

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

Band: 6 (1960)

Artikel: Ausstellungspavillon: Stahlkonstruktion der Gitterschale der
Dachkuppel

Autor: Lederer, Ferdinand

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-7084>

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: 08.01.2026

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

VI9

Ausstellungspavillon: Stahlkonstruktion der Gitterschale der Dachkuppel

Exhibition Pavillon: Steel Structure of the Lattice Shell for the Domed Roof

*Pavillon d'exposition: Ossature métallique de la coque à treillis formant la coupole
de toiture*

FERDINAND LEDERER

Prof. Ing. Dr., Brno (CSR)

Für die Brno-Messe wurden auf dem Messegelände in Brno in der Tschechoslowakei mehrere Pavillons aufgestellt. Bei dreien von diesen wurde eine neue Art von Kuppelkonstruktion angewendet, und zwar eine Kugelschale, deren Tragfläche als ein Gitter aus Stahlrohren ausgebildet ist. Bei den drei Ausführungen kamen die kreisförmigen Grundrisse von 24 m und 93,5 m Durchmesser und ein quadratischer Grundriß mit der Seitenlänge von 36,9 m zur Anwendung.

Der Verfasser dieses Artikels hat dieses System entworfen und seine statische Berechnung nach der Membrantheorie der Rotationsschalen entwickelt. Dabei wurde auch die Stabilität gegen Beulung in örtlicher Hinsicht wie auch für die Gitterschale als Ganzes sowie die Stabilität gegen Ausknicken einzelner Stäbe des Gitters in Rechnung genommen. Außerdem wurden auch die Randstörungen des Membranzustandes berücksichtigt. Es ist nicht notwendig, die Rechnungsformeln für die Bestimmung der inneren Kräfte zur drehsymmetrischen Belastung durch Eigengewicht, Schneelast und Ringlast auf dem Laternenringe hier anzuführen; diese können zum Beispiel im Buche «Flächentragwerke» von K. GIRKMANN nachgelesen werden. Es war nur notwendig, die Formeln für die Lösung der antimetrisch wirkenden Windlast auch für eine Kugelfläche mit Laternenöffnung zu ergänzen. Diese Gleichungen lauten:

$$N_{\varphi} = -\frac{v a \cos \vartheta \cos \varphi}{\sin^3 \varphi} [(\cos \varphi_0 - \cos \varphi) - \frac{1}{3} (\cos^3 \varphi_0 - \cos^3 \varphi)],$$

$$N_{\vartheta} = -\frac{v a \cos \vartheta}{\sin^3 \varphi} [(\cos \varphi_0 - \cos \varphi) \cos \varphi - \frac{1}{3} (\cos^3 \varphi_0 - \cos^3 \varphi) \cos \varphi - \sin^4 \varphi],$$

$$N_{\vartheta \varphi} = -\frac{v a \sin \vartheta}{\sin^3 \varphi} [(\cos \varphi_0 - \cos \varphi) - \frac{1}{3} (\cos^3 \varphi_0 - \cos^3 \varphi)],$$

wobei N_{φ} die Meridiankraft, N die Parallelkreiskraft, $N_{\vartheta \varphi}$ die Schubkraft, $2\varphi_0$ den Zenterwinkel des Laternenkreises, ϑ die waagrechte und φ die senkrechte Winkelkoordinate eines Punktes der Schalenmittelfläche, a den Kugelradius und v den spezifischen Winddruck und Sog auf eine senkrechte Ebene bedeuten.

Aus diesen verteilten Schnittkräften können diejenigen Kräfte, die auf einen Knotenpunkt entfallen, bestimmt werden. Um die statisch unbestimmte Aufgabe der Verteilung der inneren Kräfte auf die einzelnen Stäbe zu umgehen, weisen wir die Ringkraft N_{ϑ} direkt den waagrechten Parallelringen zu, und aus den Meridian- und Schubkräften N_{φ} und $N_{\vartheta \varphi}$ bestimmen wir die Hauptkräfte nach der bekannten Beziehung

$$N_{1,2} = \frac{N_{\varphi}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{4 N_{\vartheta \varphi}^2 + N_{\varphi}^2}.$$

Die Zerlegung der Resultierenden v der Hauptkräfte N_1 und N_2 kann man auch graphisch ausführen, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist.

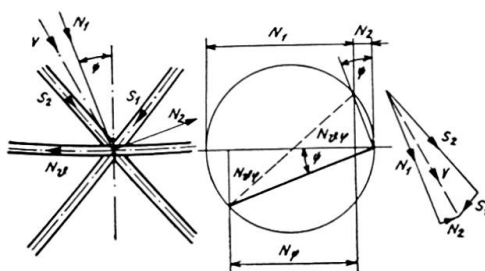


Fig. 1.

Für die Beurteilung der Stabilität der Schalenfläche als Ganzes kann man für die kritische Last der Mittelfläche

$$P_k = 4,12 E \left(\frac{\delta}{a} \right)^2$$

annehmen¹⁾ und für die örtliche Beulung als ein Durchschlagsproblem aus der quadratischen Stabilitätstheorie findet man den Wert²⁾:

$$P'_k = 0,365 E \left(\frac{\delta}{a} \right)^2.$$

¹⁾ V. KOLÁŘ: Stabilita rotačních skořepinových kleneb (Die Stabilität der Rotationschalengewölbe), in Sborník vysoké školy technické v Brně (Sammelschrift der T. H. in Brno), 1951.

²⁾ K. GIRKMANN: Flächentragwerke (Wien 1956): aus Zitierung der fremden Literatur dieses Bereiches.

Nach der ersten Formel bekam man in unserem Falle der Kuppel mit einer Spannweite von 93,5 m einen Sicherheitsfaktor von 20, aus der zweiten Formel ergibt sich eine Sicherheit von nur 1,78, die aber noch gut ausreicht.

Die Biegungsrandstörung kann man hier näherungsweise sehr einfach erfassen. Die Dehnung des Fußringes unter der Wirkung des Axialzuges S_a ergibt sich zu

$$\Delta s_a = \frac{S_a s_a}{F_a E},$$

was eine Vergrößerung des Radius um

$$\Delta r_a = \frac{\Delta s_a}{2 \pi}$$

zur Folge hat. Ähnlich verkürzt sich der erste Parallelkreis unter der Wirkung des Axialdruckes S_1 um

$$\Delta s_1 = \frac{S_1 s_1}{F_1 E}$$

und die Verminderung seines Radius ist

$$\Delta r = \frac{\Delta S_1}{2 \pi}$$

Die Länge der Lotrechten zur Meridiansehne, welche von diesen Verschiebungen abgeleitet wird (Fig. 2), beträgt:

$$k = k_a + k_1 = (\Delta r_a + \Delta r_1) \cos (90 - \alpha).$$

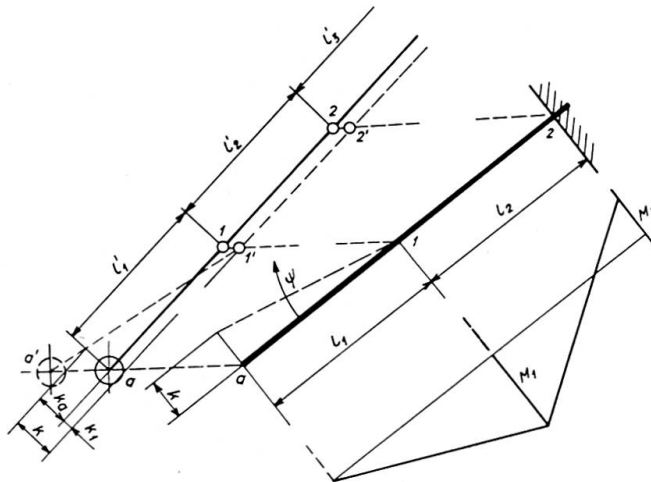


Fig. 2.

Mit Hilfe dieser Lotrechten stellen wir den Stabdrehwinkel im ersten Feld fest. Es ist dann

$$\psi_1 = \operatorname{tg} \psi_1 = \frac{k}{l_1}.$$

Die Stabdrehwinkel in weiteren Feldern sind ohne Bedeutung. Es ist dann

ersichtlich, daß wir für die Diagonalstäbe die Biegemomente aus dem Stabdrehwinkel ψ_1 einfach bestimmen können. Wenn wir nur zwei Felder in Betracht ziehen, sind ihre Werte

$$M_{a1} = 0, \quad M_{1a} = -\frac{12 EJ}{l_1} \frac{k}{4l_1 + 3l_2},$$

$$M_{12} = +\frac{12 EJ}{l_1} \frac{1}{4l_1 + 3l_2}, \quad M_{21} = +\frac{6 EJ}{l_1} \frac{k}{4l_1 + 3l_2}.$$

Wie allgemein bekannt ist, klingen die Biegemomente in weiteren Feldern der Diagonalen sehr rasch ab.

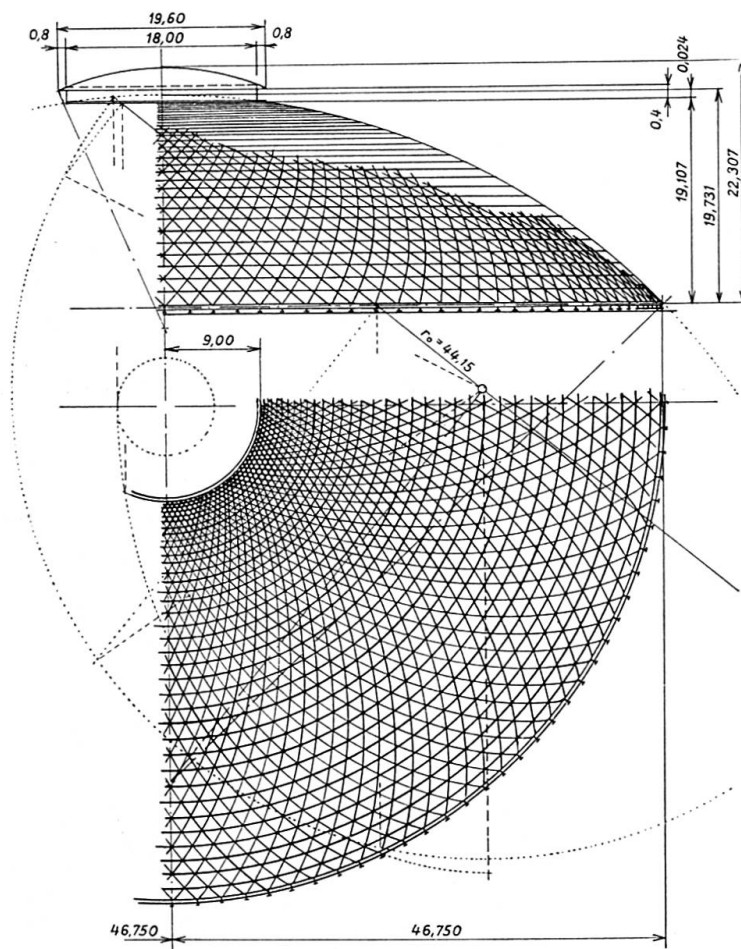


Fig. 3.

Die Schalenfläche ist also nicht vollwandig, sondern als Gitterwerk ausgebildet (Fig. 3). Das Gitter wird aus Stahlrohrstäben gebildet, welche durchlaufend in der Form der Kreislinien in drei Schichten von dem Laternenring bis zum Fußring laufen. Auf diese Weise bekam man ein Dreiecknetz, welches die Innenkräfte beliebiger Richtung in der Mittelfläche der Schale zu übertragen fähig ist. Die drei Stabschichten kreuzen sich in Knotenpunkten, wo sie mittels Schraubenbügel verbunden sind.

Die Herstellung der Gitterschale wurde zum größten Teil mit Hilfe eines einfachen Gerüsts auf dem Boden verwirklicht. Dieser Teil mit einem Durchmesser von 72 m wurde dann in die Sollage von 40 m mit einem Mittelpfeiler hochgezogen (Fig. 4). Der Rest der Gitterschale wurde dann bis zum Fußring ergänzt, welcher vorher auf dem Dache des Pavillons vorbereitet worden war. Jeder der 128 Knotenpunkte auf dem Fußring ist durch ein nur Tangentialkräfte übernehmendes Lager gestützt, so daß auch die Windwirkung direkt auf den Eisenbetonunterbau übertragen wird. Die Herstellung und Montage wurden von der Königsfelder Maschinenfabrik, V.E.B. in Brno-Královo Pole durchgeführt. Bei der Trennung der Kuppel vom Montagepylon betrug die gemessene Senkung des Laternenringes nur 4 mm.

Das freie Gitterwerk wirkt von innen außerordentlich leicht (Fig. 5). Der größte Teil der Dachhaut wurde aus Aluminiumblech gefertigt, während im

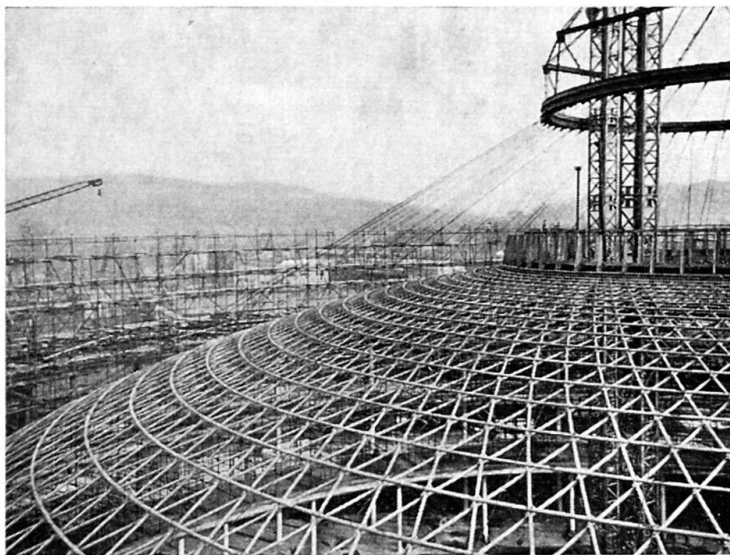


Fig. 4. Hochziehen des fertigen Teiles der Gitterschale.

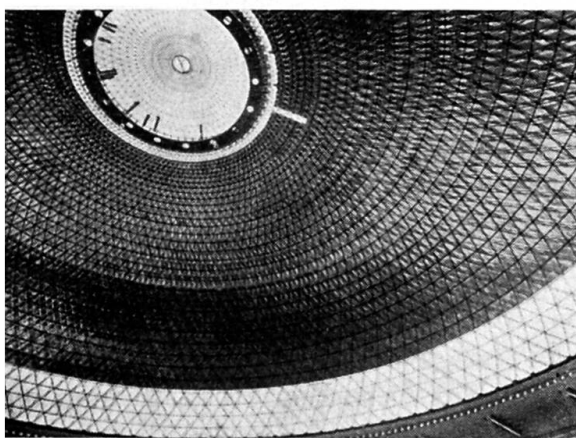


Fig. 5. Blick in die Kuppel nach deren Beziehen mit Dachhaut.

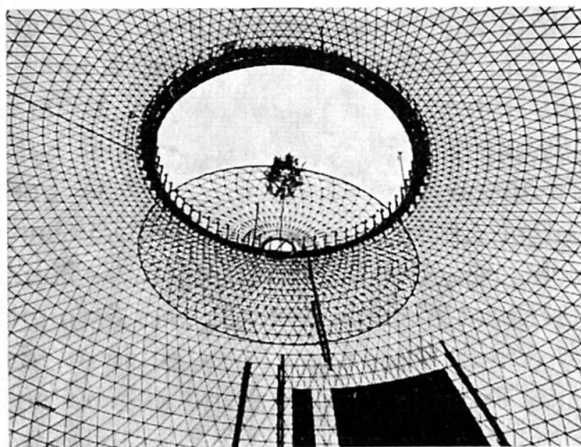


Fig. 6. Hochziehen der Laternenkuppel des größten Pavillons.

unteren Streifen Drahtglas eingesetzt wurde (Fig. 5). Die Laterne mit einem Durchmesser von 18 m wurde mit einer kleinen, ziemlich flachen Gitterschale überdeckt, welche mit einer Kunststoffolie überzogen wurde (Fig. 6). Fig. 7 zeigt die Gesamtansicht des größten Pavillons.

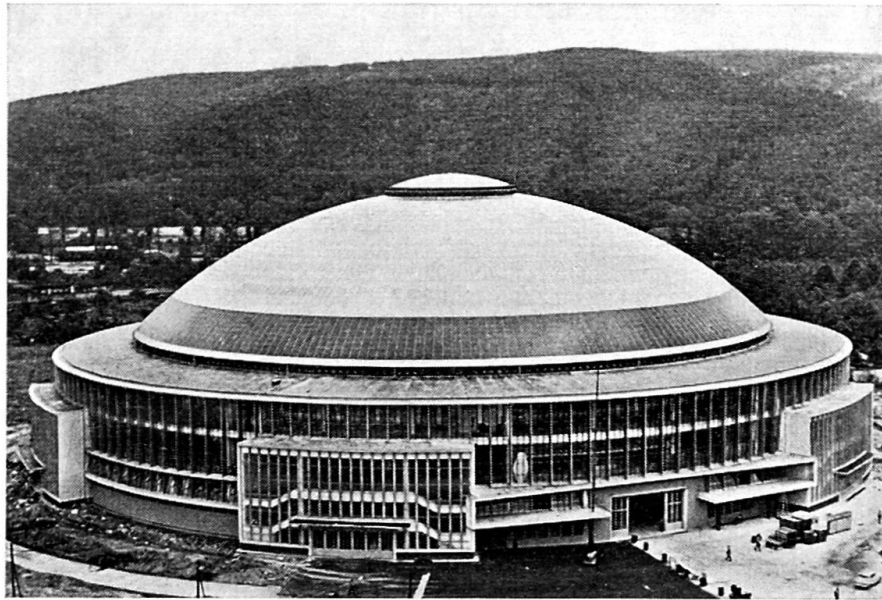


Fig. 7. Der fertige Pavillon «Z», Gesamtansicht.

Das gesamte Gewicht des Stahlmaterials der Schale des großen Pavillons beträgt 220 t, das sind 33 kg/m^2 des Grundrisses der Kuppel; das Gitter allein wiegt 20 kg/m^2 der Mittelfläche der Gitterschale.

Zusammenfassung

Beim Bau des Messegeländes in Brno wurden mehrere Pavillons ausgeführt, von denen der Pavillon Z der größte ist.

Der Innenraum der kreiszylinderförmigen Eisenbetonkonstruktion wurde mit einer Rotationskuppel in Form eines Kugelabschnittes mit Laternenöffnung überdeckt. Diese Kuppel hat eine Spannweite von 93,5 m und eine Pfeilhöhe von 19,731 m. Für die Berechnung wurde die Kuppel als Schale aufgefaßt und nach der Membrantheorie der Rotationsschalen unter Berücksichtigung der Randstörungen des Membranzustandes untersucht. Die Schalensfläche ist nicht vollwandig, sondern gitterförmig zusammengesetzt. Das Gitter wird aus Stahlrohrstäben gebildet, die in drei Schichten vom Laternenring zum Fußring durchlaufend angeordnet sind. Auf diese Weise bekam man ein Dreiecksnetz, welches die Schnittkräfte beliebiger Richtung in der Mittelfläche der Schale übertragen kann. In den Knotenpunkten, wo sich die drei Stabschichten kreuzen, werden die Stäbe mittels Schraubenbügel verbunden.

Die Montage ist mit Hilfe eines zentralen Pylons und eines einfachen Gerüsts durchgeführt worden.

Das gesamte Gewicht des verwendeten Stahlmaterials beträgt 220 t, beziehungsweise 33 kg/m² Grundrißfläche der Kuppel. Das Gitter allein wiegt, bezogen auf die Schalen-Mittelfläche, 20 kg/m².

Summary

For the organisation of the Brno Fair several pavillons were constructed, the largest of which is the Z pavillon.

The interior of the reinforced concrete structure, consisting of a circular cylinder, was covered with a dome of revolution having the shape of a segment of a sphere and provided with a central lantern light. The dome has a span of 93.5 m and a rise of 19.731 m. For purposes of calculation, the dome was regarded as a shell and calculated according to the theory of membranes for shells of revolution taking into account the marginal disturbances of the membrane state. The surface of the shell is not a web, but consists of a lattice assembly. The lattice is formed of continuous steel tubes which are arranged in three layers from the lantern-light ring to the outer ring. In this manner, a network of triangles is obtained which is able to transmit in the median layer of the shell the forces from any direction.

At the connecting points where the three layers of tubes intersect, the bars assembled by means of bolted stirrup clamps.

The erection was effected by means of a central pylon and simple scaffolding.

The total weight of steel employed is 220 tons, that is to say 33 kg/m² of the area covered by the dome; the lattice alone weighs 20 kg/m² of the median area of the shell.

Résumé

Sur l'emplacement réservé à la foire de Brno, plusieurs pavillons ont été construits, parmi lesquels le pavillon Z qui est le plus grand.

La construction en béton armé, de forme circulaire, a été recouverte d'une coupole constituée par une calotte sphérique et munie d'un lanterneau central. Cette coupole a une portée de 93,5 m et une flèche de 19,731 m. Pour le calcul, la coupole a été assimilée à un voile mince et calculée d'après la théorie des voiles de rotation, en tenant compte des perturbations marginales de l'état de membrane. La surface de la coupole n'est pas pleine, mais est formée d'un treillis. Ce treillis est composé de tubes métalliques disposés en trois couches et continus de l'anneau de lanterneau jusqu'à l'anneau de base. On a obtenu de cette façon un réseau triangulé qui peut transmettre dans la surface médiane

de la coupole des efforts de directions quelconques. Dans les nœuds, où les trois couches de tubes se croisent, les barres sont assemblées par des étriers boulonnés. Le montage a été exécuté à l'aide d'un pylône central et d'un échafaudage simple.

Le poids total de l'acier utilisé est de 220 t, c'est-à-dire de 33 kg/m² de la surface couverte. Le treillis à lui seul pèse 20 kg/m² de la surface médiane de la coupole.