

PLANCHER CÉRAMIQUE, ARMÉ DE TREILLIS EN RONDS DE BÉTON EN ACIER SOUDÉS

par

L. BRUZZA

Chaire du Bâtiment, Université Technique de Budapest

(Reçu le 10 février 1972)

Présenté par le Prof. L. LUX

En Hongrie des éléments préfabriqués en béton armé sont en usage courant depuis les années 1950. C'est en 1962 qu'on commença de s'occuper des éléments en céramique à armature précontrainte à titre expérimental, en s'appuyant de modèles français et italiens. La reconstruction réussie de l'industrie de la céramique suggéra l'étude de produits céramiques, utilisables dans les structures de plancher.

A la Chaire du Bâtiment à l'Université Technique de Budapest, en collaboration avec l'Institut pour l'Économie et l'Organisation du Bâtiment et l'Institut Central de Recherches et d'Étude de l'Industrie des Silicats, on élaborera pour la briqueterie un programme de développement de la fabrication pour 1970/73. Les chercheurs de notre Chaire furent chargés de l'étude des projets de ces structures. Le présent article donne un compte rendu d'une certaine partie de ces recherches, de la conception des projets d'un plancher à base céramique, armé de treillis en aciers soudés.

1. Les considérations de la conception du projet et les caractéristiques requises du nouveau type de plancher

Actuellement on construit en Hongrie les planchers des bâtiments à murs pleins ou à ossature en béton armé en utilisant des poutres préfabriquées en béton armé et des hourdis en béton, ou bien des planches précontraintes ou à armature non tendue. Les types de plancher élaborés ne seront introduits par l'industrie que si les caractéristiques techniques des nouveaux planchers en céramique seront supérieures à celles des planchers classiques en béton armé; si leurs performances techniques seront égales à celles des structures françaises et italiennes, très évoluées par conséquent de l'application étendue, et si l'utilisation de ces planchers en Hongrie paraîtra économique. Déjà un coup d'œil jeté sur la littérature du sujet attirera l'attention sur les avantages des planchers en poutres, armés de treillis en acier à trois dimensions, fabriqués à la soudeuse automatique. En Hongrie on n'emploie

pas ce type de plancher, bien que l'entreprise Ferroglobus dans les années 1969/70 ait intégré à titre d'essai, en petite quantité, les armatures de la société autrichienne Katzenberger Baukonstruktionen Vertriebsgesellschaft (Innsbruck), constituées de profils en tôle pliés et de barres d'acier.

1.1 Système des forces

Le calcul du système des forces dans les éléments porteurs des planchers en poutres est bien connu, l'étude de types nouveaux ne fait aucune difficulté. Les poutres préfabriquées en béton armé à l'armature incorporée sont prévues pour des sollicitations déterminées, dues à des moments fléchissants, le plus souvent limitées. Le volume de la série de fabrication des éléments se trouve déterminé par les conditions d'une production économique, c'est pourquoi la plupart du temps la capacité statique des barres travaillant à la flexion reste inutilisée. A ce point de vue les treillis en acier, conçus pour les sollicitations se produisant lors du coffrage et de la mise en place, ont des avantages, puisque — comme armature de base des éléments porteurs — ils seront complétés à volonté par des aciers de renfort, destinés à reprendre les efforts de flexion et tranchants définitifs. C'est de ce fait que résulte le besoin en matériaux très économique des structures armées de treillis en acier.

Pour la stabilité des planchers en éléments préfabriqués il est de première importance d'assurer l'encadrement en béton armé des plans de plancher, la formation d'un chaînage. La solidarisation des éléments préfabriqués à bouts de poutres pleins, par des chaînages en béton armé coulé sur place, perpendiculaires sur les axes de poutre, a des inconvénients; elle exige le plus souvent l'application des fers en attente et le bétonnage des joints entre les poutres et les éléments de remplissage. L'armature en treillis soudés est plus facile à assembler avec les sections du chaînage coulé en place: on utilisera, selon les conditions de la construction, des aciers de renfort pour reprendre les moments positifs ou les efforts tranchants sur appuis. La transformation de ces éléments armés de treillis en éléments continus ne fait aucune difficulté.

1.2 Caractéristiques physiques du bâtiment

Pour le comportement des planchers en tant que parois le haut coefficient de conductibilité thermique du béton armé est désavantageux. Ce désavantage sera en quelque sorte compensé par les vides des hourdis, mais les sections nécessaires pour des raisons mécaniques conduisent souvent à la formation de ponts thermiques diminuant la résistance de conductibilité thermique de ces structures en produisant des bandes de plancher froides dans les axes des éléments porteurs.

Les planchers en poutres ou en planches de béton armé, généralement utilisés en Hongrie et à l'étranger, ont en moyenne les caractéristiques thermiques suivantes:

$$R = 0,18 \text{ à } 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}/\text{ccal}$$

R — est la résistance de conductibilité thermique moyenne du plancher en béton, sans isolation thermique et remplissage, avec

$$\dot{U} = 35 \text{ à } 50\%$$

\dot{U} — étant le pourcentage des vides dans les hourdis ou dans les dalles en béton armé.

Une caractéristique des planchers extérieurs, en toiture, importante au point de vue de la protection thermique d'été et du chauffage intermittent, est l'inertie calorifique des structures. Sous cet aspect les planchers en béton armé sont avantageux puisqu'ils disposent en moyenne d'un coefficient d'inertie de

$$D = 1,1 \text{ à } 1,6$$

D — le coefficient d'inertie calorifique étant un nombre proportionnel sans dimension.

En ce qui concerne le comportement acoustique des parois extérieures, les caractéristiques d'isolement contre le bruit aérien dépendent du poids propre des structures. Dans les conditions d'un emploi courant l'amortissement du bruit d'impact est généralement indispensable.

1.3 Besoin en matériaux

Le béton des planchers préfabriqués est généralement dosé de ciment de l'ordre de $C_f = 30 \text{ à } 40 \text{ kg/m}^2$,

le besoin en acier étant pour des portées usuelles (4,20 à 4,80 m) de l'ordre de $A_f = 6,0 \text{ à } 8,0 \text{ kg/m}^2$ de plancher.

1.4 Caractéristiques de mise en œuvre

Pour les conditions et la technique de réalisation des planchers préfabriqués — en outre de la rigidité à la flexion et de la rigidité de montage des éléments préfabriqués — les paramètres de poids propre des éléments sont les plus significatifs.

Les structures de plancher finies ont en moyenne un poids propre $G_f = 300 \text{ à } 400 \text{ kg/m}^2$.

Le poids global d'un élément, déterminant la capacité des moyens de transport et des appareils de levage, atteint (en moyenne): $G_{ef} = 40$ à 60 kg/m courant.

G_{ef} — est le poids propre par m courant de la poutre porteuse, préfabriquée.

Pour les planchers en poutres, le poids des hourdis en béton, posés à la main, constitue un paramètre important: $G_{bf} = 18,0$ à $28,0$ kg/pièce, pour les éléments de remplissage en béton de gravier, employés en Hongrie. Pour les hourdis en béton léger cette valeur se réduit — limitée par le risque de détérioration — à $4,0$ à $6,0$ kg/pièce.

Pour des planchers préfabriqués on doit étudier la question de la nécessité des étaielements provisoires de montage ainsi que le besoin en béton coulé sur place, si l'approvisionnement du chantier en béton pré-mélangé ou pompé n'est pas assuré.

2. Treillis en ronds à béton en acier soudé

A l'étranger on emploie dans le bâtiment des poutres, des planchers et des panneaux préfabriqués, armés de treillis en acier, soudés à la soudeuse automatique (ou semi-automatique); dans tous les trois cas les barres du treillis travaillant à la tension seule sont solidaires avec la base de la section de plancher, sollicitée dans la direction principale des efforts: la section préfabriquée de moindre grandeur ne concourt qu'à la protection anticorrosive des armatures et à l'appui des éléments de remplissage et pour supporter les charges techniques du plancher en construction. La zone de compression est moins délicate au point de vue du compactage et les aciers de renfort sont confectionnés sur le chantier.

Selon les matériaux de base les types principaux des treillis soudés à la soudeuse sont les suivants:

- armatures en ronds à béton;
- armatures en profilés laminés à chaud ou en tôle pliée et en barres travaillant à la compression;
- treillis en tôle déployée.

En ce qui concerne l'organisation de la production des éléments préfabriqués, on connaît des systèmes réalisant le ferrailage et l'élément de structure ensemble ainsi que des systèmes se bornant à la confection de poutrelles.

Après avoir étudié et analysé les types de structure les plus répandus en Europe (Omnia, Filigran, Kaiser, Katzenberger, MS, DFC, etc.), nous estimons que les treillis en acier FERT de la maison italienne Vibas-Magnetti seront les plus avantageux pour élaborer en Hongrie un système de plancher à base de terre cuite, armé de treillis en acier. Ce treillis symétrique en barres

d'acier s'applique indifféremment avec des poutrelles à talon de préenrobage ou à semelles en béton lourd ou léger ou en terre cuite et avec des entrevous en béton lourd ou léger ou en terre cuite. Le matériau acier peut s'assurer de la production du pays, la fabrication des poutrelles s'effectue à l'aide d'un équipement simple, ne demandant pas d'investissements importants.

2.1 L'acier

En Italie, en France, en Belgique, en Espagne on emploie pour les treillis en acier FERT les marques TOR, Adhercy, Nerfil, Rumi. Nous connaissons aussi la composition du matériau traité sur les équipements FERT en Yougoslavie. Vibas suggère l'emploi de l'acier Rumi.

Les paramètres de soudure du treillis fabriqué à cette machine furent étudiés dans l'Istituto di Ricerche Breda S. p. a. (Milan). En se basant sur les résultats des études mécaniques et métallographiques des soudures, l'institut de recherche italien conseilla de réduire la teneur en carbone et en soufre. L'acier rond standard C15H de Hongrie serait convenable au point de vue de la teneur en carbone et en soufre, mais son utilisation rendrait la structure économiquement désavantageuse. Selon les indications de la norme hongroise MSZ, pour l'acier rond B 60.40 les teneurs en carbone et en soufre sont réglables dans le domaine exigé, c'est pourquoi nous étudions en collaboration avec le Laboratoire de l'entreprise Ferroglobus les moyens d'utiliser cette nuance d'acier.

En collaboration avec la Chaire des Constructions en Béton Armé nous faisons l'étude comparative des propriétés mécaniques du matériau du treillis fourni par la maison Vibas et du treillis en acier produit en Hongrie, soudé à la main.

La limite d'élasticité, moyenne de cinq éprouvettes du matériau italien était de $\sigma_f = 4596 \text{ kg/cm}^2$ tandis que le même paramètre, moyen de dix éprouvettes en acier B 60.40 employé pour les treillis soudés à la main, par séries, était de $\sigma_f = 3786 \text{ kg/cm}^2$.

En utilisant l'acier italien et l'acier de Hongrie soudé à la main, avec talons de préenrobage selon les projets de l'auteur, on prépara des prototypes de poutrelles expérimentales et des modèles de plancher de 1,0 m de large. Des résultats des essais jusqu'à la rupture de ces modèles, effectués au Laboratoire de la Chaire des Constructions en Béton Armé de l'Université Technique de Budapest on peut tirer des enseignements sur l'influence de la nuance d'acier.

Pour achever les essais comparatifs, on traitait l'acier de fabrication hongroise à la machine à souder FERT. Les essais ont confirmé les avantages du traitement à la machine: la force portante est plus uniforme, la structure se calcule avec une plus grande sécurité.

2.2 Le talon de préenrobage en terre cuite

L'équipement produisant les poutrelles place par éclatement le treillis dans les corps creux de coffrage enfermant le béton de trois côtés. En Italie et en Yougoslavie on emploie des talons en forme d'U, à une coque, moulés par deux.

Pour les planchers servant de paroi entre l'extérieur et l'intérieur on étudiait des éléments à double paroi avec vide d'air, pour obtenir une température plus uniforme de la sous-face se refroidissante du plancher, pour éliminer autant que possible les ponts thermiques ainsi que pour pouvoir travailler la sous-face au ciseau. Pour assurer l'interchangeabilité, les contours du talon correspondent au contours de la base des poutres préfabriqués en béton armé, utilisées en Hongrie. La dimension de la partie supérieure, ouverte du talon en U est déterminée par la géométrie du treillis (placement par coinçage) la dimension de la section enfermée par les parois intérieures était déterminée par la section d'acier maximale, dans les limites données, et par l'épaisseur nécessaire de l'enrobage des aciers.

Les talons jumelés, fabriqués dans l'usine de Mezótúr de l'Entreprise de Briqueterie et de Tuilerie du comitat Szolnok, donnaient toute satisfaction.

Pourcentage des vides dans les corps creux jumelés: $\dot{U} = 47,5\%$.

Caractéristiques mécaniques:

Résistance à la compression moyenne: 401,8 kg/cm².

Absorption d'eau moyenne: 17,93%.

Au cours des essais de fabrication de poutrelles et des essais mécaniques de ces dernières les talons donnaient toute satisfaction.

Résultats des essais jusqu'à la rupture des structures expérimentales

Désignation	Portée m	Treillis italien			Treillis hongrois		
		Charge de rupture		Écart %	Charge de rupture		Écart %
		expérimentale	théorique		expérimentale	théorique	
Poutre Modèle de plancher	4.20	450 kg	404 kg	+10,2	271 kg	316 kg	-16,5
	4.20	1221 kg/m ²	1050 kg/m ²	+14,0	534 kg/m ²	424 kg/m ²	+16,9
Poutre Modèle de plancher	6.00	465 kg	396 kg	+14,8	308 kg	311 kg	-0,97
	6.00	696 kg/m ²	650 kg/m ²	+ 6,5	568 kg/m ²	579 kg/m ²	-1,94

3. Les entrevous en terre cuite

Les propriétés mécaniques, compétitives avec celles du béton coulé sur place, du matériau des entrevous en terre cuite, à parois minces et au grand pourcentage de vides imposent que — lors du calcul de la section de ces

entrevous — on s'oriente avant tout d'après le système des forces prévu du plancher fini. La production d'entrevous non fissurés et de forme exacte est une condition de première importance, enfin on doit tenir compte aussi des conditions de comportement physiques de la structure finie. Nous avons entrepris des essais de fabrication avec ces entrevous dans trois usines (Mezőtúr, Békéscsaba, Mátradereske) — dans des conditions techniques qui laissaient à désirer.

3.1 Propriétés de la terre cuite

Pour les structures prototypes on fabriquait les entrevous dans l'usine de Mezőtúr de l'Entreprise de Briqueterie et de Tuilerie du comitat Szolnok, sur une presse de provenance de la R.D.A., avec traitement thermique en four circulaire et séchage à l'air. Nous avons déterminé les propriétés mécaniques des produits en collaboration avec la Chaire des Matériaux de Construction de l'Université Technique de Budapest.

3.11. *Propriétés mécaniques.* Pourcentage des vides moyen (le pourcentage le plus élevé atteint dans les produits céramiques de Hongrie jusqu'à 1971): $\bar{U} = 73,3\%$.

Résistance à la compression dans l'axe des vides, calculée pour la section utile de terre cuite: $\bar{\sigma} = 362,96 \text{ kg/cm}^2$.

Résistance à la compression moyenne des éprouvettes découpées: $\bar{\sigma} = 232,85 \text{ kg/cm}^2$.

Résistance à la flexion des éprouvettes découpées pour une portée de 0,10 m: $\bar{\sigma} = 130,41 \text{ kg/cm}^2$.

On détermina le module d'élasticité de flexion E des éprouvettes découpées en mesurant la déflexion sous charge selon des paliers progressifs, et à l'aide de la formule

$$E = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot J \cdot f} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

d'où

$$E = 114.112 \text{ kg/cm}^2.$$

Avant le coulage de la zone comprimée des poutrelles les entrevous reposant sur les poutrelles à treillis en acier soumises aux charges techniques de montage travaillent en poutre d'ossature à cadre sur deux appuis. On vérifiait le comportement sous charges de montage des parois des entrevous en terre cuite (en supposant des charges uniformément réparties) en essai de flexion. La force de rupture moyenne P_a , enregistrée dans l'essai de résistance à la flexion, pour des entrevous fabriqués à la longueur de coupe de 0,20 m est de $P_a = 1008,7 \text{ kg}$.

Au cours de l'essai jusqu'à rupture on enrégistra le processus de rupture sur film étroit à grande vitesse, en collaboration avec le service d'instrumentation de l'Académie des Sciences de Hongrie. Les prises de vue permirent de vérifier l'influence exercée par les tolérances, les déformations de fabrication et la fissuration sur la rupture des entrevous.

3.12. Diffusion de vapeur. Les sections pleines des planchers en béton armé se prêtent bien au calcul de la diffusion de vapeur. Il est plus difficile à suivre théoriquement les processus de diffusion dans les sections des corps creux (surtout à grands pourcentages de vides): par conséquent nous avons établi les caractéristiques de diffusion des entrevous par essais de laboratoire, effectués en collaboration avec l'Institut Central de Recherches et d'Étude de l'Industrie des Silicates.

Les entrevous furent séchés jusqu'à masse permanente, les faces parallèles au sens de la diffusion de vapeur furent couvertes d'un hydrofuge et d'une feuille d'aluminium, et on plaça la pièce sur un appareil de mesure conçu à cette fin, de manière que la diffusion ne soit possible qu'en direction perpendiculaire sur le plan de plancher; en calfeutrant les joints avec de la paraffine fondue on pouvait suivre le processus. Dans l'espace au dessus de l'entrevous l'humidité relative de l'air atteint 100%, au dessous l'humidité de l'air est nulle. Par le pesage du récipient placé dans l'espace inférieur et rempli de gel de silice ou d'un filtre moléculaire (absorbant à base de zéolithe) on constate que le régime permanent de la diffusion s'est établi.

Pour déterminer le paramètre de la diffusion, on se servait de la formule

$$\delta = \frac{G \cdot d}{P \cdot \tau \cdot F} \text{ g/m. h. Torr}$$

G — quantité de vapeur d'eau diffusée durant un temps τ (l'incrément de masse de l'absorbant), en g;

d — épaisseur de l'entrevous, en m;

p — différence entre les pressions partielles de vapeur formées de part et d'autre de l'entrevous, en Torr;

τ — durée du régime de diffusion permanent, en h;

F — aire de la face de l'entrevous, en m².

Les paramètres de diffusion obtenus:

Coefficient de diffusion (à la température de 20 °C): $\delta = 0.025 \text{ g/m. h. Torr}$

Résistance à la diffusion: $R_d = 8.7 \text{ m}^2 \cdot \text{h. Torr/g}$

3.2. Caractéristiques physiques des entrevous dans le plancher

Les essais de laboratoire décrits des entrevous seuls ne fournissent pas tous les renseignements nécessaires. Dans l'intérêt de la conception de pro-

jets de plancher il semblait plus convenable de les étudier ensemble avec la poutrelle armée de treillis en acier et la section de béton coulée sur place.

Sur le chantier expérimental de l'Université Technique de Budapest on préparait pour les fins des essais thermiques des modèles de $1,30 \times 1,50$ m (la troisième dimension étant l'épaisseur du plancher: 0,22 m). Au préalable on détermina par calcul les caractéristiques de transmission thermique prévisibles tout en tenant compte des hétérogénéités en deux sens, dues aux poutres et entrevous ainsi qu'aux vides d'air. La méthode de calcul normalisée en Hongrie est pratiquement conforme aux méthodes internationales, notamment à celle du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment poursuivant des recherches sur le comportement des hourdis en terre cuite.

Nous avons étudié la conductibilité thermique des structures de plancher, en collaboration avec la section des installations de l'Institut de Recherches Scientifiques et Techniques du Bâtiment et de la Construction, en utilisant un dispositif d'essai pourvu d'une installation frigorifique à basse température. Au dessous de l'élément placé à l'envers, à l'intérieur de l'installation frigorifique on entretenait une température constante de $t_e = -14$ à -16 °C.

Dans l'espace fermé au dessus de l'éprouvette, aux parois en tôle d'aluminium et en plexiglas, on entretenait une température constante de $t_i = 24$ à 26 °C, en faisant fonctionner automatiquement 12 lampes à incandescence de 25 W.

On mesurait en régime permanent la résistance de conductibilité thermique à l'aide des plaques en caoutchouc de Schmidt et des thermocouples cuivre-constantan, fixés sur les deux faces (chaude et froide) de l'éprouvette. Les mesures se répétaient durant une semaine quotidiennement.

On vérifiait aussi la résistance à la diffusion de vapeur du modèle de plancher, de manière analogue à celle décrite sous 3.1, mais à l'aide de l'installation frigorifique à basse température. On plaça l'absorbant dans la chambre froide à la température de $t_e = -14$ à -16 °C; dans l'espace au dessus de l'éprouvette on assurait une température de $t_i = 40$ °C et une humidité relative de l'air de $\varphi_i = 85\%$, en faisant couler et évaporer de l'eau sur une plaque en aluminium chauffée par des lampes IR.

Les paramètres physiques de la structure de plancher complète, obtenus par les essais de laboratoire, sont les suivants (les valeurs calculées entre parenthèses):

Résistance de conductibilité thermique:

$$R = 0,44 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}/\text{ccal} \text{ (0,50 m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}/\text{ccal}).$$

Coefficient de conductibilité thermique équivalent:

$$\lambda_e = 0,50 \text{ ccal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \text{ (0,44 ccal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}).$$

Coefficient de transmission thermique pour toitures:

$$k = 1,66 \text{ ccal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C} \text{ (} k = 1,51 \text{ ccal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}).$$

Coefficient de transmission thermique pour planchers entre étages:

$$k = 1,54 \text{ ccal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} \quad (k = 1,41 \text{ ccal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}).$$

On détermina le coefficient d'inertie thermique de la structure par voie de calcul:

$$D = 1,30.$$

4. Essai de chargement du plancher

Les problèmes de fabrication et de mise en œuvre des planchers aux poutrelles armées de treillis en acier FERT, avec talons en terre cuite, et aux entrevous en terre cuite furent étudiés par l'Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia.

L'étude des projets de la structure aux éléments céramiques se faisait à partir des caractéristiques mécaniques, déterminées dans les essais de laboratoire de l'institut de recherches ISMES.

En dehors de l'analyse des caractéristiques de l'acier — pour vérifier les avantages de l'armature aux étriers triangulaires, fermée, fabriquée à la machine — l'institut ISMES a effectué des essais à la flexion et au cisaillement sur poutrelles à la portée de 1,0 à 3,90 m.

On étudiait les entrevous en terre cuite, construits en Italie, en se servant de la méthode d'essai à la flexion décrite sous 3,1 mais sous charge ponctuelle.

Les études embrassaient aussi les essais en flexion des modèles de plancher posés à l'entraxe de poutrelles de 0,50 m et larges de 1,0 m avec la portée maximale entre parois de 4,80 m.

L'introduction du système FERT dans la pratique de France se base sur l'Agrément délivré par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

4.1. Essais effectués sur la structure de plancher proposée

Sous l'égide de l'Association des Industries de Briqueterie et de Tuilerie (Budapest) nous avons vérifié jusqu'à présent en deux phases de recherches le système des forces des structures pourvues des entrevous expérimentaux en terre cuite, produits par l'Entreprise de Briqueterie et de Tuilerie du comitat Szolnok.

Parallèlement à l'élaboration théorique de la méthode de calcul, au laboratoire de la Chaire des Constructions en Béton Armé de l'Université Technique de Budapest, nous procédions au chargement des poutrelles, armées de treillis en acier produits en Hongrie et soudés à la main ainsi que des modèles de plancher larges de 1,0 m avec des poutrelles posées à l'entraxe

de 0,50 m, aux portées respectives de 4,0 et de 6,0 m. Pour comparer les résultats obtenus sur les modèles en matériaux du pays, on se servait comme étalons des résultats des essais à la flexion, effectués sur des poutrelles et des modèles de plancher, armés de treillis en acier soudés en Italie.

Dans la seconde phase des recherches on procéda — en collaboration avec l'Entreprise du Bâtiment No 1 de Budapest — à une construction expérimentale, en utilisant des treillis en acier d'importation, produits par la maison Magnetti; dans les conditions réelles de l'exécution on peut vérifier les chargements de la structure sur le chantier.

Parallèlement à la mise en œuvre des treillis d'importation, on faisait des essais à la flexion sur une série de poutrelles au pourcentage d'acier augmenté d'un acier de renfort travaillant à la traction. En même temps, la procédure d'agrément par l'Institut Scientifique de la Construction est en cours.

Pour terminer, nous avons prévu le traitement expérimental de l'acier produit en Hongrie, à la machine à souder.

4.11. Les poutrelles. Au cours des essais, les poutrelles plus courtes subissaient le chargement par des forces appliquées à la section de semelle bétonnée en forme de poutres à deux travées sur trois appuis, et les éléments de 6,0 m de long furent chargés en forme de structures à trois travées sur quatre appuis.

La force portante des poutrelles est déterminée par la capacité portante de la membrure comprimée. Les essais à la flexion rapportaient la preuve d'une grande rigidité de torsion des treillis symétriques, fermés qui s'opposait au développement du flambage à la longueur d'onde $r_0 \sim 1$, combiné au dérobement unilatéral.

La force de flambage de la membrure comprimée se déduit du moment de rupture:

$$P_i = q \cdot f \cdot \sigma_i$$

f — étant l'aire de la section transversale de la membrure travaillant à la compression;

σ_i — la contrainte appartenant à la limite d'élasticité de l'acier.

A partir des résultats d'essai on peut calculer également la longueur de flambage au droit de la membrure comprimée:

$$r_0 = 2 \cdot r$$

r — étant l'écartement des nœuds soudés.

Dans les structures étudiées, à partir des résultats de mesures, l'effort de compression maximal est de

$$N_{\max} = 0,84 Q.$$

Pour les poutrelles de 6,0 m de long l'effort de compression maximal dans la membrure travaillant à la compression est de

$$N_{\max} = 1,027 Q.$$

La charge de rupture théorique était inférieure de 10% environ à la moyenne des efforts de ruptures mesurés, ce qui prouve la justesse et la sûreté de la méthode théorique.

Dans la seconde phase des recherches, les essais faites sur les treillis italiens confirmaient la supposition que le moment négatif appartenant à l'état de rupture n'est pas une sollicitation conduisant à la ruine, mais seulement un moment négatif se manifestant simultanément avec le moment de rupture positif de la poutrelle. Pour la totalité des poutrelles la rupture s'opéra sous l'effet du moment positif et par suite du flambage des éléments comprimés du treillis (étriers sinueux \varnothing 4,2 mm).

Au cours des recherches, nous avons vérifié également les caractéristiques de déformation des poutrelles. A 85% environ de la charge de rupture la flèche moyenne des poutrelles atteint 0,45 cm, à l'encontre de la flèche calculée de 0,35 cm. Bien que par ce fait la sécurité se trouve diminuée de 28%, la flèche mesurée reste quand même sensiblement plus favorable que les valeurs requises dans les règlements de Hongrie.

4.12. Les modèles de plancher. Les panneaux de plancher de 4,2 m de portée furent soumis à l'essai par l'application de 4 forces linéaires, en forme de structures sur deux appuis; la disposition d'essai était analogue pour les modèles de 6,0 m de portée.

La contrainte limite entrant dans les calculs du béton des modèles de 0,22 m et au poids propre de $g = 201,3 \text{ kg/m}^2$ était de $\sigma_{pH} = 132 \text{ kg/cm}^2$; la limite d'élasticité des ronds à béton de la membrure inférieure travaillant à la traction était de $\sigma_t = 3320 \text{ kg/cm}^2$.

Déduction faite du poids propre effectif des modèles de 4,20 m de portée, selon les résultats d'essai, la charge de rupture théorique de la structure (valeur obtenue à partir de l'armature principale du treillis, sans acier de renfort) est de

$$p_t = 222,84 \text{ kg/m}^2.$$

La partie de la charge de rupture moyenne des éléments expérimentaux au dessus de celle pour le poids propre atteint 232 kg/m^2 . L'écart d'environ 4% en tout entre les valeurs théoriques et expérimentales atteste la justesse des hypothèses de calcul théorique.

Les modèles de plancher de 6,0 m de portée au même poids propre étaient faits d'un béton à la résistance à la compression en flexion de $\sigma_{pH} = 141 \text{ kg/cm}^2$ armés d'acier B 60.40 à la limite d'élasticité de $\sigma_{tH} = 4188 \text{ kg/cm}^2$.

Déduction faite du poids propre, la charge de rupture théorique était de

$$p_i = 378 \text{ kg/m}^2,$$

tandis que la charge de rupture effective moyenne des éléments expérimentaux se limitait à 367 kg/m^2 , soit un écart de 3%. La petite différence justifie encore les hypothèses de calcul.

Nous avons renoncé à soumettre à des essais une série de modèles, armés de treillis fabriqués en matériau italien à l'aide de l'installation originale. Nous nous proposons de remplacer cet examen par l'essai de chargement sur chantier du plancher du bâtiment expérimental, réalisé avec des treillis d'importation.

5. Conclusions

Les résultats des essais mécaniques — décrits sous 4. — ont justifié la possibilité d'emploi efficace et économique du plancher avec corps creux en terre cuite, aux parois minces et au grand pourcentage des vides, et avec des treillis en acier soudé, construit par l'auteur et proposé pour la fabrication. La procédure de classement et d'agrément de ce système de construction est en cours.

Les analyses physiques servaient à compléter les propriétés mécaniques connues du plancher en y ajoutant les caractéristiques thermiques et de diffusion. Les valeurs de résistance thermique, calculées et justifiées par des mesures en laboratoire, sont sensiblement supérieures aux caractéristiques des structures en béton armé courantes de Hongrie, et compétitives avec les systèmes de plancher connus de l'étranger (Omnia, Filigran). Même au point de vue de l'inertie thermique, la structure étudiée, épaisse de 0,22 m, n'est pas inférieure aux systèmes actuelles.

Les paramètres du besoin en matériaux de ce type de structure (voir 1.3) sont favorables, puisqu'il pourra être dosé à $18,0 \text{ kg/m}^2$ de ciment, ce qui permettrait de réaliser une économie de ciment de 40 à 45% environ, vis-à-vis des planchers actuels en béton armé. Le pourcentage d'acier spécifique en est de $4,0 \text{ kg/m}^2$ environ, ce qui paraît économique par rapport aux besoins en acier moyens actuels de $A_f = 6,0$ à $8,0 \text{ kg/m}^2$.

Le système étudié prend de l'importance surtout en ce qui concerne la technique de fabrication. La rigidité de torsion des treillis en acier FERT, due à leurs caractéristiques géométriques, ainsi que l'emploi des corps creux en terre cuite conduisent à des poids de $15,0 \text{ kg/m}$ courant environ pour les poutrelles préfabriquées et inférieurs à 1,0 q pour les éléments. Le poids propre guère supérieur à $200,0 \text{ kg/m}^2$ de la structure finie paraît aussi favo-

nable. C'est grâce au grand pourcentage des vides dans les corps creux en terre cuite que le poids propre de la construction se trouve sensiblement réduit. Le poids propre réduit est avantageux au point de vue du transport, de la manutention et du montage des pièces.

Les essais au feu effectués à l'Institut Scientifique de la Construction ont donné des résultats favorables; ce plancher peut donc être utilisé pour les locaux d'habitation, pour les locaux industriels et pour les édifices publics. La première application d'une certaine envergure est déjà en cours dans les bâtiments d'habitation de Budapest nécessitant le remplacement des planchers.

Les paramètres techniques pourraient être améliorés encore par le développement d'un type à l'épaisseur modulaire de 0,19 m.

Les préparatifs de fabrication pilote d'un nouveau type d'entrevous pour la construction de logements sont en cours. Parallèlement à l'étude de la mise en œuvre expérimentale de ce nouveau type d'entrevous, nous avons l'intention d'élucider dans la prochaine phase des recherches la question de la mise en compte des sections à haute résistance des entrevous en terre cuite, à parois minces, dans les zones comprimées des structures travaillant à la flexion. Dans les pays plus expérimentés dans ce domaine, les réglementations des efforts admissibles dans les entrevous en terre cuite des structures de plancher en céramique accusent de notables différences, c'est pourquoi ces recherches paraissent indispensables pour élaborer les cahiers de charge pour ce nouveau système de construction.

Résumé

L'article traite de l'étude des projets d'un plancher à base céramique, fabriqué en utilisant des treillis en acier soudés, de conception italienne, ainsi que des procédés et résultats de recherches, effectués pour introduire ce type de plancher en Hongrie. Les recherches s'étendaient au choix d'un type économique entre les systèmes de treillis utilisés dans les pays de l'Europe, à l'étude théorique et expérimentale des problèmes mécaniques, physiques et de mise en œuvre des entrevous en terre cuite. L'article reproduit les valeurs, calculées et vérifiées par des essais de laboratoires, des caractéristiques mécaniques, thermiques, de diffusion et de besoin en matériau de la structure conçue par l'auteur. Ces caractéristiques servent à motiver la phase prochaine, terminale, des recherches où l'on procédera à l'analyse d'un nouveau type de ce système et de son application dans la pratique de la construction.

Bibliographie

- HENJES, K.: Keramik am Bau. Deutsche Bauzeitschrift, **11**, p. 1919—1934 (1968).
 NEUBARTH, E.: Solai prefabbricati. La Prefabbricazione, **3**, p. 171—183 (1968).
 BELLI, E.: La prefabbricazione dei solai ed il sistema «Fert». La Prefabbricazione, **9**, p. 336—344 (1968).
 SERGE, E.: Metodo di fabbricazione si soletta da ponte mediante cassetta autoportante armata con traliccio elettrosaldato. La Prefabbricazione, **9**, p. 327—335 (1968).
 Consiglio Nazionale delle Ricerche — Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia — Certificato rinnovo: Solai «Fert» Impalcato. Delibera n°: 66. 24 (4) 1969.

Istituto di Ricerche Breda s. p. a. — Esame di un traliccio d'acciaio saldato a resistenza per punti. Rel.: 3532. Milano, 6(III)1967.

LAULETTA, E.—FUMAGALLI, P.—OBERTI, G.: Relazione sulle prove statiche su solai «Fert» della ditta Magnetti di Cisano-Bergamasco ISMES, Pratica: 570, VI/1967.

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment — Agrément des matériaux nouveaux et des procédés non traditionnels de construction. Avis technique sur le système de plancher «Fert» de la S. I. I. Fornaci Magnetti. Cahiers du CSTB. Paris, 109 (1970).

László BRUZSA, chargé de cours, Budapest XI., Műegyetem rkp. 3. Hongrie