelles voies de conception des structures et de la technologie.

### *1.0 Le type de plancher étudié (plancher de Mátrai)*

Vers la fin du XIX<sup>e</sup> et au commencement du XX<sup>e</sup> siècle, grâce à l'essor de la grande industrie et de l'urbanisation, l'activité de construction s'intensifiait. Dans les immeubles locatifs, les habitations ouvrières, les édifices publics etc. on employait souvent un système de plancher combiné, à dalle en béton de laitier, appuyée sur des profils métalliques en I, laminés à chaud, armée de treillis métalliques à différents systèmes de câblage, suspendus entre les poutres en acier.

Ce type de plancher se rencontre souvent dans les immeubles d'habitation, les bâtiments scolaires, hospitaliers surannés de Budapest.

#### *1.1 Structure*

Les poutres métalliques espacées de 2,0 à 2,4 m sont encastées dans les murs portantes en briques de manière que sous les cloisons transversales se trouvent chaque fois des poutres. Le treillis métallique est fixé sur la membrure supérieure des poutres métalliques; ce treillis comporte des câbles  $\varnothing$  5 mm diagonaux et parallèles. Les espaces entre les poutres métalliques et les treillis descendant dans les travées de plancher, à surface plane d'en bas et concave en vue de dessus, étaient remplis de béton de laitier de qualité inférieure. Cette structure était couverte d'un remblayage en matériau granuleux et d'un revêtement de sol à plusieurs couches (Fig. 1).

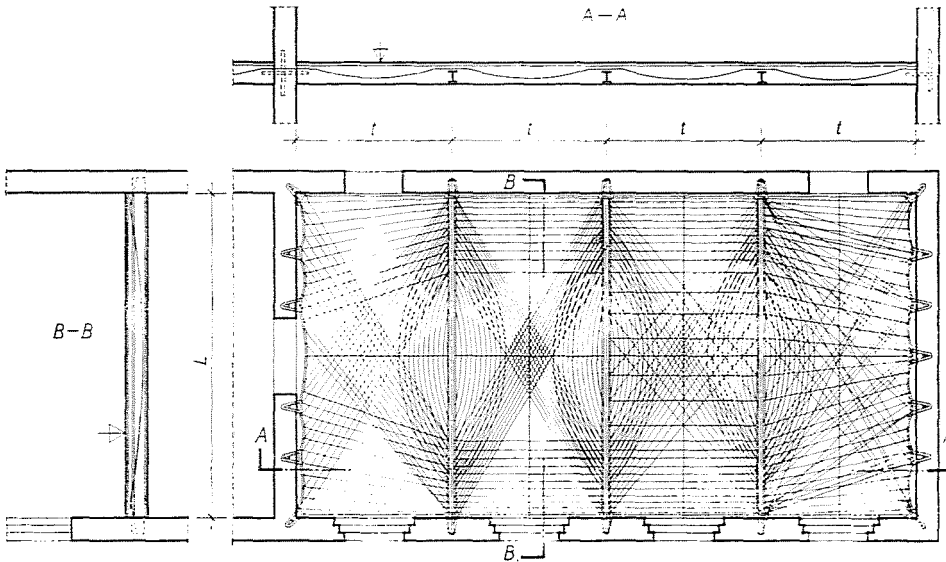


Fig. 1. Disposition caractéristique des éléments en acier du plancher type Mâtrai (vue en plan, coupes)

### 1.2 Principe de calcul

D'après la conception de calcul d'il-y-a plus de 50 ans le système porteur du plancher se constitue de ronds à béton travaillant seulement à la traction; le béton de laitier n'est que matière de remplissage appuyant les murs portants resserrés par le treillis en câbles. Selon la supposition du projet le treillis métallique transmet les charges aux poutres métalliques dont le moment de flexion diminue.

### 1.3 La méthode de calcul mise à jour par E. Dulácska d'après S. Scheer [1]

La charge totale  $Q$  était répartie entre la poutre, le câble parallèle à cette dernière et les câbles diagonaux:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3;$$

où  $q_1$  = la charge uniformément répartie sur la poutre métallique, 25 à 37,5% de la charge totale  $Q$ ;

$q_2$  = la charge du couple de câbles parallèles, 25 à 37,5% de  $Q$ ;

$q_3$  = la charge des câbles croisés diagonaux, 50 à 25% de  $Q$ .

On calculait à l'aide de la formule  $M = q \cdot l^2$  d'où la contrainte admise dans les poutres métalliques et dans les aciers ronds était de 1000 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 1.4 Des hypothèses erronées

On ne calculait pas la membrure travaillant à la compression, alors que les câbles adhéraient aux sections de béton de laitier d'où résultaient des efforts de compression. Par suite de la faible qualité du béton de laitier l'effort de compression était transmis à la membrure supérieure de la poutre métallique.

À cause de l'adhésion l'armature ne travaille pas en treillis en câbles, mais le système se comporte en dalle de béton à section variable, armée dans les deux sens.

Pour la préparation du béton on utilisait souvent du mâchefer à grande teneur en carbon sulfureux qui au cours de l'exploitation prenait de l'eau, de manière que l'acide sulfureux se produisant ainsi exerçait une influence corrosive. Lors des démolitions on peut constater les effets de corrosion tant dans la qualité du béton que dans la formation de rouille, diminuant la section des aciers ronds et des poutres métalliques (au cas d'un processus intense les armatures étaient complètement détériorées, Fig. 2).

Pour abrégé la durée des travaux de construction, après l'autre guerre on employait aussi du ciment fondu, la lente diminution de résistance duquel se fait également apercevoir.

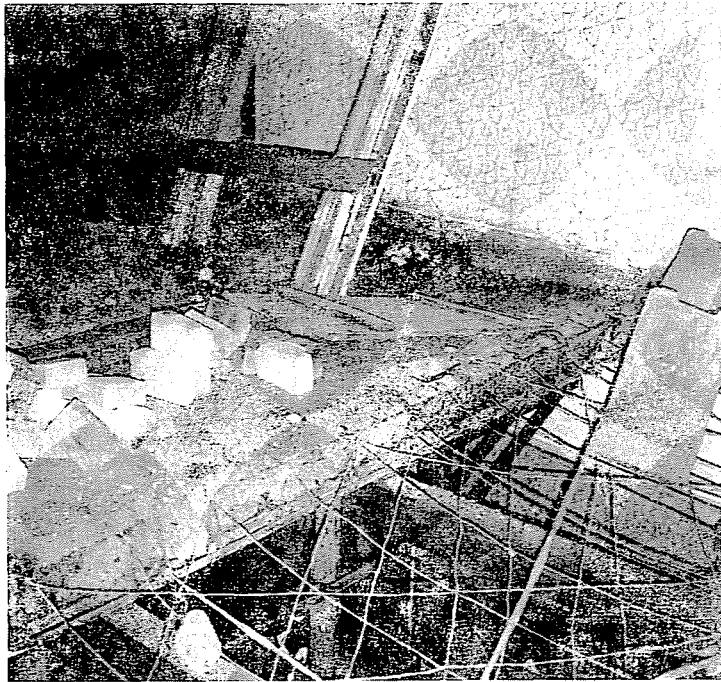


Fig. 2. Plancher type Mátra démonté (Budapest, XI. Lágymányosi utca 6. — 1975)

## 2.0 Exploitation des planchers avariés

La proportion des bâtiments surannés, construits avec des planchers de Mátrai, est assez grande. Il y en a des établissements indispensables même pour un court laps de temps, comme par exemple un hôpital d'enfants à Budapest. Par un soutènement provisoire la valeur locative se trouverait gravement atténuée, une rénovation complète (remplacement des planchers détériorés) entraînerait le déménagement des occupants. Pour une partie notable des bâtiments aux planchers corrodés on prévoit déjà aujourd'hui qu'ils seront démolis dans le cadre des plans quinquennal, décennal ou quindécennal.

Dans les années 1950 on a élaboré plusieurs méthodes pour renforcer ces planchers [2]. Aucune de ces méthodes ne put percer par suite de difficultés constructives, technologiques, parce qu'elles demandaient beaucoup de travail ou de frais. En général, on procède à Budapest au remplacement complet des planchers.

En tenant compte du rythme accéléré de la liquidation des immeubles d'habitation vieilliss, il fallait développer pour le plancher type Mátrai une structure de renforcement, une solution technologique qui permit tant de rénover les planchers des immeubles qui seront conservés que de renforcer provisoirement pour 5, 10 ou 15 ans ceux des bâtiments qui seront démolis, tout en récupérant l'acier des planchers et la structure de renforcement. Il s'imposait d'employer une technologie qui permit de ne pas faire déménager complètement les locataires et d'assurer — qu'il s'agisse d'utilisation provisoire ou définitive — l'exploitation sans aucun dérangement des habitants.

## 3.0 Renforcement de la poutre métallique à l'aide d'un tirant, en utilisant un faux-plafond «porteur»

Pour résoudre le problème, l'équipe de chercheurs de la Chaire du Bâtiment — dirigée par l'auteur — a élaboré une construction métallique simple, montable et démontable, se prêtant bien à la fabrication en série et au stockage, qui — pour s'adapter aux écartements entre murs variables — est conçue selon le principe *Märklin*.

En ouvrant avec un minimum de travail de démolissage le plancher sous les membrures inférieures des poutres métalliques, on y pose deux coudes soudés en treillis en fer profilé, entre lesquels on introduit un tirant simple en acier rond.

En appliquant une précontrainte proportionnelle à la détérioration de la poutre métallique corrodée, à l'aide du travail du tirant on remplace la section utile manquante de la membrure inférieure par une nouvelle disposition du jeu des forces. Le système en coudes tendeurs et tirant peut être couvert par

un faux-plafond assurant dans les appartements une surface finie. (A l'époque de la construction des planchers de Mátra la hauteur intérieure des logements surpassait les hauteurs actuelles de 0,80 à 1,50 m, il y a donc assez de place pour le plafond plus bas, sans gêner la fonction de logement.)

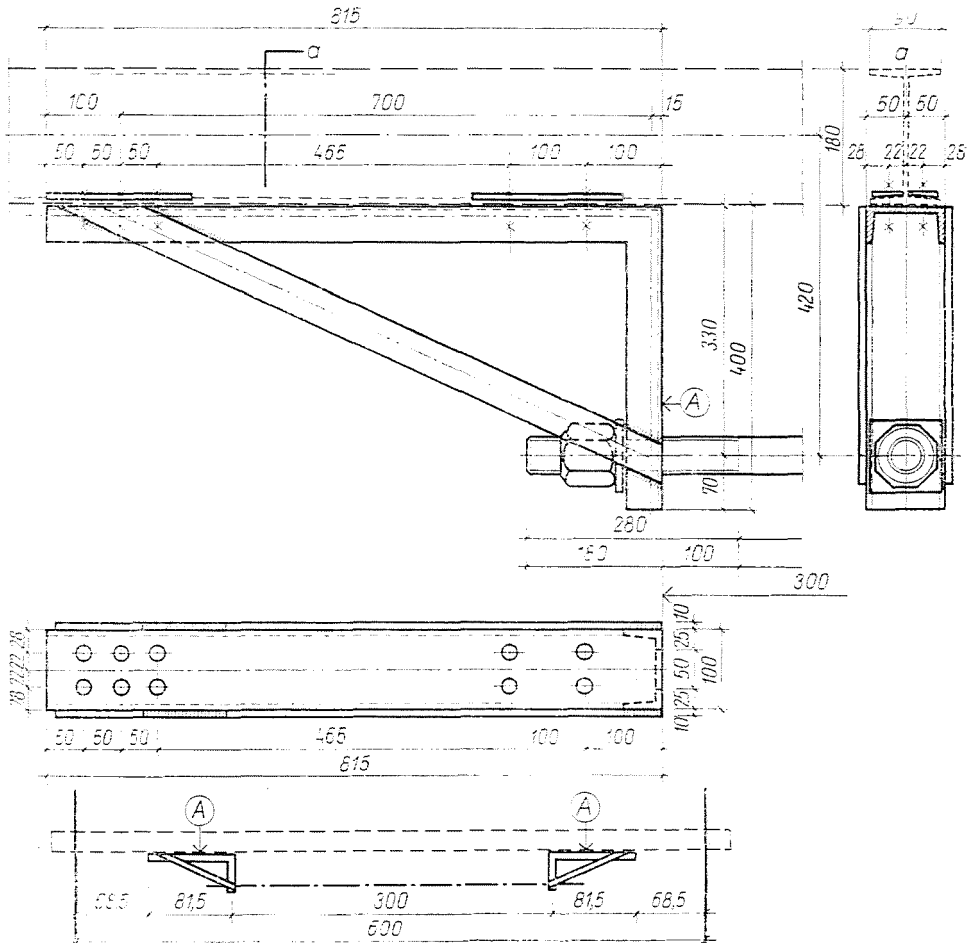


Fig. 3. Projet du système tendeur en sous-oeuvre pour les poutres métalliques corrodées

### 3.1 Structure

Le système se compose de profilés en U, normalisés, simples, faciles à manier, qu'on assemble par des procédés technologiques bien connus. L'Entreprise Municipale de Serrurerie en Bâtiment de Budapest se charge de la fabrication et du stockage (principe de Märklin) ainsi que du montage (Fig. 4).

On utilise pour toutes les portées de plancher les mêmes coudes en treillis, il ne reste qu'à choisir entre trois longueurs de tirant celle qui sera appropriée dans les conditions de l'écartement donné entre deux murs. Le poids et les dimensions des éléments sont modérés, le montage n'a donc aucune difficulté même sans mécanisation et dans les circonstances défavorables des travaux de rénovation.

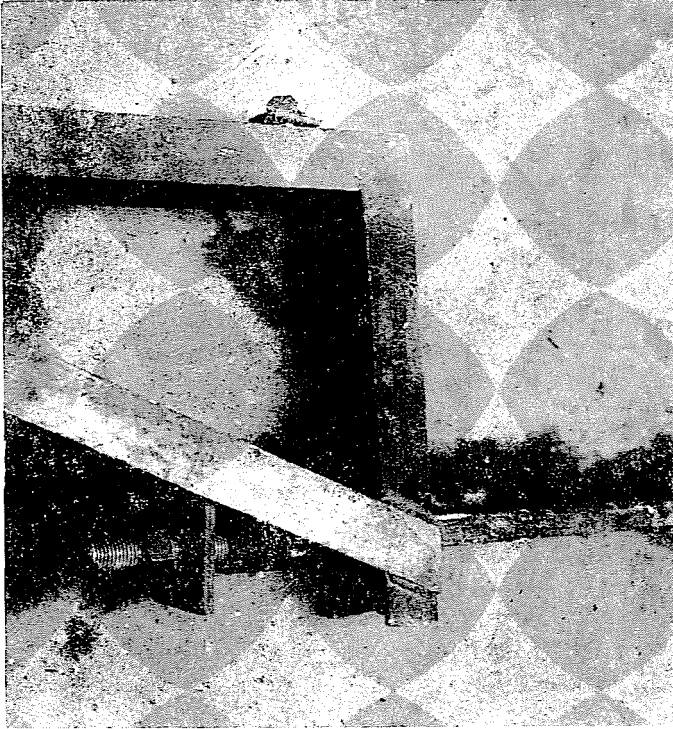


Fig. 4. Prototype du coude du système tendeur pour les essais

### 3.2 Jeu des forces

La distribution des moments sur la Fig. 5 montre après la mise en tension les caractéristiques présumées des poutres métalliques à double T (disposées en travées de 2,0 à 2,4 m) des planchers type Mâtrai. D'après le jeu des forces supposé dans le diagramme des forces, les conditions caractéristiques de la portance sont: (avec les notations et selon l'interprétation sur la figure)

- I —  $M_1 \leq M_H$
- II —  $(M_2 + M_f) \leq M_H$
- III — si  $M_2 + M_f > 0$   
 $M_3 + M_f < M_H$ .

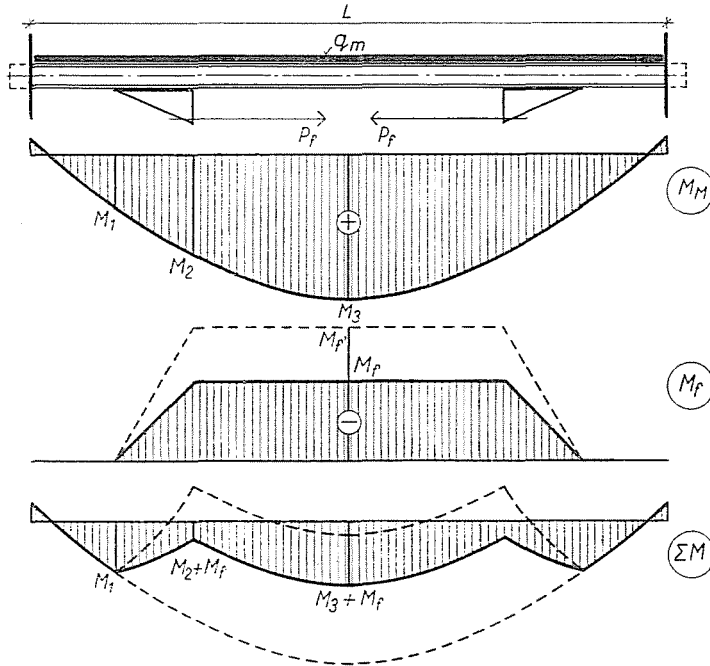


Fig. 5. Déplacement des moments dans les poutres métalliques corrodées sous l'action de la contrainte. I:  $M_1 \leq M_H$ ; II:  $|M_2 + M_f| \leq M_H$ ; III: Si  $M_2 + M_f > 0$ ,  $M_3 + M_f < M_H$

### 3.3 Les caractéristiques d'emploi du système proposé

Les facteurs influençant l'utilisation de cette structure sont les suivants:

- les distances variables de mur à mur,
- les différents types de profilés métalliques,
- les écartements variables d'axe en axe des poutres métalliques,
- l'état de corrosion différent.

Étant donné le grand nombre des variations de chacune des caractéristiques citées et celui de leurs combinaisons, il était indiqué d'élaborer un programme pour ordinateur tout en tenant compte des simplifications introduites dans l'intérêt de la production en masse des structures de renforcement.

Entre 4,00 et 6,00 m les portées sont données en échelons de 0,50 m, l'écartement d'axe en axe des poutres varie entre 1,80 et 2,50 m en échelons de 0,10 m. On a compté avec des poutres métalliques en I-14, -16, -18 et -20 et on a tenu compte de la corrosion des poutres par des diminutions de section en échelons de 0,1 mm.

Comme charge admissible du système porteur nous avons compté avec un chargement de plancher de 925 kgf/m<sup>2</sup> parce que pour la structure remblayée



de 0,35 à 0,38 m d'épaisseur en général, nous sommes partis de la supposition du type de sol le plus lourd (revêtement de sol froid des blocs sanitaire-cuisine). Comme contrainte aux limites de la poutre en acier on a pris 2000 kgf/m<sup>2</sup>. L'analyse sur ordinateur des données de près de 1500 situations constructives et de corrosion\* nous a servi de base pour l'élaboration des nomogrammes

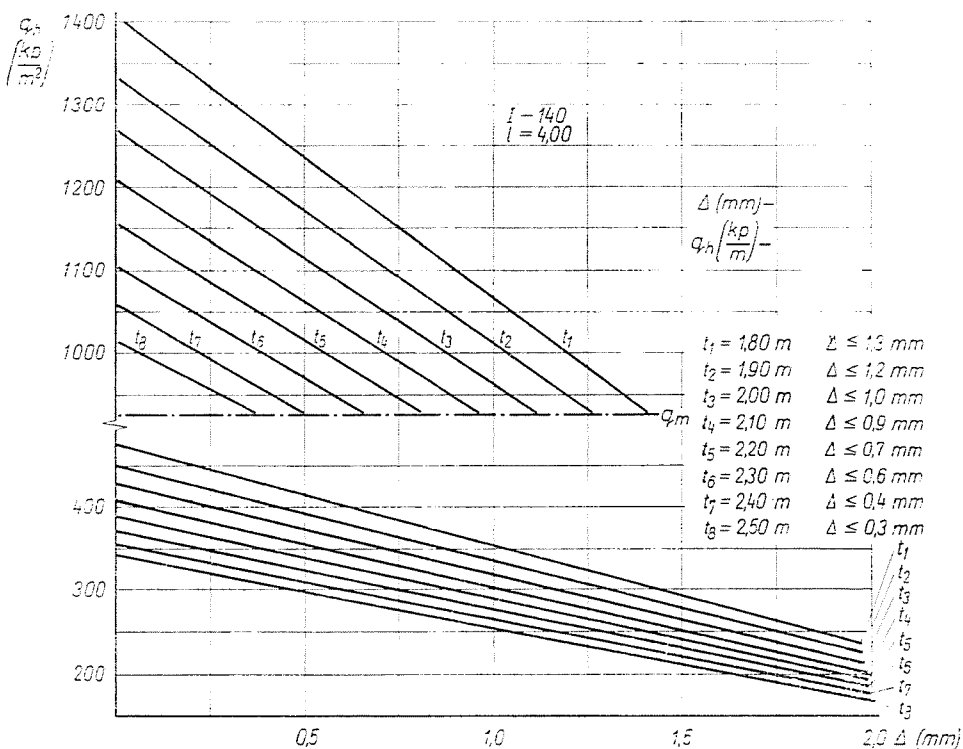


Fig. 6. Nomogramme de calcul pour des poutres métalliques I-140 et des écartements entre murs de 4,00 m environ;  $\Delta$ (mm) = corrosion;  $q_n$ (kp/m) = résistance à la rupture

qui donnent par types de poutre métallique et d'écartements entre murs la capacité de charge en fonction de la densité de disposition des poutres pour un effort de précontrainte maximal.

A titre d'exemple nous donnons ici les domaines d'emploi et les nomogrammes de calcul de la poutre I-140 à la portée de 4,00 m environ (Fig. 6), de la poutre I-160 à la portée de 5,00 m et de la poutre I-200 à la portée de 6,00 m environ (Fig. 7).

\* avec la collaboration dans la programmation de l'étudiant en génie civil L. Frigiyik

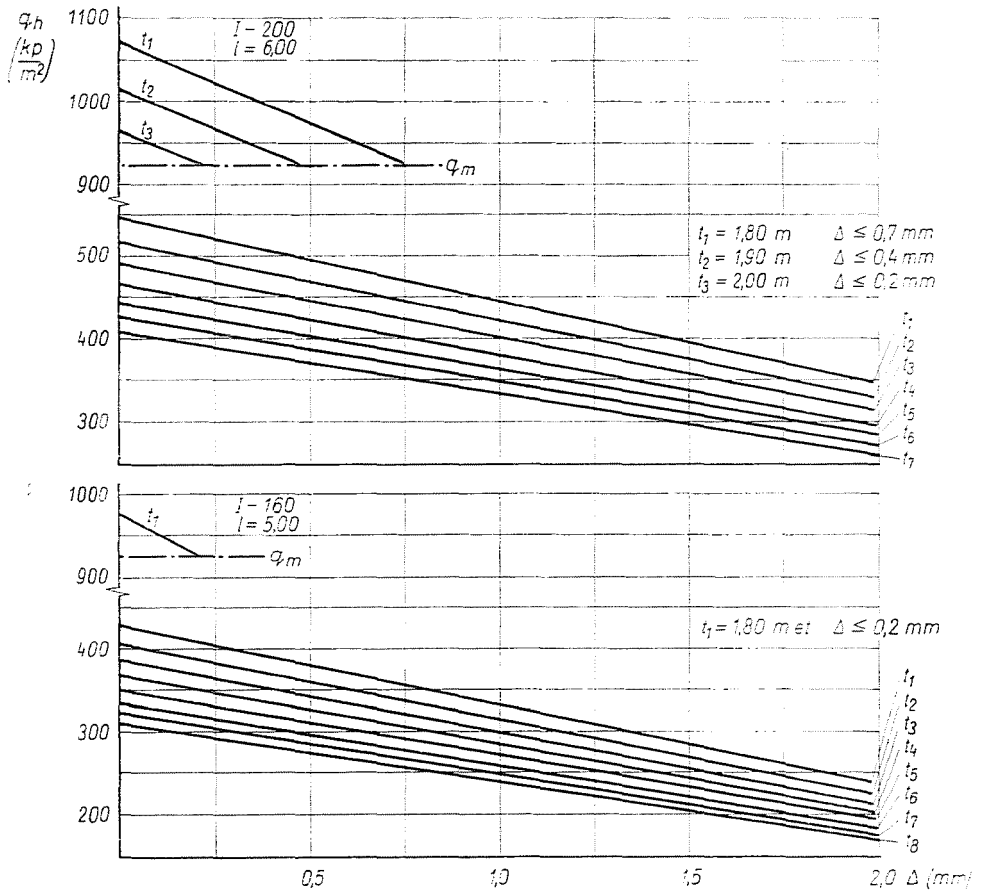


Fig. 7. Nomogrammes de calcul pour des poutres métalliques I-160 et I-200 pour des écartements entre murs de 5,00 et de 6,00 m

#### 4.0 Essais de chargement

Au mois de juin 1975 nous avons effectué des essais mécaniques et d'application à pied d'oeuvre sur les planchers type Mátrai d'un immeuble d'habitation (Budapest, XI. Lágymányosi-utca 6) destiné à être rénové par un remplacement total des planchers.

Au cours de ces essais nous avons étudié par des essais de charge sur planchers l'influence et les conséquences de la corrosion sur le comportement sous chargement. Ensuite, par la mise en place des prototypes d'essai de la structure de renforcement proposée, nous avons contrôlé à l'aide de mesures instrumentales le jeu des forces sous charge d'épreuve dans les poutres corrodées, modifiées par mise en tension (Fig. 8).

La région renforcée du plancher fut séparée des intervalles de solives voisines de façon qu'une comparaison de l'effort de précontrainte appliqué, de la déformation des poutres métalliques et des données du chargement permit de contrôler le calcul décrit dans le chapitre 3.0 et d'évaluer l'applicabilité du système de renforcement proposé. On mesurait la déformation du tirant à l'aide d'un indicateur d'allongement à corde vibrante de МАУНАК et l'on

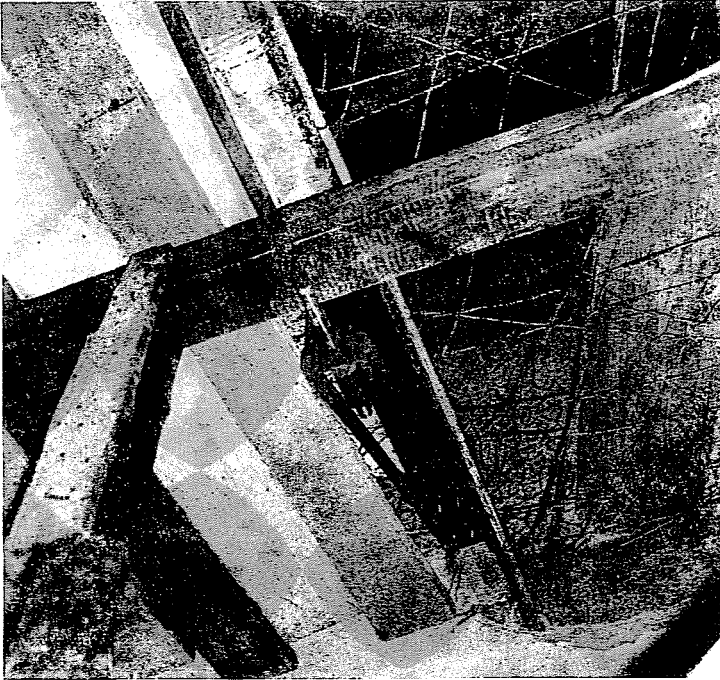


Fig. 8. Système tendeur en sous-oeuvre mis en place, avec échafaudage de sécurité

enregistrait la flèche et le cintrage (!) de la poutre à l'aide d'un extensomètre à cadran (Fig. 9).

L'analyse des phénomènes de déformation de la poutre métallique, survenus au cours de l'essai de charge, montrait que l'ensemble des déformations dues au chargement se produisait dans la zone d'élasticité de la poutre, la déformation permanente après déchargement était minime.

La précontrainte s'est avérée très efficace: la flèche des poutres était réduite presque à la moitié. Les précontraintes se précisaient vers la limite supérieure de la gamme déterminée par calcul préalable. L'essai de charge portait donc des preuves à l'appui de la justesse de conception de la méthode proposée. Au moment de la rédaction de cet article l'examen des poutres démontées et l'analyse en laboratoire du système de précontrainte sont en cours, les

premières applications dans le bâtiment sont prévues pour les années 1976 et 1977.

(Les membres de l'équipe de la Chaire sont: dr. Bertalan Juhász, chargé de cours, Sándor Király et István Pogány, premiers assistants et László Frigyik, étudiant en génie civil.)

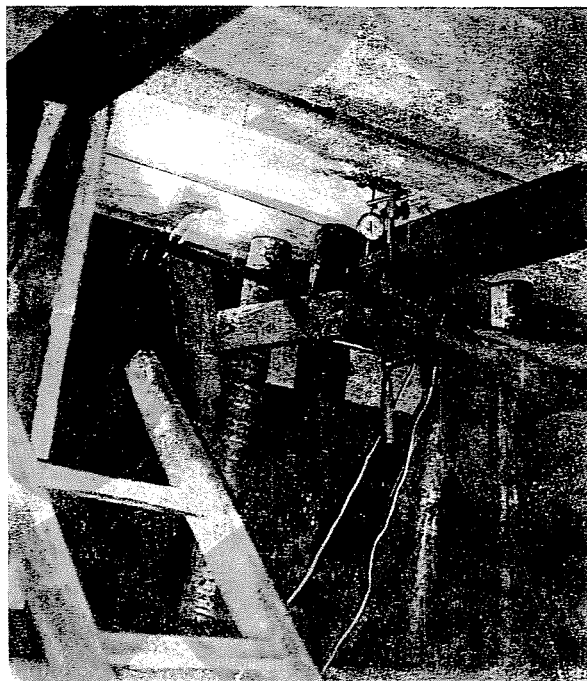


Fig. 9. Mesures de déformation de la poutre (Budapest. XI. Lágymányosi utca 6, juin 1975)

### Résumé

L'introduction de l'article caractérise par des données de l'année 1975 l'état de conservation des logements à Budapest. Parmi les problèmes de rénovation des immeubles d'habitation aux structures vieilles l'auteur souligne un type de plancher ancien (plancher type Mátrai), souvent employé au début de ce siècle, dont le renforcement s'impose.

La conception de cette construction (poutres métalliques et dalle en béton de laitier) repose sur des hypothèses statiques erronées de l'époque de réalisation et présente un jeu des forces différant de ce qui était prévu. L'agrégat utilisé entraînait la corrosion des matériaux.

L'article expose une méthode de renforcement qui permet de remettre en état le plancher sans desceller les poutres métalliques.

L'auteur décrit un essai industriel à l'aide de la méthode de renforcement proposée et présente des nomogrammes permettant de prendre une décision concernant l'application statique de la structure de renforcement proposée en cas d'écartements entre murs quelconques, de différents états de corrosion et des espacements entre murs de plancher différents.

Des essais en laboratoire sont en cours sur des poutres métalliques retirées de bâtiments et munies du prototype de la structure de renforcement.

**Littérature**

1. SCHEER, S.: Description du système de béton armé de Mátrai.\* Miskolc 1906.
2. DÁNOS—HIR: Manuel des travaux de réfection.\* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.

László BRUZSA, chargé de cours, H-1521 Budapest

\* En langue hongroise,