

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

Band: 1 (1932)

Artikel: Parois et voûtes minces en béton armé

Autor: Petry, Wilhelm

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-529>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.01.2025

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

herstellen. Die bekanntesten Bauten dieser Art sind die 76,00 m weit gespannten Kuppeln über der Grossmarkthalle in Leipzig mit 0,09 m Schalendicke und die 60,00 m weit gespannte Kuppel über der Grossmarkthalle in Basel mit 0,085 m Schalendicke (Abb. 10).

Infolge der Kuppelwirkung entstehen, ebenso wie bei einer Rotationsschale, Ringkräfte, durch die die Grate biegungsfrei gehalten werden. Zu dieser Kuppelwirkung tritt jedoch noch eine Trägerwirkung hinzu, denn die durch die Grate ausgesteiften zylindrischen Schalengewölbe wirken als grosse Raumträger zwischen den Graten und übertragen die Lasten der Dachfläche nach den Graten und durch diese nach den Ecksäulen. In dieser Vereinigung von Kuppel- und Trägerwirkung liegt der wesentliche Vorteil dieses Kuppelsystems gegenüber den bisherigen Rotationsschalen. Bei grossen Spannweiten kommen doppelt gekrümmte Schalen in Frage. Bei diesen spielen die Biegemomente nur noch eine ganz untergeordnete Rolle; die Dehnungskräfte werden wesentlich geringer und die Knicksicherheit erheblich grösser.

Eine derartige Kuppel mit quadratischem Grundriss (Abb. 11) steht als Modell in Wiesbaden-Biebrich. Die Kugelschale wird auf allen 4 Seiten durch vertikale Binderscheiben begrenzt. Die Binderscheiben wirken mit der Schale zusammen als ein einheitlicher grosser Raumträger, der die gesamten Lasten bei ganz geringen Dehnungsspannungen nach den 4 Eckpunkten abträgt. Die Grundfläche dieser Modellkuppel beträgt $7,30 \times 7,30$ m, die Schalendicke 0,015 m; sie ist am Uebergang zu den Bindern auf 0,025 m verstärkt. Die Schale ist durch ein 3 mm Maschennetz bewehrt, und an den Ecken sind Zulageeisen angeordnet. Bei der Probelastung wurde diese nur 0,015 m starke Kuppel mit 300 kg/m^2 sowohl ganzseitig wie auch halbseitig belastet; ausser dem wurde ein Belastungsversuch mit 50 dicht beieinanderstehenden Menschen durchgeführt. Die Schale blieb dabei vollkommen rissefrei.

Dieses Kuppelsystem ist auch sehr geeignet für die Herstellung von Vieleckskuppeln (Abb. 12). Es lassen sich damit noch wesentlich grössere Säulenabstände erzielen, als mit den vorher genannten Vieleckskuppeln, die aus versteiften Zylinderschalen zusammengesetzt sind. Zusammenfassend kann man sagen, dass im Eisenbetonbau durch die bewusste Ausnutzung des streng genommen meist vorhandenen räumlichen Spannungszustandes im letzten Jahrzehnt gewaltige Fortschritte erzielt worden sind. Es liegt kein Anzeichen dafür vor, dass diese Entwicklung bereits abgeschlossen ist.

Traduction.

Il s'agit ici d'éléments portants spatiaux, dans lesquels les efforts de transmission des charges se manifestent principalement sous forme de contraintes d'allongement, les contraintes de flexion n'intervenant qu'à peine. Ces éléments peuvent être constitués soit par des parois planes, soit par des voûtes minces.

La considération la plus importante, dans les parois planes, est celle des contraintes se manifestant dans le plan de la paroi. C'est ici que se pose le problème de la « paroi portante », c'est-à-dire d'un élément dont la hauteur est considérable par rapport à la portée.

En 1923, le Dr Bleich publiait dans « Bauingenieur » une étude qui contenait

les bases du calcul des poutres continues à parois pleines. Au cours du Congrès de Vienne de 1928, le Dr Craemer a communiqué les résultats d'une étude statique sur une poutre à parois pleines de grande hauteur, cette poutre comportant un nombre infini de panneaux, avec des alternatives de charge sur les différents panneaux.

Au cours de la discussion, le professeur Bortsch a d'ailleurs élevé des objections contre le mode de calcul adopté par le Dr Craemer et contre les résultats ainsi obtenus, étant parvenu lui-même, par ses propres calculs, à des résultats différents.

En 1927, le professeur Dr Kármán et F.R. Seewald reprirent le même problème en faisant intervenir les lignes d'influence. Les contraintes étaient obtenues comme sommes, d'une part des efforts de flexion suivant la loi de la flexion de Navier, et, d'autre part, des efforts résultant de l'introduction des réactions dues aux appuis.

Le Dr Ing. Bay, en 1930-1931, a étudié, à l'aide d'une méthode approchée, le problème non encore résolu d'une paroi rectangulaire se comportant comme une poutre reposant librement entre deux appuis. Il a constaté que dans une paroi reposant librement sur deux appuis, seule, une portion limitée à un carré situé au-dessus de l'arête inférieure de cette paroi intervient pour supporter les contraintes de flexion et de cisaillement.

Si l'on compare le schéma du dispositif d'armature proposé par le Dr Bay pour les parois de silos à plusieurs panneaux (figure 1) avec les dispositions d'armatures adoptées depuis plus de vingt ans pour les parois portantes et les trémies suspendues d'un silo à ciment à Hagondage (figure 2), on peut constater une étroite correspondance. Dans ce dernier cas, le choix judicieux de la disposition a été guidé par un sens naturel exact de la construction. Pour la détermination des armatures, on a calculé comme poutre une partie déterminée de la hauteur de la paroi et on y a introduit également les armatures de suspension des trémies.

On réalise une paroi portante, lorsque l'on assemble suivant leurs arêtes longitudinales deux ou plusieurs éléments plans. Il importe alors d'obtenir une utilisation systématique des capacités portantes de tous les éléments de la paroi, en tenant compte de leur assemblage, c'est-à-dire des actions mutuelles qui interviennent.

La théorie de ces parois portantes a été établie par le Dr Craemer et par l'Ing. Dipl. Ehlers, dans des travaux d'ailleurs indépendants l'un de l'autre et aboutissant à peu près aux mêmes résultats. On y constate toutefois encore certaines divergences de points de vue. Le problème ne peut d'ailleurs pas être résolu en faisant intervenir l'étude théorique seule, basée sur l'hypothèse d'un matériau homogène ; on est obligé de faire appel aux essais pratiques.

Le développement de la construction des silos est nettement mis en évidence par la comparaison des sections de différents ouvrages, d'après la figure 3.

Le silo A a été établi en 1915. Il comporte intérieurement, en vue d'assurer sa rigidité, un système complet de nervures et d'entretoises, et même de longerons destinés eux-mêmes à renforcer les entretoises. Un radier très lourd supporte la charge totale que contient le silo.

Dans le silo B, qui date de 1921, les poutres des radiers ont disparu et sont

remplacées par les parois inclinées des radiers elles-mêmes. Les parois verticales ont été ici calculées indépendamment les unes des autres, sans tenir compte de l'influence que peut exercer leur assemblage avec les parois inclinées des radiers ; ce point est nettement visible aux renforcements que comportent les pieds de ces parois verticales.

Dans le silo C, qui a été construit en 1925, les parties portantes sont uniquement composées des parois latérales verticales et des radiers, l'ensemble ayant été étudié en tenant compte cette fois de la solidarité réciproque des parties qui sont ainsi assemblées. Il n'existe pas de nervures ni d'entretoises.

La figure 4 représente un projet de couverture conçu comme un ensemble de parois portantes sans poutres, par le D^r Craemer, avec portées de 30×24 mètres. A ses extrémités, le système repose sur des murs de béton armé. L'exécution la plus remarquable en Allemagne, dans cet ordre d'idées, est la couverture du bâtiment d'exploitation de la Laiterie de Nuremberg, qui offre une surface libre de 24×24 mètres, avec élargissement partiel à 37×24 mètres (figure 5). Pour couvrir cet espace considérable, on a eu recours à des éléments plans disposés horizontalement et obliquement, assemblés de telle sorte que les charges soient reportées en quelques points seulement.

Si les surfaces des systèmes porteurs spatiaux ne sont plus planes mais courbes, on a affaire à des voûtes minces. Dans son ouvrage « Eisenbetonschale als Raumträger », le D^r Ing. Dischinger a montré que dans les voûtes minces admettant une base circulaire (coupôles de révolution), il était possible de réaliser de grands intervalles entre les colonnes d'appui en faisant travailler simultanément la ceinture et la voûte proprement dite, entre les appuis, comme éléments porteurs spatiaux homogènes. Pour réaliser ce comportement, il est toutefois nécessaire de prévoir un renforcement notable de la voûte elle-même aux retombées.

La figure 6 représente un exemple de coupôle de révolution de 75 mètres de portée, reposant sur 6 colonnes avec un intervalle de 40 mètres entre appuis.

Au cours de ces dernières années et suivant les projets du D^r Dischinger, ont été construites de nombreuses voûtes cylindriques, renforcées transversalement, reposant sur plan rectangulaire, ainsi que des coupôles polygonales, composées d'éléments de voûtes renforcés.

La forme de section la plus généralement adoptée aujourd'hui est celle d'un segment d'arc très surbaissé, avec poutres de bordure à âme haute (figure 7). Le problème très difficile que posent les conditions en bordure a été résolu par le D^r Ing. Finsterwalder et publié dans son ouvrage « Eisenbeton als Gestalter ».

La construction la plus hardie qui ait été réalisée dans le système des voûtes minces est celle du Grand Marché de Budapest (figure 8). Les voûtes élémentaires ou berceaux y accusent une portée de 41 mètres, pour une épaisseur de voûte de 6 centimètres. Un examen de l'intérieur de l'ouvrage permet de se rendre compte exactement de sa conception (figure 9). L'importance de la portée suivant la direction axiale des éléments de voûte est très faible par rapport à la portée réalisée dans la direction perpendiculaire. L'élément de construction ici adopté n'est pas constitué par un fragment de voûte ; mais bien par un segment de cylindre dont les bords sont renforcés.

En assemblant plusieurs voûtes en berceau ainsi constituées et en renforçant leurs arêtes, on peut obtenir des coupoles reposant sur plan rectangulaire ou polygonal. Les exemples les plus connus de réalisations de cet ordre sont les coupoles de 76 mètres de portée du Grand Marché de Leipzig ; l'épaisseur de la voûte est de 9 centimètres ; la coupole du Grand Marché de Bâle a une portée de 60 mètres, avec une épaisseur de voûte de 8,5 centimètres (figure 10).

L'adoption de la disposition en coupole permet de faire intervenir, tout comme lorsqu'il s'agit de coupoles de révolution, des efforts de ceinture ; grâce à ces efforts, on peut éviter de faire travailler les arêtes d'intersection à la flexion. A ce comportement semblable à celui de la coupole, vient également s'ajouter un effet de poutre portante, car les éléments de voûte renforcés aux arêtes interviennent comme des éléments porteurs spatiaux ; il en résulte que les charges sont transmises aux arêtes, et, par l'intermédiaire de ces arêtes, aux colonnes d'angle. C'est précisément dans cette combinaison des modes de comportement en coupole et en poutres portantes que réside tout l'avantage de ce système de coupole, par rapport au dispositif de la coupole de révolution.

Pour les portées les plus importantes, on fait appel aux coupoles à double courbure ; dans cette disposition, les moments fléchissants ne jouent plus qu'un rôle secondaire ; les efforts d'extension sont notablement plus faibles et la sécurité au flambage est considérablement plus élevée.

Une coupole répondant à cette disposition a été installée à titre de modèle, à Wiesbaden-Biebrich (figure 11) ; elle repose sur plan carré ; la coupole de forme sphérique est limitée sur les quatre côtés par des éléments plans verticaux, qui constituent avec elle un système porteur spatial ; les charges se trouvent ainsi intégralement reportées aux quatre angles, avec des efforts d'extension très faibles. La surface couverte par cette coupole-modèle est de $7,30 \times 7,30$ mètres ; l'épaisseur de la voûte est de 1,5 centimètre ; elle est d'ailleurs renforcée à 2,5 centimètres au raccordement avec les éléments plans latéraux. L'armature est constituée par un système maillé de mailles de 3 mm. ; des armatures supplémentaires sont prévues aux angles. Au cours de l'essai de charge, cette coupole qui ne possède, ainsi que nous venons de le voir, qu'une épaisseur de 1,5 centimètre, a pu supporter une charge de 300 kg/m^2 soit sur la moitié de la surface, soit même sur toute la surface ; un autre essai a été effectué avec 50 hommes serrés les uns contre les autres sans qu'aucune fissure ne se produise.

Ce système de coupoles se prête également parfaitement bien à la construction de coupoles polygonales (figure 12). On peut ainsi obtenir encore de beaucoup plus grands intervalles entre colonnes qu'avec la disposition indiquée plus haut pour la constitution des coupoles polygonales constituées par la juxtaposition de voûtes cylindriques renforcées.

Pour résumer, on peut dire que des progrès extrêmement remarquables ont été réalisés, au cours de ces dernières années, grâce à la mise en œuvre systématique des contraintes spatiales ; il n'est d'ailleurs nullement à prévoir que cette évolution doive être dès maintenant considérée comme touchant à sa fin.