

Les voiles cylindriques

Autor(en): **Finsterwalder, U.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-3060>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

IVa 1

Les voiles cylindriques.

Zylindrisches Schalengewölbe.

Cylindrical Shell Structures.

Dr. Ing. U. Finsterwalder,
Berlin.

La construction des toits en voile mince a été doublement influencée au cours de ces dernières années :

- 1° par la connaissance des propriétés plastiques du béton,
- 2° par l'exigence d'exclure autant que possible des éléments tendus les zones de béton soumises à la traction.

Depuis la découverte des toits en voile on a travaillé à obtenir, par une amélioration des connaissances théoriques, une base plus sûre pour ce genre de constructions souvent très hardies. Ainsi que Monsieur le professeur *Dischinger* l'a montré dans son rapport, on est arrivé à définir avec une très grande exactitude l'état de contrainte dans les voiles. Une hypothèse très importante est celle de l'existence d'un matériau de construction élastique dont les propriétés doivent correspondre à celles qui ont servi de base au calcul.

On s'est basé tout d'abord sur les indications des prescriptions officielles d'après lesquelles on devait admettre dans le calcul $E = 210\,000 \text{ kg/cm}^2$. Cette valeur fut contrôlée par des mesures effectuées lors du décoffrage et l'on a constaté que les déformations étaient toujours plus petites que celles que l'on avait calculées. On peut en conclure que l'on a effectivement un module d'élasticité plus élevé et une plus grande sécurité au flambage que ne l'avait indiqué le calcul.

En réalité, on constate que la déformation croît d'une manière très importante avec le temps et souvent même jusqu'à un multiple de sa valeur initiale. Cet accroissement de la déformation ne se produit pas toujours lors du décoffrage de la construction mais en général durant la saison chaude; on peut l'attribuer à l'échauffement produit par le soleil et au dessèchement du béton. En hiver par contre, on ne peut généralement déterminer qu'un mouvement de faible importance. Malgré l'abaissement du module d'élasticité pour la charge permanente, la rigidité vis-à-vis des surcharges accidentelles est très grande. Le module d'élasticité propre est devenu plus grand. Si l'on supprimait de nouveau la charge permanente, la déformation ne se réduirait que d'une façon correspondant à ce module d'élasticité propre tandis que la plus grande partie de la déformation persisterait. La forme initiale a donc subi une modification.

Ce phénomène est d'autant plus important pour les constructions en voile que, dans les ouvrages de grande portée et à parois minces par rapport à la courbure, on peut se trouver à la limite où la forme initiale est fortement modifiée par la déformation. On se trouve ici en présence d'un cas analogue à celui des plaques fortement fléchies. A partir d'un certain rapport de la courbure à l'épaisseur des parois, rapport qui dépend aussi de la grandeur des contraintes de flexion, il est nécessaire de raidir le voile par des nervures, de la même façon que l'on remplace les dalles simples par des dalles à nervures dans les constructions planes.

Les contraintes de flexion dans les voiles cylindriques peuvent être réduites en donnant à la courbure une forme en anse de panier. On obtient ainsi, dans les bords, où se produisent principalement les contraintes de flexion, de faibles rayons de courbure pour lesquels le fléchissement n'a aucune importance. Par contre, la partie centrale avec grand rayon de courbure n'est pas déformée.

Suivant la sollicitation, le voile sera raidi par des nervures disposées dans le sens de la voûte et lorsque les courbures sont très plates par des nervures longitudinales et transversales. La distance des nervures est déterminée par le danger de flambage des parties de voile placées entre les nervures; ces parties ne peuvent ainsi flamber qu'en de courtes ondulations. Comme sur la longueur d'une onde la flèche de la courbure est très petite, il faut renoncer à l'influence favorable de la courbure et calculer la sécurité comme s'il s'agissait d'une surface tendue dans son plan et maintenue sur son pourtour. La hauteur des nervures sera choisie de telle sorte que la déformation lente du béton ne produise aucune déformation dangereuse et que la sécurité au flambage du voile nervuré soit suffisante entre les fermes.

En partant de ces principes on a exécuté, pour des hangars à avions, des voûtes à courbure très plate dont les portées étaient de 60 m dans le sens de la poutre et de 45 m dans le sens de la voûte. La fig. 1 représente une de ces voûtes de forme tout-à-fait caractéristique; c'est la solution la plus simple possible du problème posé. Un rectangle comprenant un hangar, des bureaux et des ateliers doit être couvert d'une façon aussi plate que possible tout en conservant une ouverture de 50 m du côté du terrain d'atterrissage. Contrairement à la disposition usuelle, la voûte est perpendiculaire à la porte; le voile a donc son moment d'inertie le plus grand dans le sens de l'ouverture. Vers l'arrière, le voile s'abaisse jusqu'à la hauteur des constructions adjacentes et il repose sur une série de montants articulés très minces. La voûte ne transmet donc aucune force horizontale au bâtiment adjacent. Toute la poussée horizontale de la voûte est supportée par les parois latérales et par la ferme médiane, c'est pourquoi la voûte est renforcée près des parois latérales; ce renforcement sert de membrure de traction et repose sur les colonnes de la poutre réticulée. La ferme médiane est un cadre à deux articulations avec tirant précontraint placé dans le sol. La largeur de sa surcharge est égale à la portée d'un champ, c'est-à-dire 50 m dans notre cas. Cette ferme est double afin de donner au voile une faculté d'allongement. La voûte est raidie par de minces nervures distantes de 3,60 m. Ces nervures servent aussi à transmettre à la voûte les charges concentrées des ponts-roulants. La force des nervures dépend de la grandeur de la charge utile, qui atteint 35 t dans certains hangars actuels.

Le calcul des contraintes engendrées par les charges concentrées se fait d'après la théorie exacte des voiles, à l'aide des séries de Fourier. Lorsque l'ouvrage est terminé on peut contrôler les résultats du calcul par des mesures de la déformation.

La résistance des voiles aux charges concentrées est étonnamment grande. On peut l'expliquer par le fait que la flexion des nervures répartit la charge sur une grande largeur de telle sorte que le voile peut transmettre cette charge aux fermes avec un bras de levier favorable des forces intérieures. La charge engendre de la compression dans toutes les directions, ce qui compense largement les contraintes de traction dues à la flexion.

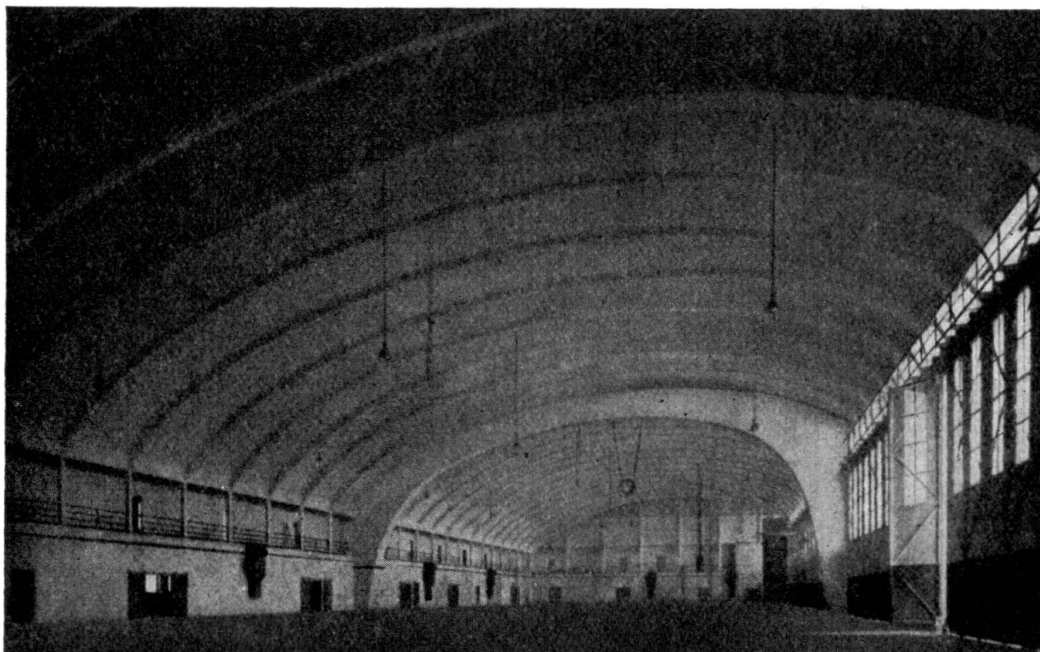


Fig. 1.

Hangar à avions d'une surface de 35×100 m.

On a étudié aussi l'influence de la déformation lente sur la construction. Comme les bords fortement armés sont moins influencés par la déformation lente que les autres parties du voile, il se produit de fortes modifications dans l'allure des contraintes. On peut les déterminer avec une bonne approximation en répétant le calcul une deuxième fois mais avec un module d'élasticité réduit à $100\,000$ kg/cm². On a constaté, aussi bien dans le calcul qu'en réalité, que la clé de la voûte s'abaisse avec le temps plus fortement que la poutre d'extrémité qui reste à peu près à la même hauteur.

La construction de la poutre frontale surmontant la porte est un problème aussi difficile qu'intéressant. Premièrement tout l'éclairage du hangar doit se faire par la poutre frontale car la lumière arrivant d'en haut engendre un éclairage très régulier du local. Secondement cette poutre frontale doit supporter, en plus de sa charge verticale comme élément de traction du voile, une force de traction d'environ 1000 t qui croît paraboliquement des appuis vers le milieu.

Au sujet de l'éclairage on a acquis dans la construction de ces hangars une expérience utile en ce sens que l'on a réussi à obtenir, avec une surface vitrée beaucoup plus faible, le même éclairage qu'avec les verrières usuelles, placées sur tout le pourtour du local. Une première raison en est la réduction de l'éblouissement et une seconde raison en est les grandes surfaces claires de la voûte qui, pour autant qu'elles se trouvent plus bas que les verrières, reçoivent directement la lumière et la renvoient dans les parties arrières du hangar.

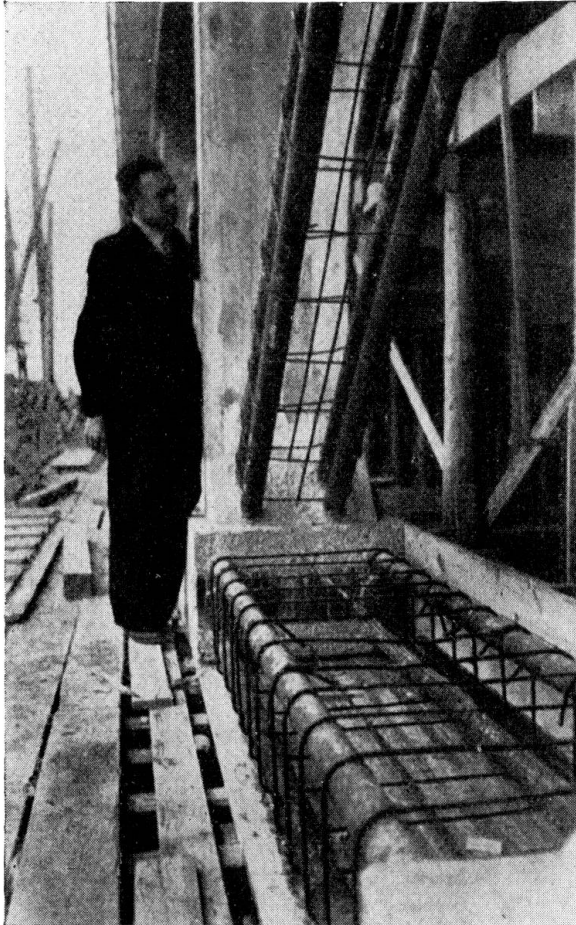


Fig. 2.

Poutre réticulée surmontant la porte après le décoffrage.

L'éclairage est si bon que pour une surface vitrée de 12 % et une profondeur du hangar de 45 m on a pu exécuter des travaux de mécanique de précision avec les portes fermées.

La poutre frontale est très intéressante car c'est une poutre réticulée en béton armé d'un type de construction spécial. A l'étranger on a souvent exécuté des poutres réticulées de béton armé en négligeant, comme c'est l'usage dans la construction métallique, les contraintes secondaires de la poutre. En Allemagne il est impossible d'exécuter de telles constructions car il faut tenir compte des contraintes secondaires dans le calcul des contraintes qui ne doivent pas dépasser les sollicitations admissibles. D'autre part l'ancrage des fers dans les zones tendues n'est pas admis. Pour s'en tenir à ces prescriptions sévères on n'a bétonné les barres tendues de la poutre réticulée qu'après le décoffrage. Comme les barres tendues sont des faisceaux de fers ronds, elles pouvaient très facilement supporter toutes les déformations angulaires exigées. Ce procédé permettait

de réduire fortement les contraintes secondaires ainsi que les contraintes de traction dans le béton quoique l'on ait utilisé pour les éléments tendus de l'acier à haute résistance sollicité à 2100 kg/cm². La poutre réticulée est un système avec diagonales tendues et montants comprimés qui se prolongent harmonieusement dans les nervures raidisseuses du voile. Ils doivent en outre transmettre dans la voûte les pressions du vent agissant sur la surface de la porte. Les barres tendues ont un petit nombre de gros fers ronds qui sont ancrés au moyen de boulons et de plaques dans les goussets de béton. Dans chaque gousset on a ancré tous les fers de la diagonale. La force opposée de la membrure inférieure est aussi transmise à travers le gousset pour être ancrée du côté opposé. De cette façon le gousset est fortement comprimé et capable de répartir les efforts dans

les barres. Dans l'ancrage des forces, on attribue la force de la mince diagonale à la partie interne et la force de la large membrure inférieure à la partie extérieure du gousset. La mise en place du ferrailage est ainsi rendue très facile. Afin d'éviter toute excentricité défavorable on a placé des plaques métalliques de montage ce qui assure une grande précision dans l'exécution. Pour cette raison les montants peuvent être très élancés car les contraintes secondaires n'engendrent aucune contrainte de traction par flexion.

La poutre réticulée rend possible l'utilisation des aciers à haute résistance et permet une économie de poids appréciable, tout en augmentant la rigidité dans toutes les directions. L'emploi des poutres réticulées permettra d'agrandir fortement les portées des constructions en voile.

Parmi le grand nombre de toits en voile réalisés au cours de ces dernières années, j'ai choisi cet exemple car il est le prototype du voile cylindrique très développé en Allemagne. L'augmentation de la portée des ouvrages et des difficultés d'exécution nous obligent à approfondir nos connaissances théoriques, nos méthodes de travail et l'étude du matériau de construction. En ce qui concerne l'étude du matériau, nous avons reçu de l'étranger des directives très intéressantes. Nous espérons que cette collaboration est réciproque et qu'elle contribuera au perfectionnement de la science de l'Ingénieur.