cubierta

de doble curvatura de cables pretensados

K. BERGHOLT, ingeniero

Chr. OSTENFELD & W. JØNSON, ingenieros consultores, Copenhague

sinopsis

El nuevo estadio para hockey sobre hielo, construido, en Tampere, Finlandia, a base de una estructura en hormigón armado y una cubierta ligera de doble curvatura formada por una red de cables pretensados, tiene forma rectangular con planta de $63,2 \times 92$ m; está previsto para 10.000 espectadores y lleva en el centro la cancha para hockey.

Después de una ligera comparación de los distintos tipos de cubiertas suspendidas, el autor describe su obra y analiza las partes más sensibles de la cubierta suspendida por él proyectada.

Los cables están anclados en vigas o arcos laterales cuya estabilidad está asegurada por tirantes exteriores de hormigón pretensado. El autor subraya la particular importancia que tiene la concepción de estas vigas o arcos laterales para la economía de la obra.

Se tuvo especial cuidado en evitar codos en los cables donde éstos entran en las vigas o arcos laterales, sin por eso restringir la necesaria libertad de movimiento de los cables.

886 - 12

El artículo describe la colocación de los cables. Los detalles de los cables propiamente dichos, así como su tesado, son de una técnica bien conocida y experimentada actualmente.

Finlandia

Fig. 1. Montaje de cables tensores.

En Tampere, Finlandia, se ha construido recientemente una cubierta pretensada para el nuevo estadio de hockey sobre hielo. Este artículo describe el sistema estático de la cubierta, sus elementos de anclaje y expone las ideas del cálculo del mismo y, finalmente, da una descripción de las experiencias ganadas durante la ejecución de la obra.

La construcción de cubiertas cuyos elementos portantes están principalmente sometidos a tracción ha tomado, durante los últimos 5 años, un cierto desarrollo en Escandinavia.

En Suecia se han construido varias naves deportivas con cubiertas de cables pretensados, las cuales son de dos sistemas diferentes: el primero, llamado sistema del Sr. Jawerth, utiliza vigas constituidas cada una por dos cables de curvatura opuesta, tesados el uno contra el otro en un plano vertical; el segundo utiliza dos redes de cables que se cruzan y que tienen curvaturas opuestas. Dichas redes son pretensadas la una contra la otra. Para ambos sistemas, utilizando un techo ligero, resulta indispensable el pretensado para que la construcción resista la succión del viento.

Un techo ligero está justificado no solamente por su bajo coste en materiales y montaje, sino también por las economías que resultan en los cables. Cabe mencionar que el pretensado mismo constituye, para la construcción, una carga suplementaria, la cual se reduce a medida que aumenta la de servicio y que desaparece completamente al alcanzarse la fase de rotura. El pretensado proporciona al sistema deformable la rigidez necesaria.

A diferencia de la mayoría de las cubiertas de cables construidas en Europa y América, las escandinavas se han utilizado para cubrir superficies rectangulares. Los elementos de borde, en los cuales están anclados los cables, son rectilíneos, excluyendo así la disposición elegante y económica que consiste en llevar las reacciones de los cables, mediante arcos inclinados, hasta los cimientos (ejemplo: el estadio de Raleigh). En cambio, en nuestro caso, las vigas de borde son sometidas a momentos flectores importantes y, generalmente, es necesario disponer una serie de tirantes para equilibrar los esfuerzos de los cables. La repercusión de esta disposición en el coste de la obra es bastante importante y es preciso dedicar, ya en la fase inicial, una atención particular a las posibles formas de vigas de borde para lograr una obra económica; a cambio de esto la economía de la cubierta misma es evidente.

Como el estadio de Tampere debía alojar los campeonatos mundiales de hockey sobre hielo en marzo de 1965, tanto el proyecto como la obra en sí tenían que ser realizados en un plazo mínimo. Esto significaba que el procedimiento de pretensado, los cables y sistemas de anclaje debían ser elegidos inmediatamente de forma que la ejecución de la obra y la elaboración del proyecto detallado pudieran desarrollarse simultáneamente.

Descripción de la obra

La superficie cubierta es de $63,2 \times 92,0$ m. En la primera fase, cuando los cables soportan solamente su propio peso y el pretensado, tiene la forma de un paraboloide hiperbólico. Los cables portantes tienen una flecha de 3,9 m, mientras que la de los tensores es de 8,4 m. Para todos ellos se han utilizado barras SH $\varnothing$ 26 mm con límite de rotura 110 kg/mm². Los portantes están espaciados 80 cm entre sí, y la distancia entre los cables tensores es 160 centímetros.

Las barras SH fueron preferidas a los cables constituidos por alambres, a pesar de la más alta resistencia y del precio más favorable de estos últimos, a fin de limitar las variaciones de flechas de la cubierta y por ser de una técnica bien conocida y estandarizada en todos sus detalles de anclajes y puesta en tensión, lo que era de primordial importancia a la vista del corto plazo de construcción.

Los cables tensores pasan sobre los portantes, y en cada cruce los dos cables se unen por un acoplamiento de fricción que al mismo tiempo sirve de apoyo para las viguetas del techo; el acoplamiento se fija antes de la puesta en tensión de los cables; en el momento del acoplamiento la red de cables tiene una forma geométrica fijada de manera que, después de la tensión, se proyecte en dos familias de líneas equidistantes con las distancias antes mencionadas.

Todos los cables están anclados en vigas de borde de hormigón armado: los portantes, en dos arcos situados sobre las columnas de la fachada; y los cables tensores, en unas losas que prolongan, sobre los muros transversales, la doble curvatura de la red de cables. Estos pasan por tubos, a través de las vigas de borde, hasta el anclaje situado en la parte exterior. Como las variaciones de pretensado y de sobrecarga imponen desplazamientos a los cables, tanto en el sentido vertical como en el horizontal, los tubos terminan, del lado de cubierta, por una «trompeta» de poliéster.

El techo mismo se apoya sobre la red de cables y fue montado desde arriba sin utilizar andamios (fig. 3). El comportamiento de la cubierta y de la red de cables en caso de incendio ha dado lugar a ciertas deliberaciones con las autoridades, de tal manera que, aun considerando que el estadio está destinado únicamente a deportes, y teniendo una cantidad mínima de materiales inflamables, y que la red de cables solamente en caso de un incendio total perdería su capacidad de sustentación y lo haría lentamente, fue considerada innecesaria una protección más efectiva.

La fijación de los arcos bajo el efecto del esfuerzo horizontal transmitido por los cables portantes, constituía el problema mayor para el proyecto inicial. Algunas investigaciones llevadas a cabo últimamente en Alemania sobre la resistencia a tracción y la curva de trabajo de anclajes elásticos en tierra, nos incitaban a utilizar tales anclajes prefabricados, de hormigón armado, como los ya experimentados en el estadio Johanneshov de Estocolmo. Tales anclajes estaban muy indicados aquí, dado que la roca se encuentra a una profundidad demasiado grande para que un anclaje clásico en roca fuese económico. Sin embargo, en el proyecto definitivo, un anclaje convencional de gravedad fue preferido al anclaje elástico en tierra, puesto que la obra disponía ya de gran cantidad de piedra para la fabricación del hormigón pobre; otra ventaja del anclaje de gravedad es que se puede considerar como un anclaje fijo, es decir, que las variaciones de tensión de los cables no causarían ningún desplazamiento del anclaje, lo que permite prescindir del suplemento de pretensado de la red de cables que hubiera sido necesario en el caso de utilizar un anclaje elástico en tierra. Los tirantes que unían el arco con el anclaje de gravedad fueron ejecutados en hormigón pretensado utilizando anclajes pasivos situados en una viga longitudinal, de hormigón armado, colocada debajo de los contrapesos. Se eligió el hormigón pretensado para la ejecución de los tirantes, con el fin de crear un apoyo rígido para los cables portantes, ya que toda variación de longitud de los tirantes se traduce por variaciones en la red de cables; así fueron reducidas las variaciones elásticas de los tirantes debidas a los esfuerzos normales, y sólo quedaron las variaciones de longitud producidas por la retracción y a la fluencia, que eran de poca importancia.

Los cables tensores transmiten sus esfuerzos a la parte superior de los piñones, la cual está concebida como una viga en hormigón armado, y rígida a la torsión, constituida por la losa de doble curvatura y las paredes transversales situadas a lo largo de sus bordes delantero y trasero. Las componentes horizontales de los esfuerzos se transmiten, en parte, a los soportes de los dos arcos y, en parte, a los cuatro marcos situados en la prolongación de las gradas. Para dar a los piñones la estabilidad suficiente fue necesario prever cuatro tirantes verticales, situados en la parte trasera de los piñones, ejecutados en hormigón pretensados y anclados en un contrapeso de hormigón pobre. Puesto que en un extremo del estadio los cimientos se apoyan sobre pilotes, fue difícil transmitir al suelo los grandes esfuerzos normales procedentes de las cuatro vigas inclinadas que en este extremo soportan las gradas. Para salvar esta dificultad se prefirió, por razones económicas, unir las vigas de un extremo con las del otro mediante vigas en hormigón armado, situadas debajo de la capa de hielo y a lo largo de todo el estadio (fig. 2).

En el proyecto inicial se había decidido ejecutar todas las vigas de borde en forma de un anillo continuo sin juntas. Los piñones están retenidos en el sentido transversal, por una pared situada en el centro, mientras que los arcos y los tirantes de la fachada se hallan retenidos, en el sentido longitudinal, por paredes situadas en el arranque de los piñones; por eso la concepción de un anillo conviene a los piñones, pero resulta más problemática para la fachada. En el proyecto definitivo fueron consideradas también las deformaciones del arco debidas a la retracción y a las variaciones de temperatura, y se decidió prever una junta seca en la clave del arco, aunque tal disposición complicaba el funcionamiento estático de la construcción.

Comentarios sobre el cálculo estático, sus hipótesis y su desarrollo

La parte más laboriosa del cálculo consistía en el estudio de las tensiones y deformaciones de la red de cables.

En la región de Tampere, la sobrecarga de nieve está fijada en 150 kg/m^2 (fig. 4).

Fig. 2. Secciones transversal y longitudinal del edificio.

Fig. 3. Secciones parciales transversal y longitudinal de la cubierta suspendida.

Para la sobrecarga debida al viento se ha considerado únicamente la succión provocada por vientos paralelos a los ejes de la construcción, fijándose en -80 kg/m^2 a barlovento y en -40 kg/m^2 a sotavento. El establecimiento de una hipótesis de cálculo para los efectos de viento no parece cosa sencilla, puesto que las diferentes normas nacionales indican para la succión, sobre techos de poco declive, valores muy distintos, y estas normas no consideran superficies de doble curvatura. Sin embargo, se han deducido ideas claras de los resultados obtenidos por Beutler en una serie de ensayos, en modelo reducido, sobre la variación de coeficiente de forma para superficies de doble curvatura, los cuales fueron publicados por el Congreso IASS, París, 1962. Para la curvatura que nos interesa, los resultados de dichos ensayos pueden resumirse de la manera siguiente:

- viento longitudinal: C varía $-0,4$ a $-0,6$;
- viento diagonal: C varía $-0,2$ a $-0,8$;
- viento transversal: C varía $-0,2$ a $-1,2$.

Considerando que en Finlandia la presión máxima registrada ocasionada por la velocidad del viento es de 70 kg/m^2 , teniendo en cuenta la gran extensión de la cubierta y prescindiendo además de valores de succión local a lo largo del borde, la hipótesis antes citada resulta bastante conservadora.

Con el sistema estático de la obra, tanto la temperatura exterior como la interior influyen en las tensiones de la red de cables. Las variaciones de temperatura dentro y fuera del estadio se han estimado en 25° y 45°C , respectivamente. Además, la retracción y la fluencia de los tirantes de hormigón pretensado fueron valoradas según diferentes hipótesis. El pretensado necesario fue determinado por tanteo, y su valor equivalente definitivo, es decir, la presión ejercida por una de las familias de cables sobre la otra, expresada en kg/m^2 , en la fase en la cual el pretensado actúa como la única carga, está fijada en $90 \text{ kilogramos/m}^2$.

Es necesario establecer el cálculo, tanto en la fase de rotura como en las varias situaciones de servicio. La seguridad a la rotura de los cables portantes, por un lado, y la de los tensores, por otro, son fáciles de determinar, dado que en el momento de la rotura todo pretensado ha desaparecido; la seguridad a la rotura de las barras SH está limitada por la seguridad a la rotura de los filetes del anclaje y del acoplamiento. Ya en cálculo inicial se mostraba que el dimensionamiento de la red de cables dependía únicamente de la tensión máxima admitida en las situaciones de servicio; sin duda hay que distinguir entre las dos familias de cables, pues los portantes deben ser tratados con más prudencia que los tensores, ya que estos últimos desempeñan solamente un papel de estabilidad y cuya rotura no conduciría al fallo de la cubierta.

Las tensiones máximas en servicio son 6.000 kg/cm^2 , es decir, tan sólo del 5 al 10 por 100 menos de la tensión admitida para la misma clase de cables en hormigón pretensado. Para juzgar esta cifra hay que tener en cuenta: 1.º que se han valorado todas las solicitaciones secundarias; 2.º que las combinaciones de carga son muy especiales, y 3.º que las tensiones fueron determinadas por un cálculo lineal, el cual, como se muestra más adelante, está del lado de la seguridad.

Los cálculos fueron realizados según el método de F. K. Schleyer: «Über die Berechnung von Seilnetzen», 1960, completado por un artículo de H. Mollmann, publicado en la revista «Ingenioren», 1963. Se parte de la idea de que la red no tiene rigidez a efectos del esfuerzo cortante, y que estando constituida únicamente por elementos de tensión, puede considerarse como una continuidad deducida de la superficie geométrica existente durante la fase en que el pretensado actúa como única carga.

Por un análisis vectorial e introduciendo diferentes simplificaciones se deducen, para las componentes de deformación, tres ecuaciones diferenciales no lineales. Las condiciones de equilibrio se establecen para el sistema cargado y deformado. Después de varias reducciones, Schleyer llega a un sistema de ecuaciones lineales que permite determinar las deformaciones en una primera aproximación, calculando, a continuación, los términos no lineales más detalladamente.

La envergadura del trabajo numérico depende directamente de la finura de las mallas; suponiendo una partición de 10 en las dos direcciones, para cargas de doble simetría, y de 6 para cargas asimétricas, hemos llegado, en los dos casos, a trabajar con 25 ecuaciones y 25 incógnitas—que son las flechas verticales de la red—, las cuales fueron resueltas por un computador. Una apreciación más detallada de las tensiones que existen a lo largo del borde exigiría unas mallas más finas y, por consiguiente, una complicación onerosa del cálculo.

Se han estudiado, para cuatro diferentes distribuciones de nieve, las componentes horizontales de las tensiones de cables debidas a peso propio + pretensado + nieve y obtenidas por cálculo lineal (fig. 4). Se han admitido unos valores pequeños, negativos, en cuatro puntos; no sabemos si, efectivamente, dichos cables están sometidos a compresión o si se efectuará una redistribución de tensiones, la cual pueda contrarrestar esta compresión y originarse por la retracción y fluencia que se efectúa a largo plazo en los tirantes y por efectos de temperatura, toda vez que una carga de nieve en la cubierta significa temperaturas exteriores bajas y, por consiguiente, un acortamiento de tirantes que, asimismo, provoca un aumento del tesado de los cables; cabe mencionar, además, que las correcciones de carga debidas a los términos no lineales son favorables, según se explica a continuación.

El cálculo de flechas dio, para el caso de peso propio + nieve sobre toda la superficie, unos resultados que están de acuerdo con los determinados en el cálculo inicial (flecha máxima en el centro, 24 cm). En cambio, el cálculo de los casos de carga asimétrica dieron flechas muy superiores a las estimadas inicialmente, particularmente en el caso de cargar dos rincones diametralmente opuestos, donde el cálculo lineal mostraba una flecha máxima de 63 cm en el centro de la zona cargada, lo que incitaba a estudiar más detalladamente los efectos de los términos no lineales, que equivalen a unas cargas verticales suplementarias (fig. 4). De una manera general este refinamiento de los cálculos reduce, en todos los puntos, las flechas obtenidas por el cálculo lineal; por ejemplo: la flecha mencionada de 63 cm se reduce a 34 cm, y aunque la partición de mallas bastante abierta incita a considerar, con cierta reserva, estos resultados, los ejemplos demuestran la importancia de las cargas asimétricas.

Otras contribuciones a las flechas y tensiones de los cables, igualmente calculadas según Schleyer, provienen de las variaciones de temperatura en la red de cables y de desplazamientos horizontales del arco, los cuales se deben a la retracción, fluencia y variaciones de temperatura en los tirantes inclinados. Estas solicitudes suplementarias llegan, en el caso más desfavorable, a aumentar la tensión de los cables portantes más solicitados en un 15 por 100 únicamente. En cambio, su influencia en los tensores más solicitados es mucho más importante, pues aumenta la tensión en un 60 por 100, lo cual ha tenido un valor primordial en el dimensionamiento de los piones.

El problema más complejo es la determinación de la importancia del efecto dinámico del viento. Hemos considerado como muy improbable que el viento pueda adoptar en un punto un carácter pulsativo de igual frecuencia que las vibraciones propias del techo (período 2-3 segundos), y esta hipótesis ha sido corroborada por observaciones de Vaessens en Westphalenhalle; parece aún menos probable que el viento pueda provocar sobre toda la superficie un efecto pulsativo a la par con las vibraciones propias del techo. Además, existen dos amortiguadores: el volumen de aire contenido en el estadio y el techo rígido de madera. El problema de la vibración se ha estudiado no solamente a causa del posible aumento de tensión en los cables, sino, principalmente, debido a que la resistencia a las variaciones de tensión en los filetes de cables es relativamente baja. Hemos tratado de estimar el número de variaciones de tensión que sobrepasen dicha resistencia, pero esta estimación es muy primitiva. Es preciso esperar que se hagan más ensayos y se obtengan más experiencias en este terreno tan poco estudiado; mientras tanto nos contentamos con las observaciones en obra, especialmente de la tendencia a pulsaciones, y si éstas, contra toda esperanza, existen, mediremos amplitudes por las que se puedan deducir las variaciones de tensiones. Debe mencionarse que la técnica de la red de cables tiene la ventaja de que una posible rotura por fatiga no lleva consigo el fallo de la construcción entera, sino que el preaviso permite tomar las medidas necesarias.

Experiencias prácticas obtenidas en la obra

Fue bastante difícil realizar, geoméricamente, las complicadas obras de borde, respetando las mismas tolerancias en las dimensiones que las que se observan normalmente en una obra de hormigón armado bien ejecutada; no obstante, no se produjo ninguna dificultad seria. La colocación exacta de las trompetas que sirven para el paso de los cables de la red hacia los anclajes resultaba muy difícil;

Fig. 4. Componentes horizontales de los esfuerzos en los cables debidos al peso propio, combinado con sobrecarga de nieve, en 4 casos diferentes (la superficie cubierta de nieve está rayada). Los porcentajes indican la carga correctiva obtenida por la primera corrección, considerando los términos no lineales (p_s^* en $\%$ de p_s).

en el proyecto se exigía una tolerancia de ± 5 milímetros para la posición vertical de sus extremidades, pero una nivelación exacta después del hormigonado indicaba diferencias de 4 ó 5 veces las admitidas; afortunadamente estas diferencias se iban acumulando de una manera continua sobre distancias más grandes, no obstante se hizo necesario un cálculo correctivo para el montaje de cada cable portante.

Como ya se ha explicado, la red de cables fue montada y los cruces acoplados conforme a una forma geométrica precalculada. Para facilitar el trabajo en la obra, los trozos de cables fueron cortados con tolerancia de 1 mm, y el lugar de los cruces indicado con color, tanto en los cables portantes como en los tensores. Para el montaje de los primeros se utilizaba una grúa. Cada cable tiene tres acoplamientos y los centrales fueron montados con auxilio de un andamio situado en el eje de la obra, mientras que las dos series de acoplamientos laterales, según deseo del contratista, se montaron a partir de una pasarela ligera, apoyada en los cables ya montados, la cual avanzaba por el sistema de voladizos sucesivos. El ajuste de cada cable portante en el sentido vertical se estableció teniendo en cuenta la temperatura existente, ya que la del aire variaba durante el período de construcción en unos 10°C . Los tensores fueron montados a mano a partir de una pasarela ligera que se desplazaba sobre los portantes. Es muy importante evitar durante el tesado de los cables cualquier deslizamiento que se pueda producir en los cruces y, por eso, los acoplamientos fueron apretados utilizando una llave dinamométrica, después de determinar, mediante ensayos, la relación existente entre el momento de ajuste y la fricción obtenida.

El pretensado se introdujo tesando únicamente los cables tensores, que fueron tesados uno a uno, comenzando al lado de los dos arcos y avanzando simultáneamente hacia el centro; cada cable fue tesado a partir de los dos extremos. Las tensiones finales fueron alcanzadas pasando por seis etapas de tensión, y anotando en cada una, y para los dos extremos de un cable, el alargamiento, extensión y presión manométrica; a fin de establecer un control suplementario se montaba un «strain-gauge» en algunos cables. Además, procedimos a la medida de flechas en 25 puntos para compararlas con las precalculadas, y así averiguar que, efectivamente, se había alcanzado la tensión prevista en la red de cables. Un análisis de estas observaciones de medida induce a demostrar que la red de cables está tesada con unas tensiones 5 a 10 por 100 mayores que las previstas, mostrando una pequeña disimetría que no parece tener importancia práctica alguna. El montaje y tesado de los cables de la cubierta se realizó en unas seis semanas.

Ya se ha indicado antes que el cálculo de la flecha de cables es muy complejo en las regiones próximas a los bordes, donde la forma y posición de las trompetas deben asegurar que el cable nunca forme ángulos. Como sistema de control se medían, antes y después de la ejecución del techo, las distancias existentes entre cable y borde de trompeta. Estas medidas confirmaron, en general, mediante extrapolación de diferentes cargas de nieve, que la forma de la trompeta era la adecuada.

La obra se inició en enero de 1964; y el estadio, con su pista de hielo y todas las instalaciones técnicas, estaba terminado a fines de este mismo año.

Dirección de la obra

Fue construido por la ciudad de Tampere, la cual realizaba directamente las pequeñas obras, mientras que la parte más importante se encargó a la firma «Tähtinen och Sola», Tampere. El arquitecto J. Tähtinen, Tampere, era el autor del estadio, y el ingeniero A. Sallinen coordinaba las obras. El proyecto de las tribunas y cimentaciones dependía del ingeniero H. Kakko, Helsinki.

Los proyectos de la cubierta, tanto el preliminar como el definitivo, incluso todos los detalles de anclaje, corrieron a cargo de los ingenieros consultores Chr. Ostenfeld & W. Jønson; el proyecto fue llevado a cabo por el autor, ayudado por los ingenieros N. C. Soe y J. Kierstein Hansen.

Traducido por P. E. Mondorf y adaptado por V. Mas.

Fig. 5. Vista interior del Palacio de hielo.

Fotos. STAF y BROR BERNILD

La couverture à double courbure de câbles précontraints, Finlande

K. Bergholt, ingénieur, et Chr. Ostenfeld et W. Jønson, ingénieurs-conseil.

Le nouveau Stade pour hockey sur glace, construit à Tampère, Finlande, se compose d'une ossature en béton armé et d'une couverture légère à double courbure formée par un réseau de câbles précontraints. Sa forme est rectangulaire de 63,2 m sur 92 est prévu pour 10.000 spectateurs, entourant la piste de hockey, au centre.

L'auteur, après quelques comparaisons avec différents types de couvertures suspendues, décrit et analyse les points les plus intéressants de celle qu'il a projetée.

Les câbles sont ancrés sur des poutres ou arcs latéraux dont la stabilité est assurée par des tirants extérieurs de béton précontraint. L'auteur souligne l'importance de la conception de ces poutres ou arcs latéraux pour l'économie de l'ouvrage.

On a soigneusement évité que les câbles forment des coudes aux endroits où ils entrent dans les poutres ou arcs latéraux sans, pour autant, restreindre leur liberté de mouvement nécessaire.

L'article décrit le montage des câbles porteurs. Les détails des câbles proprement dits, ainsi que leur mise en tension, est une technique bien connue et expérimentée actuellement.

Double curvature roof with prestressed cables, Finland

K. Bergholt, engineer, and Chr. Ostenfeld & W. Jønson, civil engineers.

A new ice hockey stadium has been built in Tampere, Finland. It has a reinforced concrete structure and a light, double curvature, roof suspended from a network of prestressed cables. It has a rectangular planform, 63×92 m, and it can accommodate 10,000 spectators. The hockey rink is in the centre.

After a brief comparison of various types of suspended roofs, the author describes his own design, and discusses the most delicate aspects of the project.

The cables are anchored in lateral arched beams, whose stability is provided by external prestressed concrete ribs. The author emphasizes the importance of these beams for the overall efficiency of the project.

Special care was taken to avoid curvature of the cables where these penetrate into the lateral beams, without, however, restricting the freedom of the cables to oscillate.

The article describes the placing of the cables, the details of the cables themselves, and their stretching: all of which is a technology that is now well known and tried.

Doppelgewölbtes Dach mit Vorspannkabeln, Finnland

K. Bergholt, Ingenieur, und Chr. Ostenfeld & W. Jønson, Beratende Ingenieure.

Das neue Eishockeystadion von Tampere, Finnland, hat einen Unterbau aus Eisenbeton und ein leichtes, doppelgewölbtes Dach aus einem Netz von Vorspannkabeln.

Das Stadion ist rechteckig mit einer Grundfläche von 63,2 × 92 m und fasst 10.000 Zuschauer; die Eisfläche befindet sich in der Mitte.

Nach einem kurzen Überblick über die verschiedenen Kabeldach-Typen beschreibt der Verfasser das von ihm projektierte Bauwerk und analysiert die kompliziertesten Teile des aufgehängten Daches.

Die Spannkabel sind in seitlichen Balken oder Bögen verankert, deren Stabilität durch äussere Spannbeton-Zugstange gesichert wird. Der Verfasser unterstreicht die besondere Wirtschaftlichkeit dieser seitlichen Balken oder Bögen.

Besondere Sorgfalt musste angewendet werden, um zu vermeiden, dass die Kabel beim Eintritt in die seitlichen Bauteile geknickt wurden, ohne jedoch dadurch die notwendige Beweglichkeit der Kabel zu beeinträchtigen. Der Artikel beschreibt weiterhin die Montage der Kabel; die Einzelteile der Kabel und ihre Spannung sind heutzutage schon gut bekannt und erprobt.