

Zeitschrift: Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : internationale Zeitschrift

Band: 24 (1970)

Heft: 4: Konstruktionssysteme = Systèmes de construction = Systems of constructions

Artikel: Hangar für Jumbo-Jets = Hangar pour Jumbo-Jets = Hangar for Jumbo Jets

Autor: Makowski, Z.S. / Robak, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-347795>

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

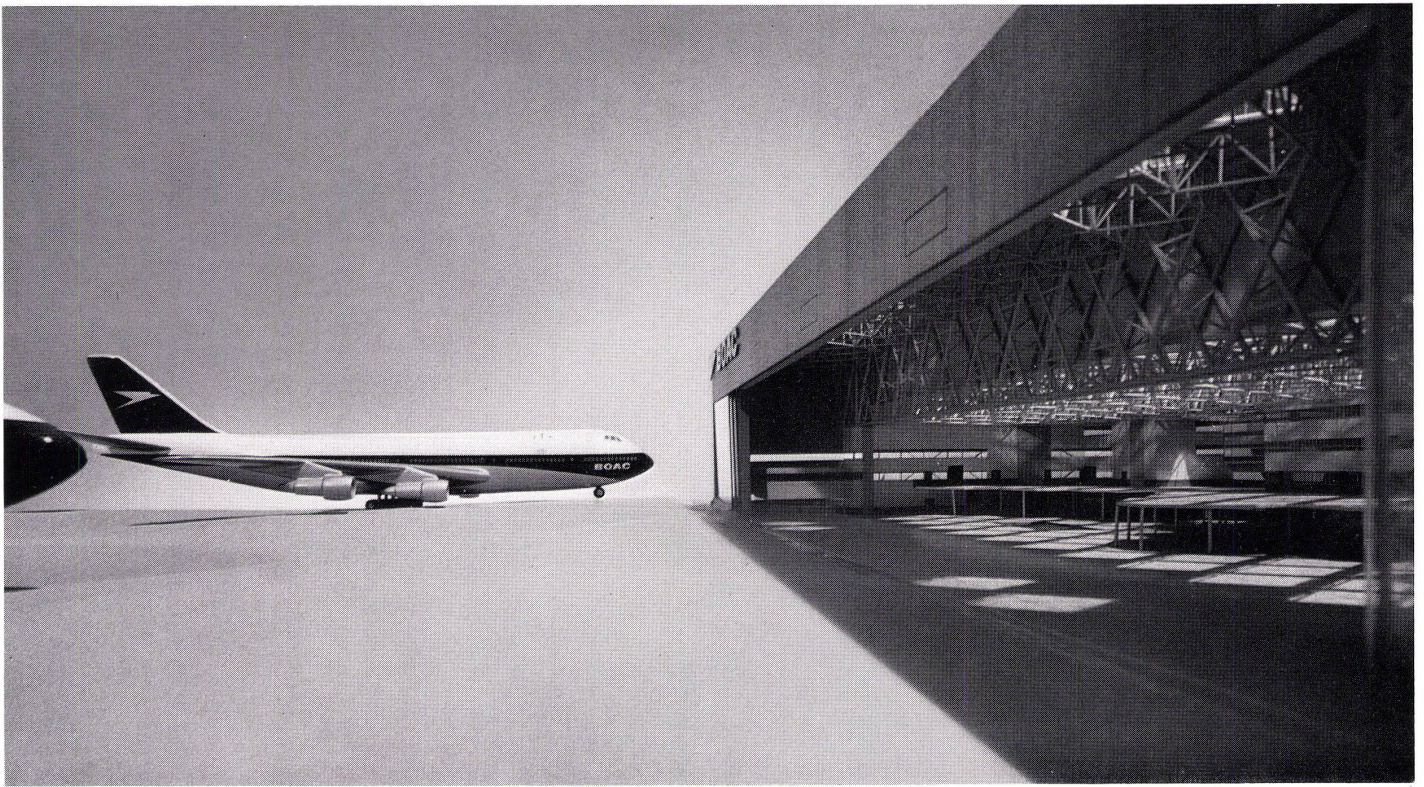
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

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: 18.10.2024

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



Hangar für Jumbo-Jets

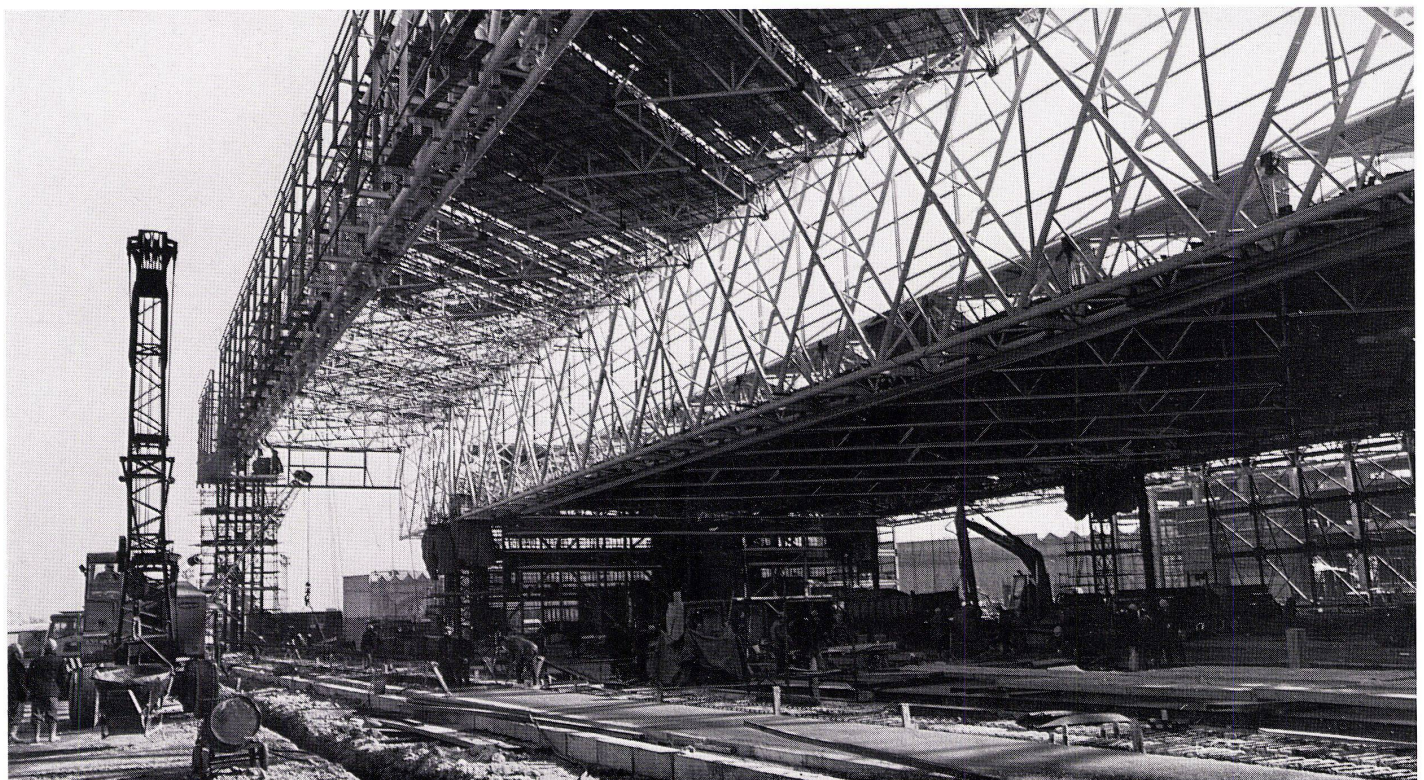
Hangar pour Jumbo-Jets
Hangar for Jumbo Jets

Norman Royce, Topping, Hurley & Stewart
Z. S. Makowski & Associates, London

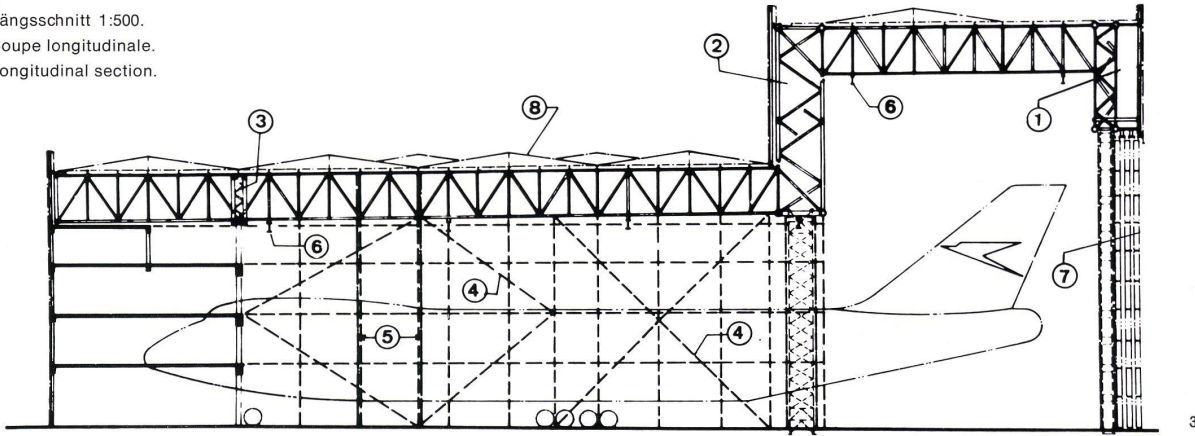
BOAC-Hangar, Flughafen Heathrow

1
Modellansicht / Vue de la maquette / View of model

2
Rohbauaufnahme / Vue du gros œuvre / View of rough
construction



3
 Längsschnitt 1:500.
 Coupe longitudinale.
 Longitudinal section.



- 1 Längsträger 1 / Poutre longitudinale 1 / Longitudinal beam 1
- 2 Längsträger 2 / Poutre longitudinale 2 / Longitudinal beam 2
- 3 Längsträger 3 / Poutre longitudinale 3 / Longitudinal beam 3
- 4 Wandaussteifung / Raidisseur de cloison / Wall reinforcement
- 5 Leitmauer / Mur de guidage / Guide wall
- 6 Kranbahn / Rail de roulement / Crane track
- 7 Bewegliche Tore / Portes mobiles / Movable doors
- 8 Oberlichter / Lanterneaux / Skylights

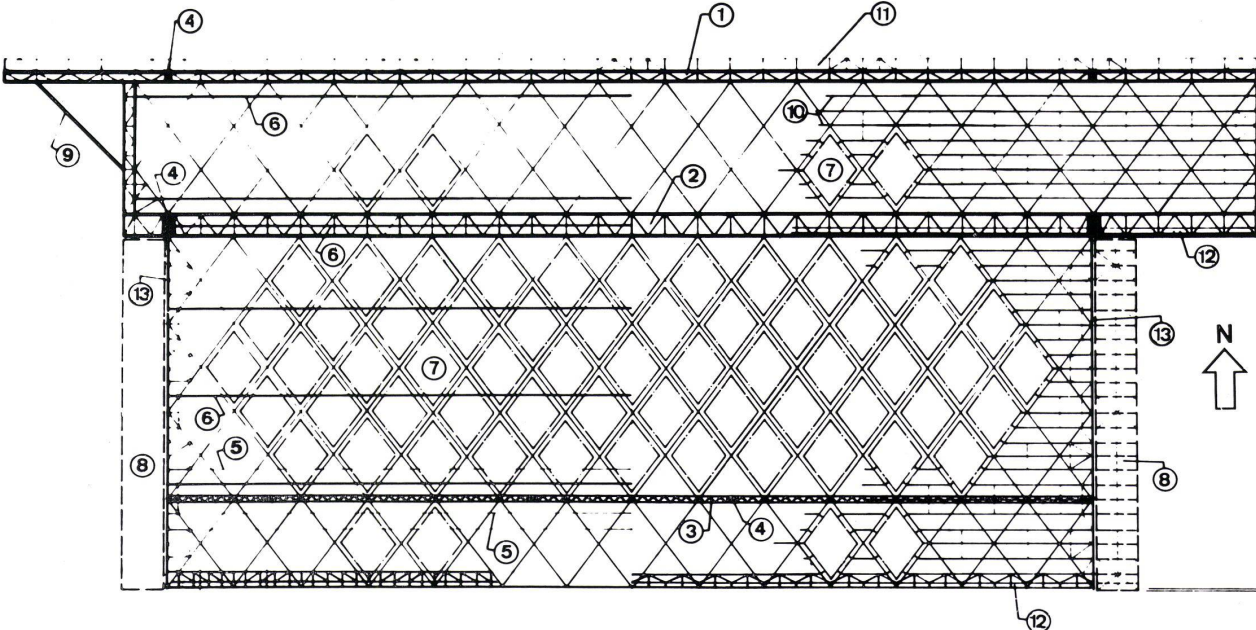
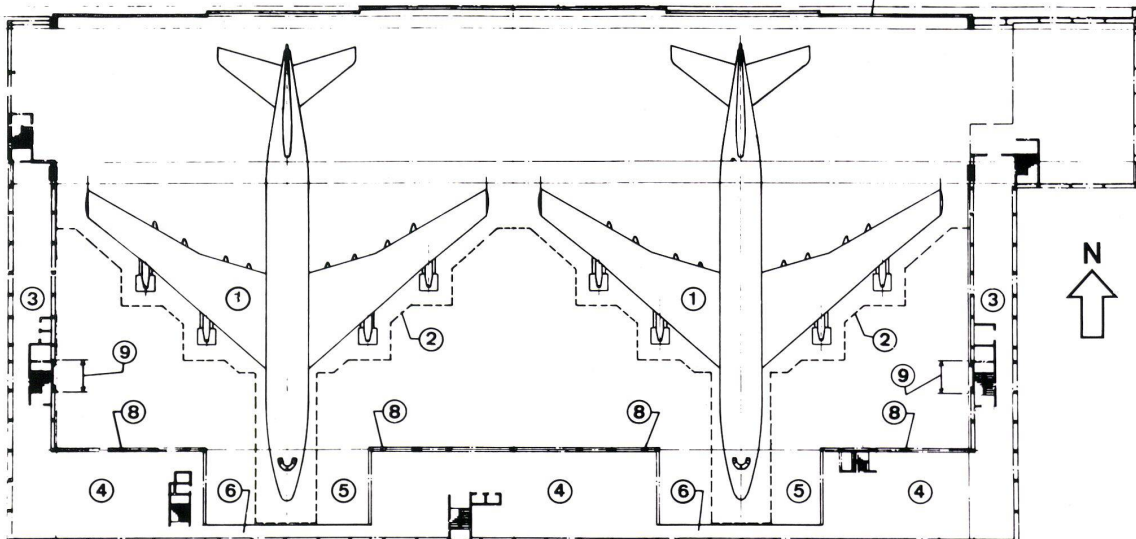
- 5 Raum für die Flugzeugspitze / Local pour les nez d'appareils / Area for airplane noses
- 6 Zugang / Accès / Access
- 7 Tore / Portes / Doors
- 8 Hebeanlage / Dispositif élévateur / Hoist
- 9 Leitmauer / Mur de guidage / Guide wall

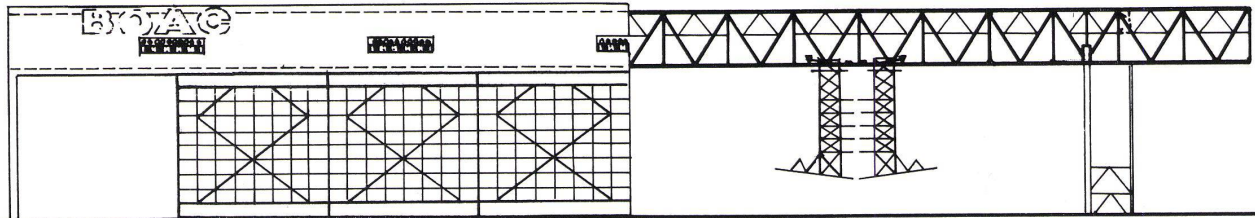
- 5 Stabilisierungsstücke der unteren Rippen / Pièces de stabilisation de la membrure inférieure / Stabilising ties to bottom chords
- 6 Kranbahn / Rail de roulement / Crane track
- 7 Oberlicht / Lanterneaux / Skylights
- 8 Nebengebäude / Bâtiment annexe / Annex
- 9 Wandaussteifung für überkragenden Fronträger / Raidisseur pour poutre frontale en porte-à-faux / Wall reinforcement for projecting front beam
- 10 Pfettendach / Panne de toiture / Roof purlines
- 11 Torüberdeckung / Couverture de la porte / Doorway coping
- 12 Laufrinnen / Chéneaux continus / Gutters
- 13 Dehnungsfuge / Joint de dilatation / Expansion joint

5
 Aufsicht auf die Dachkonstruktion 1:1000.
 Vue de dessus du squelette constructif de la toiture.
 Top view of roof construction.

- 1 Längsträger 1 / Poutre longitudinale 1 / Longitudinal beam 1
- 2 Längsträger 2 / Poutre longitudinale 2 / Longitudinal beam 2
- 3 Längsträger 3 / Poutre longitudinale 3 / Longitudinal beam 3
- 4 Stütze / Poteau / Support

4
 Grundriß 1:1000 / Plan.
 1 Boeing 747
 2 Mezzaningeschoß / Mezzanine
 3, 4 Nebenräume / Locaux annexes / Utility rooms





6

Beschreibung der Konstruktion

Das Raumfachwerkdach aus Stahlröhren, der größte diagonale Stahlraster der Welt, bildet das Hauptmerkmal des Hangars im Flughafen London. Bei einer Spannweite von 137,07 m können in diesem neuen Hangar zwei 747-Boeing-Düsenflugzeuge nebeneinander untergebracht werden. Der Hangar beansprucht eine Fläche von etwa 1,42 ha. Das Gebäude, das eine Breite von etwa 170,68 m und eine Höhe von 83,82 m aufweist, umfaßt den Hangar mit den Nebengebäuden wie Werkstätten, Läden, Cafeterias und Büroräumen.

Die Form des Hangars ergab sich aus den Dimensionen der Flugzeuge und den Bedürfnissen der BOAC. Der Bau der Dachkonstruktion erlaubt noch eine Aufstockung und eine seitliche Verlängerung des Hangars, wenn im Laufe der Zeit noch größere Flugzeuge zum Einsatz kommen.

Um die Wirtschaftlichkeit der Konstruktion zu untersuchen, hat sich der beratende Bauingenieur zuerst eingehend mit verschiedenen Bausystemen beschäftigt. Es wurden zehn verschiedene Systeme miteinander verglichen.

Die Vorstudien zeigten deutlich, daß bei großen Spannweiten die Durchbiegung problematisch ist, besonders, da das Dach beinahe 600 Tonnen mechanischer Vorrichtungen zu tragen hat, von denen 290 Tonnen beweglich sind. Miteingerechnet sind die fahrenden Krane und die vier sechsstöckigen Heckplattformen, die der Wartung des Hecks und des Leitwerks dienen.

Der Vergleich der verschiedenen Lösungsversuche zeigte, daß Raumfachwerke leistungsfähiger sind als konventionellere Systeme. Sie zeichnen sich durch große Festigkeit aus. Die Art der gegenseitigen Verstrebung gibt auch bei lokalisiertem Feuerschaden nicht nach, so daß die Stabilität des ganzen Baus nicht gefährdet wird. Auch gewährt ein solches System größere Freiheit in der Montage von Kranenbahnen – eine Einsicht, die sich ergab, als man die Wirtschaftlichkeit der Bauart untersuchte.

Ein ausführlicher Vergleich der Kosten der verschiedenen Systeme zeigte, daß Raumtragwerke nicht die billigste Lösung sind. Doch wird der an sich kleine Unterschied durch die wichtigen Vorteile einer solchen Bauweise noch weiter hinuntergesetzt. Sie vermag jede konzentrierte Belastung abzulernen. Die hohen Spannungen in den direkt belastenden Gliedern werden so hinuntergesetzt, während die Spannungen in den entfernteren Gliedern des Rasters zunehmen, so daß eine ziemlich gleichmäßige Spannungsverteilung über den ganzen Bau erreicht wird. Vorfabrikierung und Standardisierung der Bauteile, aus denen Raumfachwerke zusammengesetzt sind, vereinfachen

und beschleunigen die Montage auf der Baustelle.

Obwohl Raumtragwerke mit gewöhnlichen gewalzten Stahlelementen gebaut werden können, erwies sich der Gebrauch von hohlen Einheiten als vorteilhaft, was sich im günstigen Verhältnis von Belastung und Gewicht, in der erstaunlichen Einfachheit der Zusammenfügung und der hohen Verdrehungsfestigkeit der Röhrenbestandteile zeigte.

Das Projekt, das man nach der Wirtschaftlichkeitsberechnung auswählte, weist eine Spannweite von 138 m auf. Die Spannweite und die Tatsache, daß das Dach nur auf drei Seiten gestützt wird, verlangte nach einer steifen Konstruktion. Die Dachkonstruktion besteht aus vier Hauptteilen:

1) Ein horizontales, niederes Dach, gebaut als vorfabrizierter diagonaler Raster, der auf drei Seiten gestützt wird und auf der vierten Seite durch den vertikalen Rückenträger mit dem hohen Dach verbunden ist.

2) Der Längsträger 2 ist 167,64 m lang, 15,09 m hoch und 3,81 m breit. Er trägt die unteren und oberen Deckenraster.

3) Der obere Raster besteht wie der untere aus gleichen modularen Einheiten. Er wird auf einer Seite durch den Rückenträger und entlang der Seite, an der sich der Eingang des Hangars befindet, durch den Längsträger 1 gestützt.

4) Der Längsträger 1 ist 188,37 m lang, 8,69 m hoch und 2,06 m breit. Die Unterseite dieses Trägers liegt mehr als 22,86 m über dem Boden, damit das Seitenruder des Flugzeuges noch durch den Eingang kommt.

Die Dachkonstruktion besteht aus hohlen Stahlröhren, während die Stützen und die Konstruktionen der Nebengebäude aus gewalzten Stahleinheiten gebaut sind.

Die vorherrschenden Teile des Daches bestehen aus den beiden Längsträgern. Sie tragen die oberen und unteren Raster und sorgen für die Gesamtstabilität des Baus.

Die Rasterglieder wurden im Werk vorfabriziert und örtlich zusammengebolzt, die Hauptträger hingegen mußten wegen ihrer Größe örtlich nachgeschweißt werden.

Die Gurtstäbe der Längsträger bestehen aus Stahlröhren mit einem Durchmesser von 45,72 cm und weisen eine maximale Dicke von 28,6 mm auf. Die Füllstäbe in den Hauptfachwerkträgern bestehen aus 35,56 cm dicken Röhren, und die untergeordneten Verstrebungsglieder bestehen hauptsächlich aus 13,97 cm dicken Röhren.

Der Längsträger 2 bildet ein Rastergehäuse, das aus vier Gurtstäben (45,72 cm) besteht, die an die Ecken des Gehäuses zu stehen kommen. Man brauchte dazu einen neuen hochgradig schweißbaren Baustahl. Die ganze

6 Ansicht des Fronträgers (Längsträger 1) und des Längsträgers 2 1:1000.

Élévation de la poutre frontale (poutre longitudinale 1 et 2).

Elevation view of front girder (longitudinal girder 1) and longitudinal girder 2.

7 Probelastung des Längsträgers 2.

Essais de charge de la poutre longitudinale 2.

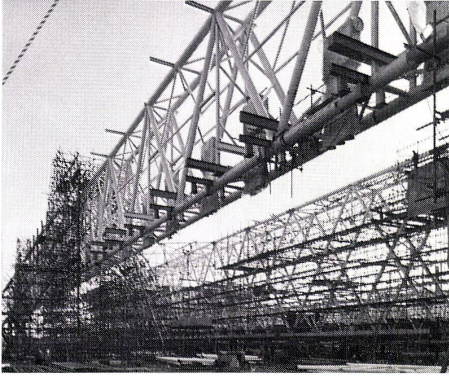
Test load on longitudinal girder 2.



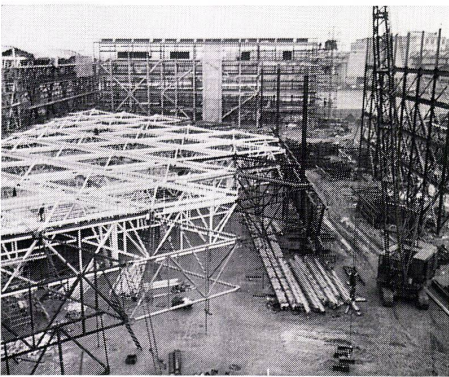
7



8



9



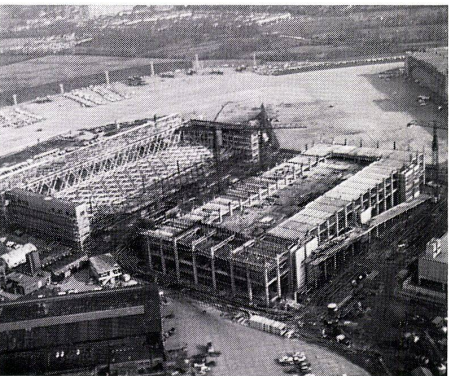
10

8 Knotenpunkt des Längsträgers 2.
Nœuds d'assemblage de la poutre longitudinale 2.
Assembly point of longitudinal girder 2.

9 Montage Fronträger und Längsträger 2.
Montage des poutres frontale et longitudinale 2.
Assembly of front girder and longitudinal girder 2.

10 Montage des Raumtragwerkes.
Montage de la structure.
Assembly of spatial supporting structure.

11 Gesamtansicht während des Rohbaues.
Vue d'ensemble pendant les travaux de gros œuvre.
General view during rough construction.



11

Röhrenvorbereitung geschah durch automatische Flammenschneider.

Die hauptsächlichsten, kreuzförmigen Aussteifungen waren so groß (9,90 m × 14,63 m × 3,35 m), daß es unpraktisch war, sie in der Werkstatt vollständig vorzufabrikieren. Die Stahlfirma entschied deshalb, die eine Hälfte des Kreuzes als einen fortlaufenden Fachwerkbalken zu bauen und die restliche Hälfte örtlich zu einem vollständigen Kreuz zusammenzuschweißen. Die Ober- und Untergurten des Trägers waren als Gitterbalken vorfabriziert und wiesen eine Breite von 3,35 m und Längen bis zu 19,50 m auf.

Alle Röhrenenden paßten aufeinander, und die vorfabrizierten Trägerteile wurden örtlich stumpfgeschweißt und durch eine Reihe von Böcken gestützt, so daß sich im Zentrum eine 30,48 cm tiefe Wölbung ergab.

Den Längsträger 2 baute man auf Stützböcken nur etwa 1,22 m über dem Bodenniveau. Während des Schweißens und Hebens mußte er durch provisorische Stützpfähle stabilisiert werden, die man an den drei Punkten der Lichtweite zwischen den Hauptträgern errichtete, die zuerst montiert worden waren. In dieser Phase führte man sie durch den Stirnbalken. Die Träger wurden von oben durch Stahldrahtseile stabilisiert, die für den notwendigen Seitenhalt während des Hebens sorgten. Die anfängliche Biegung des Stirnträgers war 45,72 cm. Den Längsträger 1 hob man zuerst auf eine Höhe von 9,14 m und fügte ihn mit dem Rückenträger zusammen, der in dieser Phase immer noch auf den Stützböcken auflag.

Gleichzeitig baute man das untere Dach aus vorfabrizierten Rohrgittern, die den Hauptdiaraster bildeten. Alle Endverbindungen waren vorfabriziert und sorgfältig kontrolliert, um eine genaue Zusammenpassung zu gewährleisten.

Alle wichtigen Stumpfschweißungen der Gurtstäbe in den Rücken- und Stirnträgern wurden radiographisch getestet. Während des Schweißens brauchte man eine Vorwärmung von 250 °C.

Rasterverbindungen und sekundäre Aussteifungen wurden durch Überschallteste und Wirbelstromtechniken kontrolliert. Das gesamte Eigengewicht des Dachbaus beträgt über 2100 Tonnen. Eine Toleranz wurde im Bau einberechnet für Windbelastungen für die Windstärke D, was der durchschnittlichen Höchstgeschwindigkeit von 115,87 km/h über einer Zeitspanne von einer Minute auf einer Höhe von 12,19 m entspricht. Unter gewissen Umständen mag diese Windgeschwindigkeit zum negativen Druck von 1723,68 N/m² auf der Dachebene führen, der das Eigengewicht des Daches bedeutend übersteigt.

Der ganze Dachbau wurde am Boden montiert und mittels Heber in die richtige Lage auf acht Stahlstützen gehoben.

Die Hebung des 2300 Tonnen schweren Daches unternahm die Firma Power Rise Ltd., die spezielle Heber entwickelt hatte, die einzeln eine Schubkapazität von 600 Tonnen haben. Die Bewegung der Heber war synchronisiert und von einer zentralen Kabine aus gesteuert, die telephonisch mit allen Hebern verbunden war.

Der Längsträger 1 wurde zuerst auf eine mittlere Position von 9,14 m gehoben. Darauf füllte man den oberen diagonalen Raster zwischen die Stirn- und Rückenträger.

Schließlich hob man das Dach zusammen mit dem unteren Raster als eine Einheit auf acht Säulenstützen.

Wegen der Wichtigkeit des Baus entschloß man sich, einen Belastungstest am vollendeten Dachbau durchzuführen.

Der Test wurde im Februar 1969 mit Erfolg durchgeführt und versprach, daß eine Sicherheitsgrenze gegenüber Kranen- und Schneebelastungen und gegen die Gefahr von Bruchigkeit vorhanden war. Er half auch, die eingebauten Schweißspannungen herunterzusetzen.

Die Belastungsprobe bestand daraus, 1015 Tonnen Eigengewicht auf den Dachbau zu plazieren. Das geschah durch sandgefüllte Behälter und Stahlbetonblöcke, die man entweder an die Untergurtung des Rückenträgers hing oder auf die Obergurtung des Stirnträgers stellte.

Den Längsträger 2 setzte man zuerst $\frac{2}{3}$ seiner Belastung aus, dann belastete man beide Träger gleichzeitig, bis man schließlich die beiden Träger dem Gesamtgewicht von 595 Tonnen bzw. 420 Tonnen aussetzte. An Drittelpunkten eines jeden Trägers befanden sich Sicherheitstürme, die die Last auffangen konnten, sollte der Bau einbrechen. Die volle Belastung auf dem Längsträger 2 dauerte 24 Stunden und die auf dem Längsträger 1 14 Stunden. Während des Testes war die Temperatur unter Null. Die niedrigste Temperatur war -5 °C.

Mechanische Messungen und elektrische Dehnungsmeßstreifen wurden für die Messung der Spannung gebraucht. Man plazierte etwa 300 Dehnungsmeßstreifen an die höchstbelasteten Fugen in den beiden Hauptträgern.

Der Vergleich der theoretischen und experimentellen Werte zeigt, daß die theoretischen und die tatsächlichen Durchbiegungen ziemlich übereinstimmen; die beobachteten Durchbiegungen lagen gewöhnlich 1% bis 8% unter den theoretischen Werten.

Die Spannungen, die man aus den Messungen ablesen konnte, waren kleiner als die theoretischen Vorausberechnungen von 6% bis 35 %, was einem Durchschnitt von 16% entspricht.

Die baulichen Probleme konnten nur durch eine äußerst enge Zusammenarbeit zwischen Bauherr, beratenden Ingenieuren und den Bauunternehmern gelöst werden.

Der Hangar wurde projektiert durch die beratenden Bauingenieure Z. S. Makowski and Associates unter der Leitung des Direktors der Properties Branch of British Overseas Airways Corporation, Kenneth J. Joyner. Die Verantwortung der täglichen Überwachung des Baus trug Mr. G. M. Crook, der Assistent des Direktors. D. Page war der Projektleiter. Zum Projektteam gehörten D. Robak, der die Verantwortung des Projektbüros hatte, und F. S. West, der der Montage auf der Baustelle beaufsichtigte. Die Computeranalyse wurde unter der Leitung von H. Nooshin durchgeführt. Die Experimente auf dem Bau während den Belastungsproben führte ein Team unter Aufsicht von J. Kolosowski durch. Die beratenden Architekten waren Norman Royce, Topping, Hurlley & Stewart. Quantity surveys waren die Herren Wakeman, Trower and Partners. Hauptunternehmer waren Holland and Hannan and Cubitts (Southern) Ltd., Unterlieferant für den Stahlwerkbau, Dawnays Ltd., und für das Stahlröhrendach Stewarts and Lloyds Ltd.

Z. S. Makowski
D. Robak