

DIE STAHLKONSTRUKTION DES 314 M HOHEN FUNKTURMS DES NEUEN GROSS-SENDERS LAKIHEGY*

Dipl.-Ing. Károly MASSÁNYI

Ingenieur der Ungarischen Staatlichen Eisen-, Stahl- und Maschinenfabriken

Übersicht: Verfasser erörtert die Berechnungs-Prinzipien der Eisenkonstruktion des 314 m hohen Rundfunkturmes Type Blaw-Knox des Senders Lakihegy (Budapest), gibt dessen Beschreibung und behandelt zum Schlusse die ganz eigenartige Durchführung der Montierung.

Die Funktechnik ist eine kräftige junge Wissenschaft, die im vergangenen Jahrzehnt in den Äußerungen des menschlichen Lebens eine enorme Bedeutung erlangt hat. Die stürmische Geschwindigkeit dieser Entwicklung rührt zweifellos davon her, daß sämtliche Wissenschaften, die die Funktechnik in ihren Dienst stellte und stellt, mit letzterer wenigstens synchron fortschritten und dadurch fähig waren, die durch die Funktechnik in den Vordergrund gerückten Probleme zu lösen.

Der für den Großsender Lakihegy errichtete neue Funkturm ist eines jener großartigen technischen Werke, das nur durch die Entwicklung des Rundfunks verwirklicht werden konnte.

1. Die Stahlkonstruktion des Turms

a) Konstruktive Einzelheiten

Die Form der Stahlkonstruktion (Abb. 1) wird durch zwei mit den quadratischen Grundflächen aufeinander gestellte abgestumpfte Pyramiden gekennzeichnet. Der breiteste Querschnitt des Turms (14,65 m breit) befindet sich in 141 m Höhe. Von hier aufwärts und abwärts wird die Konstruktion immer schlanker, so daß die Fußbreite 0,65 m und die Gipfelbreite in 284 m Höhe 1,39 m beträgt. Die Stabilität des Bauwerks wird durch von dem Mittelquerschnitt ausgehende acht Stahldrahtseile gewährleistet.

Die Seitenflächen sind mit Gitterwerk ausgefacht, durch das die Geschoßhöhe von 7,60 m bestimmt wird. Davon weichen nur das unterste Geschoß und das höchste Obergeschoß mit ihren Höhen von 12,0 bzw. 5,70 m ab. Der Turm hat 40 Geschosse.

* Vortrag, gehalten in der Sitzung der Rundfunksektion des Ungarischen Elektrotechnischen Vereins am 21. Februar 1934 (Übersetzung aus Elektrotechnika, H. 10. 1934. S. 215).

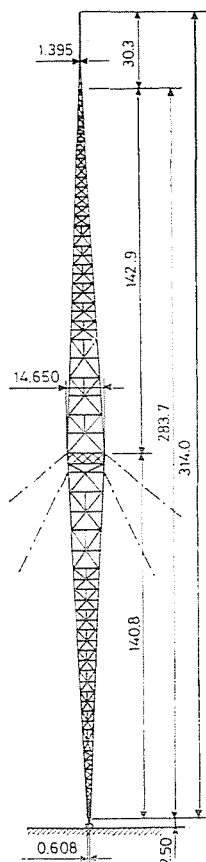


Abb. 1. Skizze des Funkturms

Die Quersteife wird durch bei jedem zweiten Geschoß eingebaute horizontale Versteifungsglieder gewährleistet, außerdem wurde jede Ecke, wo Horizontalstäbe zusammentreffen, versteift.

Der Turm wird durch die Schrägseile bei dem mittleren, breitesten Querschnitt angefaßt; sie sind so angeordnet, daß sie in Planansicht mit den Diagonalen des Turmquerschnitts Winkel von $22,5^\circ$ bilden. Die Seile greifen also nicht in den Ecken des Bauwerks, sondern in einem zu diesem Zweck ausgebildeten Tragwerk ein. Deshalb besteht dieses Tragwerk aus Gurträgern für die Aufnahme der vertikalen Seilkraftkomponenten und einem horizontalen Rahmen für die Aufnahme der Horizontalkomponenten. Die inneren Ecken des Rahmens sind auf die Untergurte des vertikalen Fachwerks abgestützt.

Das Fachwerk des Turms hat eine Gesamthöhe von 284 m. Der höchste Teil des Turms wird durch ein über diese Höhe noch um 30 m ausfahrbares verzinktes Stahlrohr gebildet. Der Röhrenquerschnitt vermindert sich nach aufwärts: Unten hat er einen Durchmesser von 325 mm, am oberen Ende von 80 mm.

Der Teil des Fachwerks, in den der Röhrenpol ganz eingezogen werden kann, ist mit einem Leitwerk versehen, in dem das Rohr bewegt bzw. an einer beliebigen Stelle befestigt werden kann. Die Beweglichkeit des Röhrenpols ermöglicht die Längenänderung der Antenne, also die Änderung der Wellenlänge innerhalb der vorgegebenen engen Grenzen.

In der einen Turmecke ist die mit Sicherheitskorb ausgerüstete Leiter für den Aufstieg untergebracht (Abb. 2). In der unteren Turmhälfte wendet sich der Kletterer dem Eckstab, in den oberen Turmhälfte der Achse des Turms zu. Zum Ausruhen dienen kleine Balkone in Abständen von 40 bis 60 m.



Abb. 2. Die Leiter im Funkturm

b) Entwurfsgrundsätze und Vorschriften

Der auf das Bauwerk wirkende Winddruck wurde durch mit der Höhe zunehmende Werte berücksichtigt, u. zw.:

0— 40 m	120 kg/m ²
40—100 m	150 „
100—150 m	175 „
150—200 m	200 „
über 200 m	250 „

Die dem Wind ausgesetzten Flächen wurden mit 1,5-fachem Wert bezogen auf die Bauteile im Windschatten berechnet.

Aufgrund der Stabkräfte aus dem Winddruck und dem Eigengewicht der Konstruktion waren die Stabprofile so zu bemessen, daß die in den Stäben auftretenden Beanspruchungen die zulässigen Spannungen nicht übersteigen.

Für Zug und Biegung	waren zulässig	1 600 kg/cm ²
Für Druck bei $\lambda < 100$	waren zulässig	1600—9 λ kg/cm ²
Für Druck bei $\lambda > 100$	waren zulässig	$\frac{7\,000\,000}{\lambda^2}$ kg/cm ² .

Dabei bedeutet λ den Schlankheitsgrad, der durch das Verhältnis von Knicklänge zu Trägheitsradius bestimmt wird.

In den Verbindungen wurden Rohschrauben benutzt, mit zulässigen Spannungen:

für Scherung	1 000 kg/cm ²
für Manteldruck	2 600 kg/cm ² .

Die Schrauben waren durch aus der Mutter vorstehendes Gewinde einschneiden gesichert.

Der Werkstoff des Bauwerks ist Flußeisen mit einer

Fließgrenze von	2 400 kg/cm ²
Zugfestigkeit von	3 600—4 500 kg/cm ²
Dehnung von	22—28%.

Die Eckstabprofile sind — mit der Ausnahme des obersten Turmteils — überall aus zwei Breitflachstählen und drei Winkelstählen zusammengesetzt (Abb. 3). Die Profilbreite beträgt in der unteren Turmhälfte bis zu dem Punkt Nr. 31 in etwa 100 m Höhe unverändert 300 mm, von hier aus bis zur Mitte 350 mm, und nimmt von der Mitte nach oben ständig ab, um am Gipfel nur 90 mm zu betragen.

Es fällt auf, daß die Stabprofile in der Höhe des Punktes Nr. 31 plötzlich wachsen. Das hat zwei Gründe; der eine besteht in den für die Bemessung

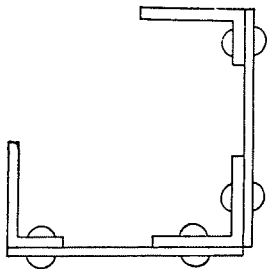


Abb. 3. Das Eckstabprofil

des Turms vorgesehenen zwei verschiedenen Belastungen. Neben dem bereits erwähnten, nach oben zunehmenden Winddruck muß nämlich auch der Fall angenommen werden, daß der Wind nur auf den Teil des Turms über der Verankerung mit dem ständigen Wert von 150 kg/m^2 wirkt.

Wirft man hinsichtlich dieser Frage einen Blick in die statische Berechnung, so ist aus dem Verlauf der für die Gurtkräfte maßgebenden beiden Momentenlinien (Abb. 4) zu erkennen, daß bezüglich des Turmteils über dem Punkt 31 der gesamte Winddruck, für den Turmteil unter diesem Punkte aber ein verminderter, nur von oben wirkender Wind maßgebende Kräfte liefert.

Auf der linken Seite von Abb. 5 sind die Stabkräfte aus der Windlast dargestellt. Es ist zu erkennen, daß in der Gesetzmäßigkeit der Kräfte bei Punkt 31 ein Knick vorhanden ist: Aus den Kräften infolge des Oberwindes hebt sich die aus dem vollen Winddruck herrührende Wirkung sprunghaft heraus.

Die Stabkräfte werden jedoch auch durch andere Faktoren beeinflusst. In den Eckstäben des Turmunterteils nehmen neben Winddruck und Eigengewicht auch die Verankerungsseile am Kräftespiel teil. Die Wirkung der Seile ist von dem Wind abhängig. Wird die gemeinsame Wirkung von Eigengewicht, Wind und Seilen untersucht, sind im allgemeinen die Eckstäbe auf der windfreien Seite des Turms vor Augen zu halten, weil sich die verschiedenen Wirkungen in diesen am ungünstigsten summieren.

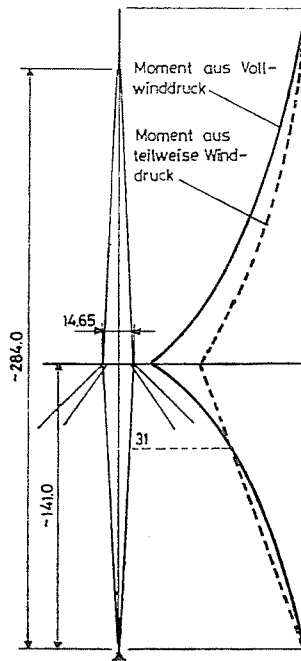


Abb. 4. Momente aus Winddruck

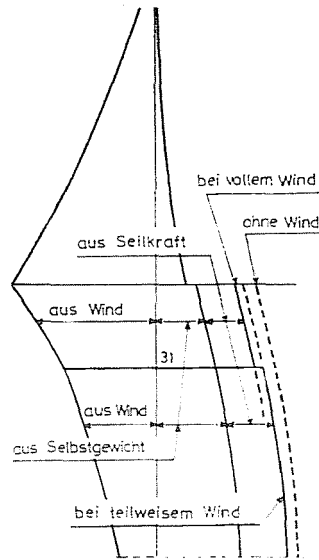


Abb. 5. Eckstabkräfte

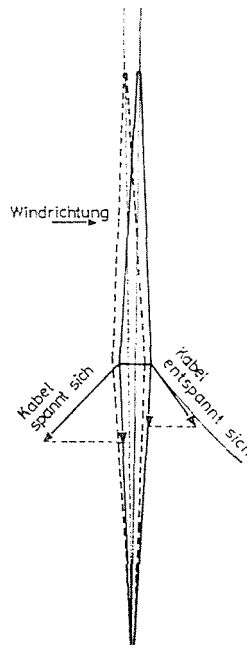


Abb. 6. Eckstabkraft aus Seilspannung

Abb. 6 zeigt, daß im Eckstab in Windschatten die aus den Seilkraftkomponenten herrührende Kraft im Vergleich mit dem windfreien Zustand abnimmt. Die Verminderung ist selbstverständlich bei Wirkung des vollen Winddruckes höher.

Die Größe der Eckstabkräfte auf Wirkung des Eigengewichts und der Seilkräfte ist auf der rechten Seite von Abb. 5 zu sehen. Die Summierung der beiden Seiten der Abbildung ergibt die maßgebenden Eckstabkräfte.

Die Abweichung in den Kraftwerten ist gering; sie würde an sich die tatsächliche Größe der Profilvergrößerung nicht rechtfertigen; letztere wird durch den Umstand entscheidend beeinflusst, daß die Knicklänge der Gurtstäbe von dem Punkt 31 an bis 42 m Höhe über der Mitte größer als an anderen Stellen ist.

Das Fachwerk ist als eine mit Ersatzdiagonalen berechnete, doppelte Ausfachung, aufgrund der auftretenden Scherkräfte bemessen. Alle Fachwerkstäbe bestehen aus je einem Winkelstahl und schließen sich ohne Dazwischenschaltung eines Knotenbleches an die Eckstäbe an. Knotenbleche mußten nur im höchsten Teil des Turms benutzt werden, weil dort die Breite der Gurtprofile zur Anbringung der erforderlichen Verbindungsschrauben nicht ausreichte. Für die Ausführung ohne Knotenbleche wurden die abstehenden Schenkel der Fachwerkwinkel nach außen gewendet.

Die Stahlkonstruktion steht auf einem Bodenisolator; für den Fall einer Beschädigung des letzteren wurde für eine Vorrichtung gesorgt, mit deren Hilfe dieser ausgewechselt werden kann (Abb. 7). Mit zwischen den senkrechten Schenkeln des an die Turmsohle angeschraubten Heberahmens und dem

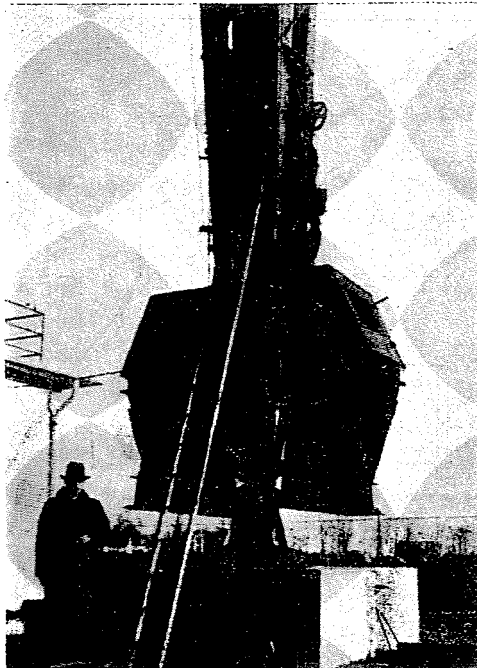


Abb. 7. Die Hebevorrichtung des Turms

Stahlbetonfundament angebrachten hydraulischen Pressen kann der Turm angehoben und der beschädigte Isolator entfernt werden. Die Hebeanlage befindet sich nicht ständig an dem Turmfuß, wird nur notwendigenfalls montiert. Der Turm läßt sich nur anheben, wenn gleichzeitig die Verankerungsseile soweit gelockert werden, daß in diesen innerhalb der Anhebung keine die Vorspannkraft übersteigende Spannung entstehe.

Die Stahlkonstruktion wird gestrichen. Schon vor der Montage wurde sie mit einem Grundanstrich versehen. Infolgedessen schien der elektrische Kontakt zwischen den aneinander angepaßten Teilen nicht genügend gewährleistet zu sein und es wurde die Anordnung von Leitungen erforderlich.

An den vier Ecken des Turms führt je ein — auch mit dem Röhrenpol verbundenes — Kupferkabel bis zur Spitze. Außerdem wurden auf dem Mittelabschnitt von 140 m Länge des Turms — wo die Stromstärke am größten ist —, auf jede Seitenfläche zwei, insgesamt acht Kabel $\varnothing 50 \text{ mm}^2$ montiert, und alle diese wurden nicht nur mit der Stahlkonstruktion, sondern auch miteinander verbunden.

Aus Luftverkehrsrücksichten ist der Turm bei Nacht beleuchtet. Dazu dienen in drei verschiedenen Höhen angeordnete je zwei Lampen. Das Kabel für die Stromversorgung der Beleuchtung und das Kabel für die Fernregistrierung der Meßwerte der in 240 m Höhe aufgestellten meteorologischen Instrumente werden in der Turmecke neben der Leiter geführt, damit sie stets leicht zugänglich seien.

2. Die Fundamente

Der Turmbau stellt eine senkrechte Belastung von rund 480 t dar, die unter der Bodenoberfläche durch einen Stahlbeton-Gründungskörper von 6×6 m auf den in 3,5 m Tiefe befindlichen tragfähigen Untergrund verteilt wird. Die Beanspruchung des Bodens bleibt unter 2 kg/cm^2 .

Acht Verankerungsfundamente (Abb. 8) sind in Abständen von 178 m von dem Mittelpfeiler radial angeordnet. Die diese belastende Seilkraft beträgt 72,5 t; ihre Richtung bildet mit der Horizontalen einen Winkel von 40° . Abmessungen und Form des Gründungskörpers wurden so gewählt, daß die Resultierende aus Seilkraft und Eigengewicht auf die Gleitfläche annähernd senkrecht stehe, ferner die Gleitsicherheit — ohne Berücksichtigung des passiven Erddrucks — in dem nicht durchnäßten Untergrund etwa zweifach sei. Der Verankerungsbetonblock ist in Horizontalprojektion keilförmig. Ein Verankerungsfundament hat ein Volumen von 40 m^3 und wiegt 88 t.

Die Seilkraft wird durch zwei Breitflachstähle in das Betonfundament geleitet und durch Stahldorne übertragen. Außerhalb des Betonkörpers sind die Breitflachstähle parallel zueinander in Abständen von 100 mm angeordnet,

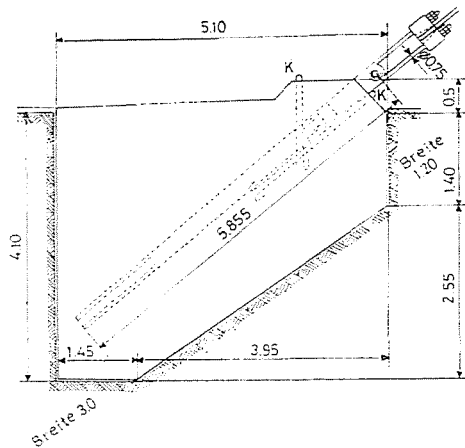


Abb. 8. Verankerungsblock. K—Haken für die provisorische Seile

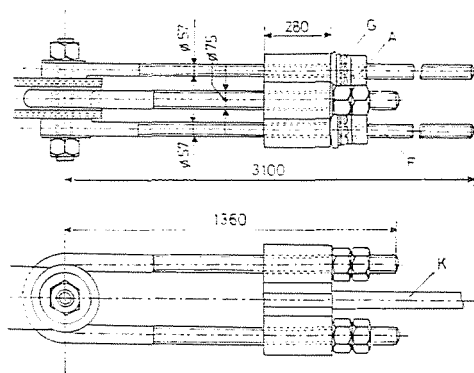


Abb. 9. Verbindung des endgültigen Verankerungskabels mit dem Block. K—Kabel; F—Spannschraube; A—Spannschraubenmutter; G—Kugellager

innerhalb des Betonkörpers divergieren sie. Gründungskörper und Verankerungsseil werden durch eine zwischen den beiden Breitflachstählen befindliche und an diese mit Hilfe von Bolzen befestigte Scheibe verbunden (Abb. 9).

3. Verankerungsseile und Isolatoren

Ein gespanntes Seil unter gleichmäßig verteilter Last nimmt die Form der sog. Kettenkurve an. Die im Seil auftretenden Kräfte werden aus der transzendenten Gleichung der Kettenkurve berechnet.

Für die Berechnung von Seilen ist in der Fachliteratur kein genaues Verfahren bekannt, das auch die elastische Dehnung des Seils berücksichtigen würde. Von dem Ministerialoberingenieur Dr. József Barta wurde für die

Berechnung der Seile dieses Turms eine originale und alle Umstände erfassende Theorie ausgearbeitet.

Die maßgebende Seilkraft ergab sich — auch die Vorspannkraft von 32 t inbegriffen — zu rund 75 t. Die Seile haben 57 mm Durchmesser und ein Gewicht von 13 kg/m.

Aus funktechnischen Gründen wurden die 220 m langen Seile nicht in je einem zusammenhängenden Stück, sondern aus kürzeren Abschnitten von 60 und 30 m Länge hergestellt. Die Seile mußten sowohl von dem Turm als auch von der Erde isoliert werden, jedoch mußten auch die einzelnen Seilabschnitte voneinander isoliert werden, um die mögliche Abstimmung des Seils auf die Wellenlänge, die sonst hätte erfolgen können, und damit die Strahlungsverluste womöglich zu vermindern.

Das Seil wird von dem Turm mit Hilfe von zwei unmittelbar nacheinander angebrachten Isolatoren isoliert (Abb. 10). Zur Isolierung der Seilteile dienen drei Isolatoren ähnlicher Konstruktion je Seil (Abb. 11). Diese sind das Seil entlang so verteilt, daß sich etwa $60 + 60 + 60 + 30$ m lange Seilabschnitte ergeben. Das Porzellan sitzt in einem dreizackigen Stahlformkörper und ist mit einer Stahlkappe abgedeckt. Das eine Seil schließt sich über einen zwischengeschalteten, geteilten Kegel an den großen Stahlformkörper, und das andere über einen durch das Porzellan durchgesteckten Stift an die Stahlkappe an.



Abb. 10. Doppelter Seilisolator

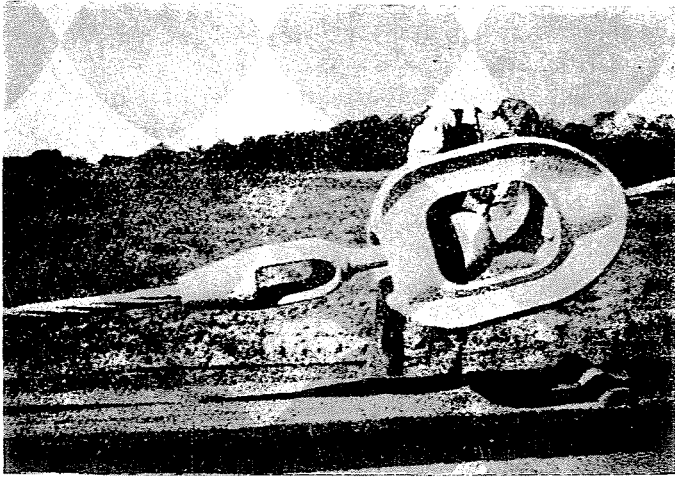


Abb. 11. Zwischenliegender Seilisolator

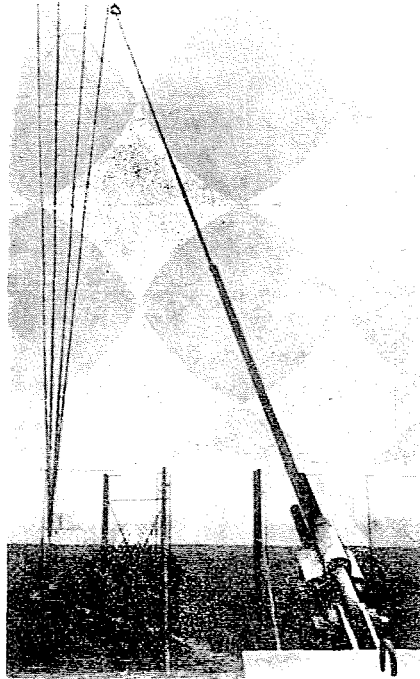


Abb. 12. Verbindung des Verankerungskabels mit dem Block (in der Abbildung ist unmittelbar über dem Stahlformstück die Meßstange zu sehen)

Beim Anschluß des Seils an den Gründungskörper wurde kein Isolator angeordnet, das Seil endet im Stahlformkörper in Abb. 12. Die U-förmige Schraube, die das Seilende hält, ist mit der im Verankerungsblock durch Bolzen befestigten Scheibe verbunden (Abbildungen 9 und 12).

Aus Import waren lediglich der vollständige Bodenisolator und das Porzellan der Seilisolatoren zu beschaffen.

Der Bodenisolator (Abb. 13) besteht aus vier Stahlgußstücken und zwei Porzellankegeln. Die beiden Stahlhalbkugeln in der Mitte bilden ein Kugelgelenk. Aus der unteren Halbkugel reicht ein Bolzen in die entsprechende Vertiefung der oberen. Durch diesen Bolzen wird die auf das Gelenk wirkende,

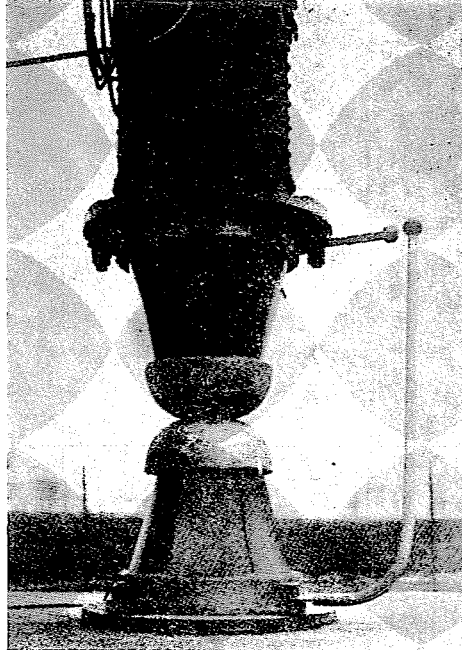


Abb. 13. Bodenisolator

geringe horizontale Reaktionskomponente übertragen. Das Porzellan ist hohl, mit 90 mm Wanddicke.

Das Porzellan hat eine Bruchfestigkeit von $5\,600\text{ kg/cm}^2$, also gleich der Bruchfestigkeit von Gußeisen. Auch die Stahlfassungen wurden aus besonders hochfesten Werkstoffen gefertigt. Für den Bodenisolator wurde Cr-Ni-V-Stahl verwendet. Der am höchsten beanspruchte Teil der Seilisolatoren, der lange Bolzen wurde aus geschmiedetem Cr-Ni-Mo-Stahl hergestellt, dessen Zugfestigkeit durch Wärmebehandlung auf $10\,000\text{ kg/cm}^2$ erhöht wurde. Die Stahlgußstücke sowie das für die Konstruktion verwendete Walzeisenmaterial wurden in dem Staatlichen Eisen- und Stahlwerk Diósgyőr hergestellt.

4. Die Montagearbeit

Die Gründungskörper waren rechtzeitig fertiggestellt, so daß bei Beginn der Montage, Anfang Juli 1933 vollkommen abgebundene Fundamente zur Verfügung standen.

Nachdem der Bodenisolator aufgestellt war, wurde der unterste 12 m hohe, zusammengenietete Teil des Turms versetzt und an in das Erdreich eingelassenen Pfählen befestigt. Dieser Turmteil war noch sehr schmal, der Montagekran hätte darin keinen Platz gehabt. Daher wurde zu Beginn der Montage der Montagekran durch einen Holzmast im Inneren des Turms ersetzt, der mit dem Fuß an die Stahlkonstruktion aufgehängt, und dessen Spitze an Rammpfählen befestigt war. Die Bauteile wurden mit Hilfe eines über die Seilrolle auf der Mastspitze laufenden Seils gehoben und mit Schrauben endgültig befestigt. In dieser Weise wurden drei Geschosse gebaut. Die provisorische Verankerung mußte selbstverständlich dem Fortschreiten der Arbeit entsprechend von Geschosß zu Geschosß erneuert werden. In einer Höhe von etwa 33 m kam es zur Montage des Montagekranes, wieder mit Hilfe des Holzmastes.

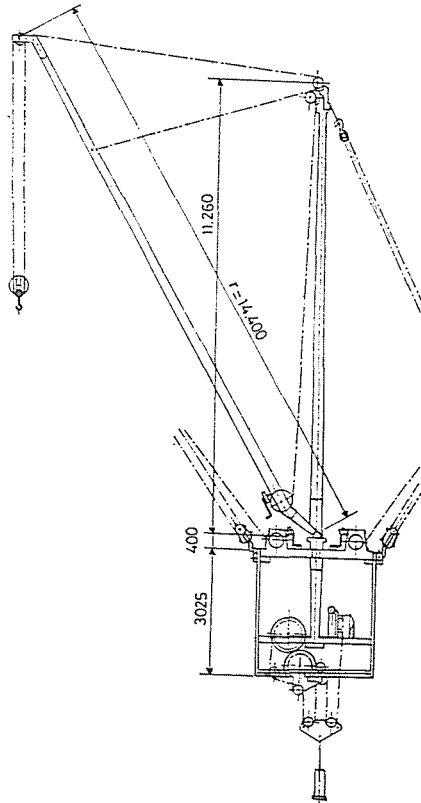


Abb. 14. Montagekran

Der Montagekran konnte nur auf kleinere Stücke zerlegt gehoben werden und für die Dauer des Zusammenbaues derselben wurde auf dem Turm ein Gerüst gebaut. Der Montagekran (Abb. 14) wurde auf einen etwa 3 m hohen Krankorb mit $2,30 \times 2,30$ m Grundfläche aufgestellt, der an den vier Ecken mit Drahtseil-Flaschenzügen auf die Stahlkonstruktion aufgehängt war. Die freien Hängeseilenden wurden auf Handwinden auf der oberen Platte des Krankorbes aufgerollt (Abb. 15).

In der Mitte des Krankorbes stand ein 12 m hoher, leicht konischer Rohrmast, der mit einer sich in die Auslegerebene einstellenden Kappe ausgerüstet

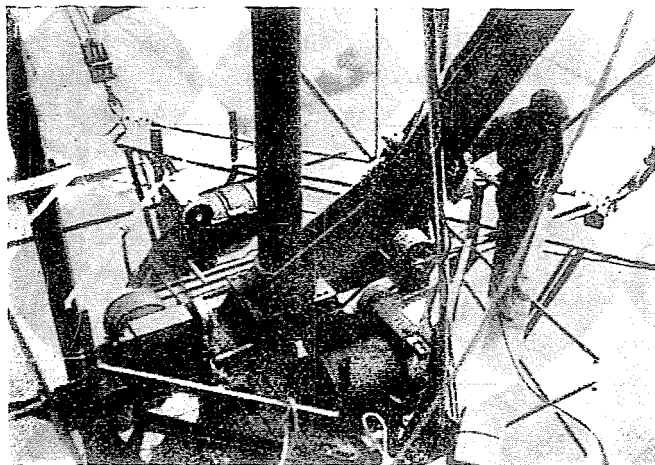


Abb. 15. Oberplatte des Montagekrankorbes

war. Der Mast stützte sich auf die obere Platte des Krankorbes, setzte sich jedoch nach unten bis zu dem waagerechten Tragsystem im unteren Drittel des Korbes fort, war aber an letzteres nicht befestigt. Ein wesentlicher Teil des Kranes war weiterhin der um den Mast drehbare Ausleger, auf gemeinsamem Kugellager mit dessen Abstützung, der kippbar an der Mastspitze befestigt war. Zur Stabilisierung des Kranes mußte die Mastspitze ausgebundener werden.

Das Lastseil führte über die Seilrollen auf den Spitzen des Auslegers und des Mastes, durch das Mastrohr zu dem im unteren Drittel des Krankorbes eingebauten elektrischen Antrieb, der auf dem Prinzip der Seilreibung beruhte. Das hinter dem Antrieb frei hängende Seilende war zur Herstellung der erforderlichen Reibung mit einem Gegengewicht versehen. Während des Hebens der Last fuhr das Gegengewicht im Turm nach unten.

Der Kranarm hatte 10,5 m Ausladung, mit diesem ließen sich also alle Teile des Bauwerks erreichen. Der Kran war für 1,35 t Nutzlast bemessen; schwerere Stücke kamen nicht vor.

Der Kranführer hielt sich im Krankorb auf. Dies ist aus der Sicht der Montage vorteilhafter als jede andere Lösung, weil der Kranführer während der Arbeit die plötzlich geäußerten Wünsche nicht immer tadellos erfüllen könnte, wenn ihm diese nur in Worten mitgeteilt wurden und er selbst den Arbeitsablauf nicht sehen könnte. Da aber bei diesem Bauvorhaben jedes Mißverständnis unabsehbare Folgen hätte haben können, mußte alles so geordnet werden, daß kein Irrtum vorkommen könne. Das Montageteam war mit der auf dem Boden tätigen Arbeitsgruppe durch Fernsprecher verbunden.

Nach der Aufstellung des Kranes ging die Arbeit rasch vor sich. War die Montage eines Geschosses beendet, wurden die Hängeflaschenzüge des Kranes einer nach dem anderen höher versetzt, dann wurden die Verankerungen der Mastspitze gelockert und der ganze Kran mit Hilfe der Handwinden gehoben. Während dieses Arbeitsganges war der Kranarm ganz eingezogen, damit der zu dieser Zeit unten ausgekeilte Mast einer womöglich geringen Biegung ausgesetzt sei.

Mit fortschreitender Montage kam die die Stabilität der Konstruktion gewährleistende provisorische Verankerung immer höher zu liegen. Auf die Zuverlässigkeit derselben wurde ein großes Gewicht gelegt. Sobald es möglich war, wurden für diesen Zweck die Betonfundamente benutzt. Die Seilverbindungen waren so ausgestaltet, daß die Seile mit wachsender Turmhöhe entsprechend umgebunden, also leicht gelockert und gespannt werden können.

Während der Montage wurden ständig 16 provisorische Verankerungseile benutzt; an jeden Ankerblock waren je zwei Seile angeschlossen, die den Turm in verschiedenen Höhen hielten. Hatte die Stahlkonstruktion zwei, drei bzw. vier Geschoßhöhen über dem obersten Verband erreicht, wurden die tiefer befindlichen Seile in vierer Gruppen gelockert, umgebunden und wieder gespannt.

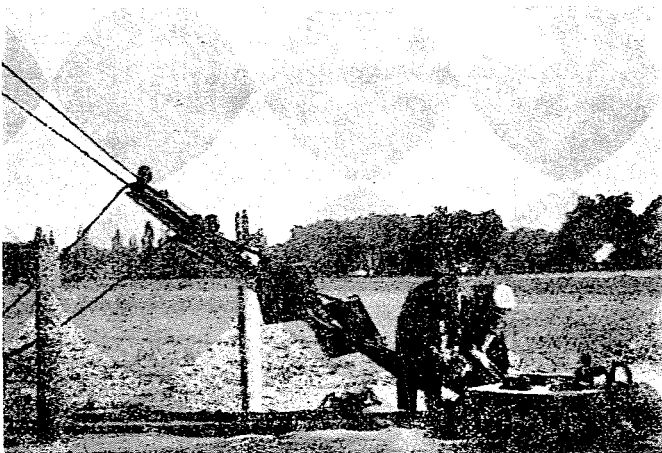


Abb. 16. Provisorische Verankerung

Das geschah folgendermaßen. Die provisorischen Seile waren durch die Vorrichtung in Abb. 16 mit den Betonfundamenten verbunden. Die beiden Zweige des über die Seilrolle laufenden Drahtseils kamen über Leitrollen nebeneinander zu liegen und konnten auf diesem Abschnitt mit Hilfe von Seilklemmen befestigt werden. In 35 m Abstand vom Turm waren vier Winden radial so angeordnet, daß sich mit diesen mit Hilfe der über die am Mittelpfeiler befestigten Hackenrollen laufenden Seile gleichzeitig vier, sonst je zwei Verankerungen bedienen ließen.

Durch die Seile war die Konstruktion nicht mittig gehalten; daher wurde bei deren Versetzung darauf geachtet, daß die gleichzeitig bedienten Seile keine Verdrehung des Turms herbeiführen; die Seile, an denen ein Arbeitsgang ausgeführt wurde, wurden daher immer so gruppiert (Abb. 17), daß ihre eine Verdrehung herbeiführenden Horizontalkomponenten einander das Gleichgewicht halten.

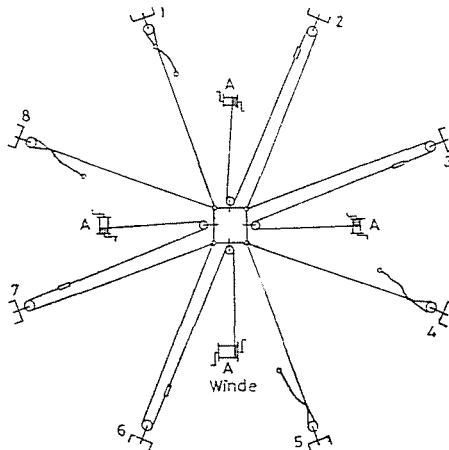


Abb. 17. Gruppierung der provisorischen Verankerungskabel beim Umbinden

Im weiteren bestand das Umbinden darin, daß die lockeren Zweige der vier Seile gespannt und die Seilklemmen entfernt wurden; die Seile wurden ganz locker gelassen, ihre oberen Enden nach oben gezogen und festgebunden, und schließlich wurden die Seile gespannt und mit Klemmen befestigt. Dann wurde derselbe Vorgang mit den anderen vier Seilen wiederholt.

Bei der Bedienung der Seile bot sich Gelegenheit und eine Verfahrensweise, die Vertikalität des Turms zu regeln. Die Messungen wurden mit zwei aufeinander senkrecht aufgestellten Instrumenten unternommen. Vor Beginn der Bauarbeiten wurden die Aufstellungspunkte so gewählt, daß bei den Messungen kein Abstecker eingestellt werden müsse. Die Vertikalität wurde mit Hilfe der Seile geregelt. Für die genaue Einstellung, d. h. für Feinregelung wurden beim Anschluß der Seile an die Betonblöcke Spansschrauben zwischengeschaltet.

Ende August 1933 war in 141 m Höhe die Mitte des Turms erreicht. Die Montage dieses Mittelteils erforderte die Arbeit etwa einer Woche. Hierher kamen die schwersten Stücke der Konstruktion.

Auf den Einbau des Mittelteils folgte die Montage der endgültigen Verankerungskabel. Die Seilstücke wurden auf dem Boden mit Isolatoren versehen. Die Kabel konnten nur stückweise eingehoben werden, weil das Gesamtgewicht von 4200 kg des Seils die Tragkraft des Kranes überstieg. Die Seilenden wurden oben in der Höhe zusammengefügt. Beim Spannen der Kabel mußten die einander gegenüber befindlichen Seile aufeinander abgestimmt bedient werden. Während des Spannens mußte mit wachsender Annäherung eine immer größere Kraft entfaltet werden. Das wurde durch den Einsatz der Hilfsvorrichtungen erreicht. Auch hier dienten die Winden als Kraftquellen. In der ersten Phase des Spannens wurde die Zugkraft durch ein einzelnes Drahtseil vermittelt, mit dessen Hilfe das Betonfundament etwa bis zu einem Abstand von 18 m angenähert wurde; die Zugkraft betrug dabei etwa 1,5 t, das Seilende hob sich noch nicht vom Boden. Dann wurde ein dreifacher Flaschenzug eingesetzt, mit dem das Fundament bis 7—8 m angenähert wurde; schließlich wurde eher der höheren Sicherheit halber als zur Erleichterung der Arbeit auch ein 5 t Flaschenzug benutzt. Mit Hilfe dieser Geräte erreichten die Seilenden bei einer Seilspannung von etwa 6 t die 3,5 m langen Spannschrauben (Abb. 18). Zur Mäßigung der Reibung wurden bei den Spannschrauben Kugellager benutzt.

Nach Verfertigung der endgültigen Verbindungen und Beseitigung der provisorischen kam die Montage wieder in Schwung, und da es keiner weiteren Verankerungen bedurfte, ging die Arbeit rasch vorwärts. In 240 m Höhe verengt sich der Turm soweit, daß der Krankorb nicht weitergehoben werden konnte. Von dieser Höhe an war auch keine so große Ausladung des Kranarms

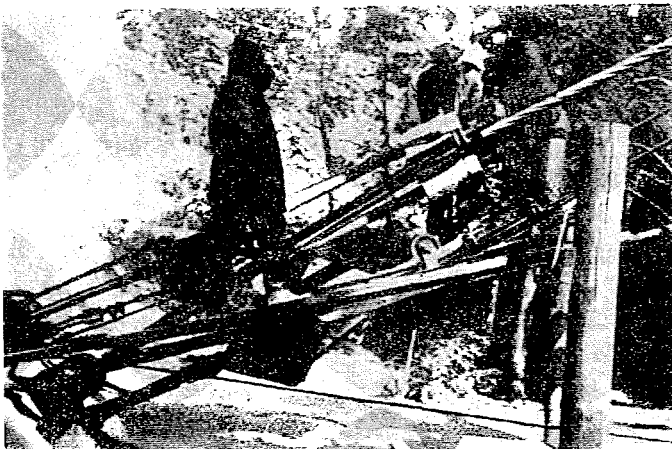


Abb. 18. Spannen der Tragseile

nötig, daher wurde dieser abmontiert. Bei der weiteren Arbeit wurden die Lasten mit Hilfe eines kleinen Arms auf der drehbaren Kappe des Mastes gehoben; der Krankorb blieb an seiner Stelle in 240 m Höhe, nur der Kranmast wurde höher versetzt.

Nach der Montage des Fachwerks war noch der Röhrenpol aufzustellen. Das 36 m lange Rohr wurde von der Firma Manfred Weiss in zwei Stücken geliefert. Das Gesamtgewicht des Rohres überschritt die Tragfähigkeit des Montagekranes, so konnte das Rohr vor dem Einheben nicht zusammengestellt werden. Das im Inneren des Turms herabgelassene Lastseil wurde in 70 m Höhe über dem Boden aus der Konstruktion herausgezogen. In dieser Weise wurden die Rohrstücke in die Höhe befördert und oben zusammengefügt. Die elektrotechnischen Messungen waren inzwischen bereits beendet, das Rohr konnte gleich aufgestellt werden.

Die am 5. Juli begonnene Arbeit endete am 5. November 1933 mit der Abmontierung des Kranes. Die Stahlkonstruktion wurde von der Brückenbauabteilung der *Ungarischen Staatlichen Eisen-, Stahl- und Maschinenfabriken* hergestellt, projektiert und montiert. In der Entwurfsarbeit leisteten die von der Londoner Firma *Milliken Bros.*, dem europäischen Patentinhaber, zur Verfügung gestellten informativen Daten eine große Hilfe. Die Firma *Milliken Bros.* nahm auch an der Überprüfung der von dem ungarischen Werk ausgearbeiteten Projekte teil, die schließlich im Auftrag der Generaldirektion der ungarischen Post von Ministerialsektionsrat *Pál Tantó* kontrolliert wurden.

Das Montageverfahren wich hinsichtlich der eingesetzten Mittel vollkommen von den bei anderen ähnlichen Bauvorhaben üblichen ab. Die geistreiche Lösung beim Einsatz des Montagekranes verdiente mit Recht die Anerkennung auch ausländischer Sachverständiger.

Daß es gelang, diese in ihrer Art seltene, außerordentlich riskante Arbeit ohne jeden Unfall durchzuführen, ist zwei Umständen zuzuschreiben: der vollkommenen Bewandertheit und Eignung der Mitarbeiter und der gründlichen vorherigen Planung des Arbeitsvorgangs.

Die Arbeitsorganisation ließ kaum etwas zu wünschen übrig; während der Bauausführung mußten viele Teilfragen gelöst werden, selbstverständlich in der Weise, daß die Lösungen stets zur rechten Zeit, voll ausgereift zur Verfügung stehen.

Den bei der Montage beschäftigten Mitarbeitern wurde jede Bequemlichkeit gewährt, die zur Erhöhung der Lebenssicherheit geeignet zu sein schien. So wurden sie vor schwerer, erschöpfender Arbeit geschützt, brauchten z. B. vor Beginn der Arbeit den Turm nicht zu erklettern. Durch gute Entlohnung der Arbeit und Aussetzen von Prämien wurde erreicht, daß die Mitarbeiter — trotz der wenig günstigen Zukunftsaussichten — bestrebt waren, die Arbeit womöglich bald zu Ende zu führen und die einwandfreie Ausführung dieser auch international bedeutenden Arbeit zu ermöglichen.