

Šilovcev, D.

Bau der Šuchov-Turmstützen mit 128 und 69,5 m Höhe

Deutsche Vollübersetzung aus dem Russischen aus:

Stroitel'naja promyšlennost'. Moskva, (1929), Nr 12, S. 1022 – 1026.

Russ.: Сооружение башен-опор высотой 128 и 69,5 м системы инж. В. Г. Шухова
Sooruženie bašen-opor vysotoj 128 i 69,5 m sistemy inž. V. G. Šuchova

In den Jahren 1928/1929 wurden vom Staatl. Planungsbüro des Moskauer Maschinenverbands Metallstützen zur Überleitung von zwei 115 kV-Stromleitungen über den Fluß Oka gebaut.

Die Arbeiten wurden von den Nižnij Novgoroder Staatl. Bezirks-Elektrizitätswerken (NIGRÉS) mit Sitz in Balachna (Kreis Nižnij Novgorod) durchgeführt.

Die Überführungsstelle wurde bei Dzeržinsk (ehemals Rastjapino) etwas unterhalb der Einbuchtung von Dudenevo gewählt. Auf dem linken Flußufer wird die Flußniederung im Frühling häufig bis zu einer Breite von 3 km überflutet, das rechte Flußufer grenzt an einen steilen Berg mit 120 m Höhe.

Jede Überleitung wurde mit vier Metallstützen geplant, von denen sich drei (Höhen jeweils 10; 69,5 und 128 m) auf dem linken und eine mit 20 m Höhe auf dem rechten Ufer befinden.

Die Endstützen mit 10 und 20 m sind Verankerungen und nehmen die Horizontalschubkräfte aus den Leitungen auf. Die mittleren sind Zwischenstützen und nehmen außer der Windlast nur die senkrechte Belastung auf, was durch Aufhängen der Leitungen an den Scheiben der Isolatorketten erreicht wird (Abb. 1).

Die Höhe der höchsten Stütze mit 128 m bestimmt sich durch die Größe des Durchhangs von etwa 92 m (9 % bei einer Spannweite von 970) und den Anforderungen der Schifffahrt (niedrigste Durchfahrtshöhe plus 32 m über dem höchsten Frühjahrswasserstand der Oka).

Die Metallstützen wurden von V. G. Šuchov, dem Chefingenieur des Baubüros, anhand der Vorgaben der Hauptverwaltung für die Elektroindustrie geplant.

Die Stützen mit 128, 69,5 und 20 m sind netzförmige Systeme nach dem Plan des Erfinders (Rotationshyperboloide). Die 10 m-Stütze ist eine normale vierbeinige. Die 128 m-Stütze besteht aus 5, die 69,5 m-Stütze aus 3 Abschnitten und die 20 m-Stütze aus 1 Abschnitt.

Das Fundament der netzförmigen Türme bildet ein Betonring, an dem über gleichmäßig im Kreis verteilte Ankerbolzen der Turm befestigt ist.

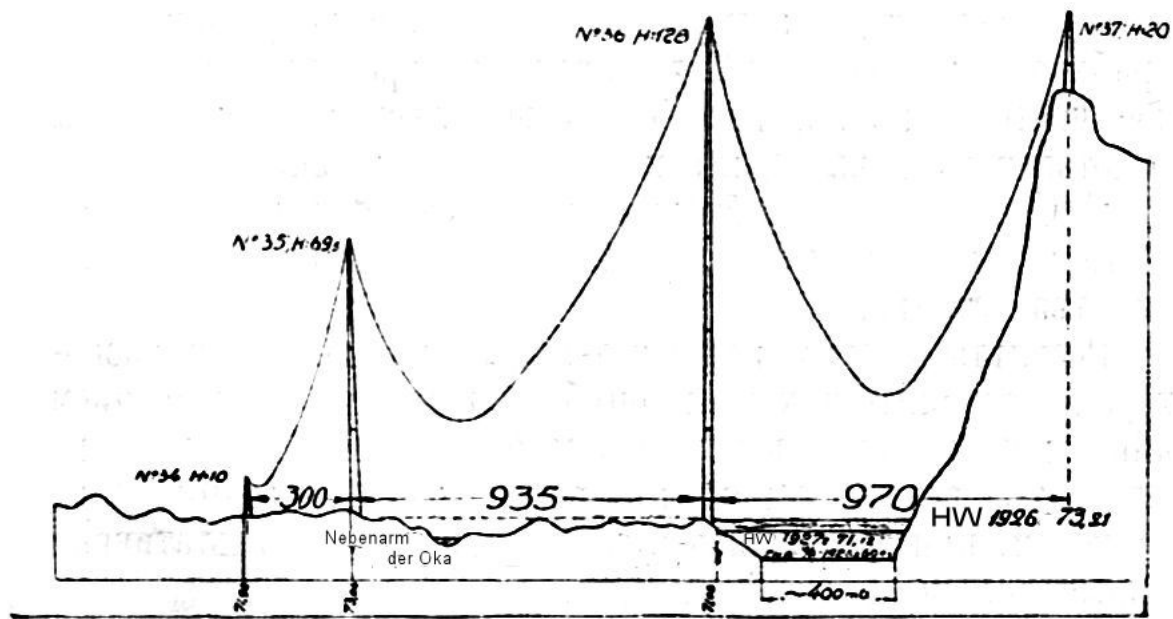


Abb. 1. Überleitung der 115 kV-Stromleitungen Dzeržinsk – Bogorodsk – Vorsma – Pavlovo

Die Kopfkonstruktion (Traverse) für 3 Leitungen besteht aus einem Querbalken: dieser besteht aus 2 U-Eisen (auf den 128 und 69,5 m-Stützen), aus 2 U-Eisen und 2 Lafetten bei den 10 und 20 m-Stützen, 20,400 m lang (Abstand zwischen den Leitungen 10 m), abgestützt durch ein räumliches Stützen- und Streben-System, das auf einem quadratischen Rahmen ruht, ebenfalls aus U-Eisen. Der Rahmen ist mit 8 Schrauben am oberen Turmring befestigt.

Die wichtigsten Abmessungen sind in den Abb. 2 und 4 angegeben.

Die Zwischenringe der Abschnitte bestanden aus Winkeleisen, durch besondere Laschen an den Streben befestigt; der Abstand zwischen den Ringen betrug etwa 2.400 mm. Die Abschlußringe zwischen den Abschnitten bestehen aus zwei konzentrischen Winkeleisen, verbunden durch ein Gitter; die Streben liegen zwischen den Ringen und sind an ihnen mit besonderen Schellen befestigt.

Die Streben der Abschnitte wurden mit Winkeleisen verbunden, die in beiden Richtungen gebogen wurden und von beiden Seiten mit Decklaschen überblendet wurden (Abb. 3, 5, 6).

Hauptfaktor für einen erfolgreichen und schnellen Aufbau der Šuchov-Türme sind genaue Schablonen, hergestellt vom Zeichenbüro des Baukontors in einer exzellenten Vollständigkeit.¹

Der Zusammenbau des 128 m-Turms erfolgte ohne Hilfsgerüste durch Hochziehen der gesamten Abschnitte, die innerhalb des Fundaments am Boden auf einem Bretterbelag montiert worden waren. Diese Arbeitsmethode war von Šuchov erstmals 1920 – 1922 bei der Montage des 150 m hohen Komintern-Rundfunksenders in Moskau auf Šabolovka angewandt worden.

¹ Die sehr kluge, auf der elementaren Geometrie beruhende Bestimmungsmethode für die berechneten Abmessungen, wie sie Šuchov für seine Türme vorschlägt, ist in Kürze beschrieben in dem Buch von Prof. K. G. Grejner: „Kotel'noe delo <Kesselwesen>“. Moskva: Staatsverlag, 1929, S. 82 – 86.

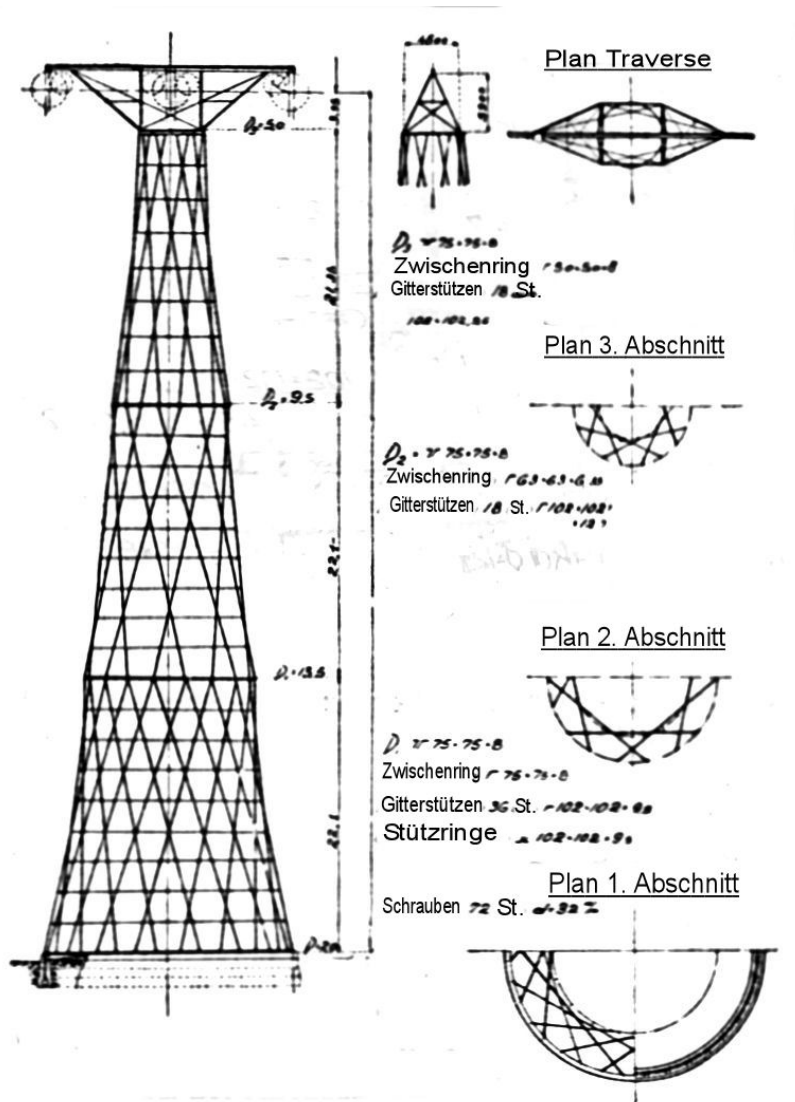


Abb. 2. Zwischenmast Nr 2 nach V. G. Šuchov. Höhe 69,5 m

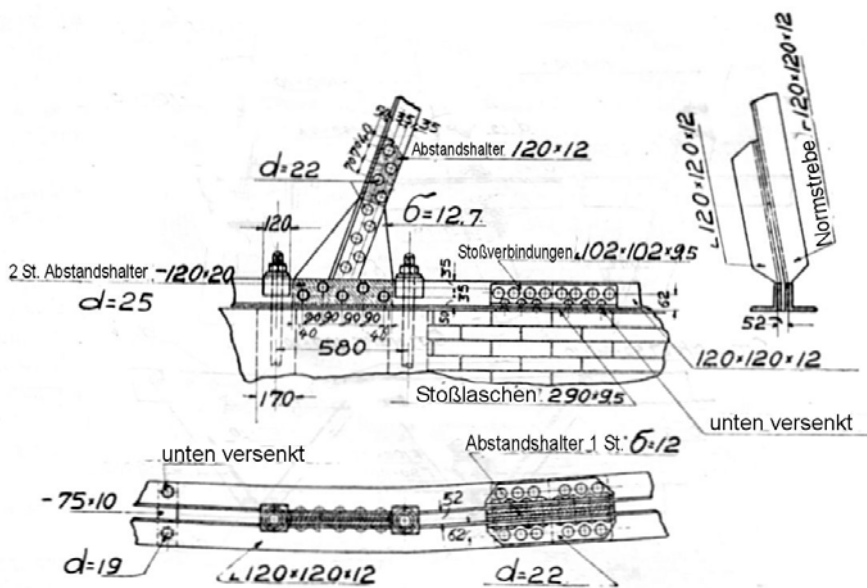


Abb. 3. Mast H = 128 m und Details des Stützrings

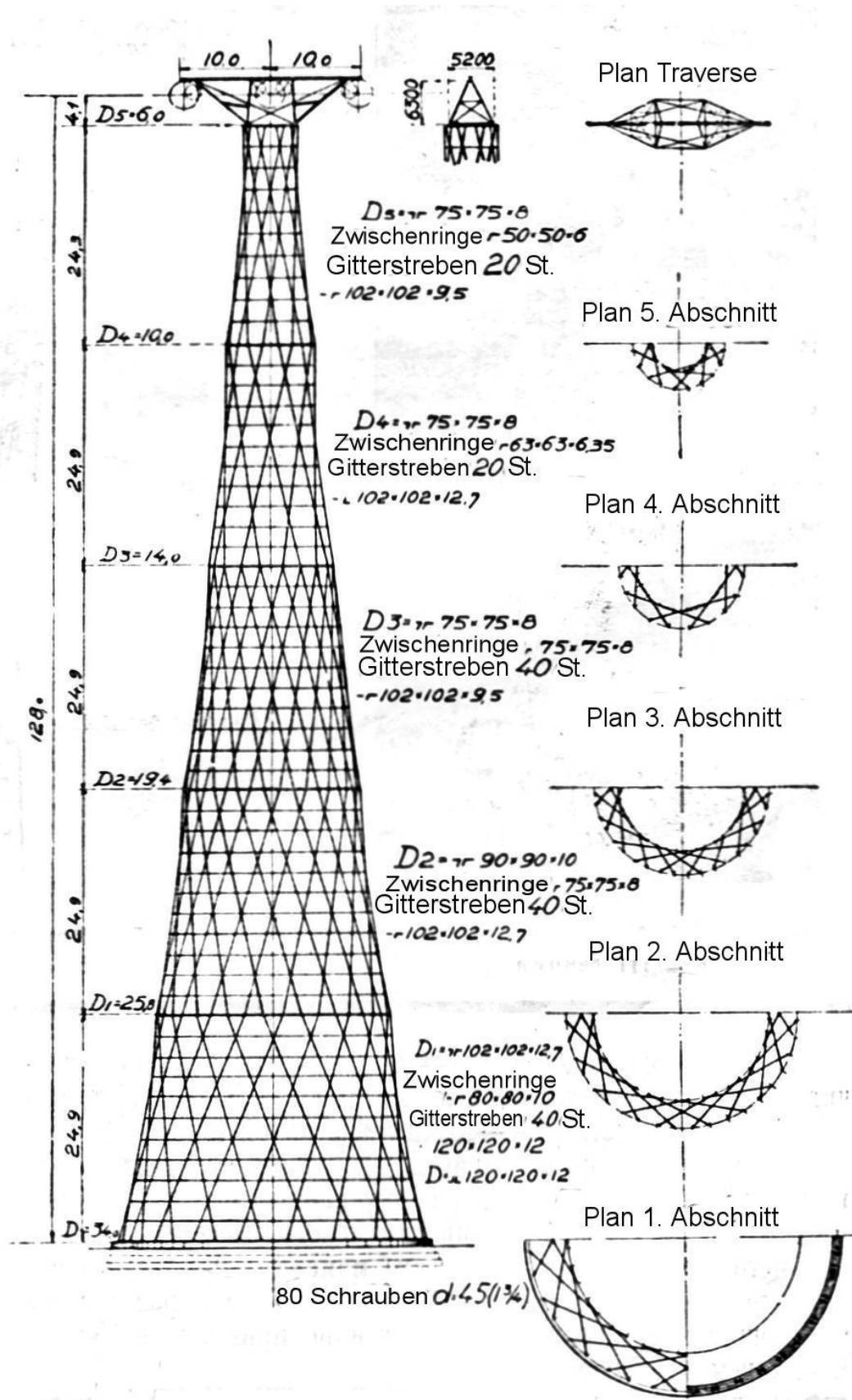


Abb. 4. Zwischenmast Nr 3 nach V. G. Šuchov. Höhe $H = 128$ m

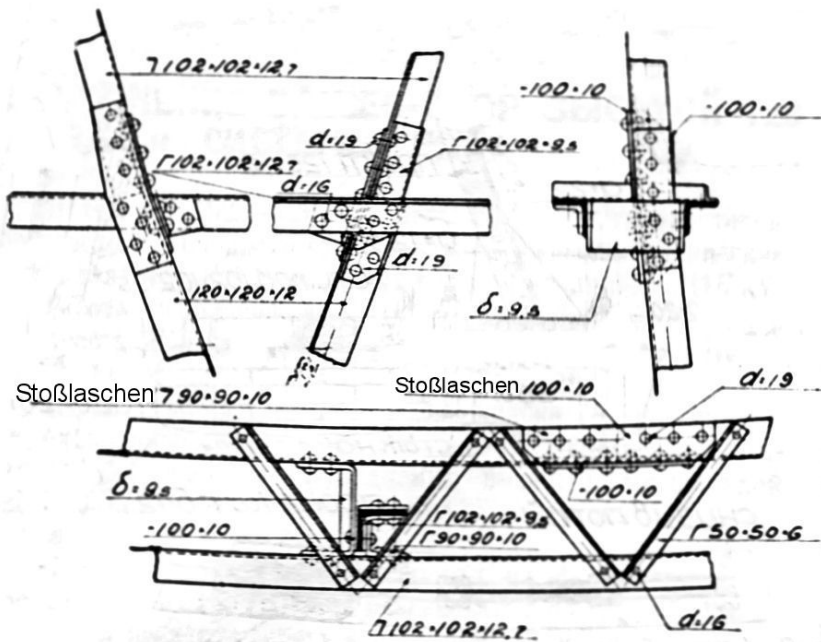


Abb. 5. Mast H = 128 m. Verbindungen von 1. und 2. Abschnitt

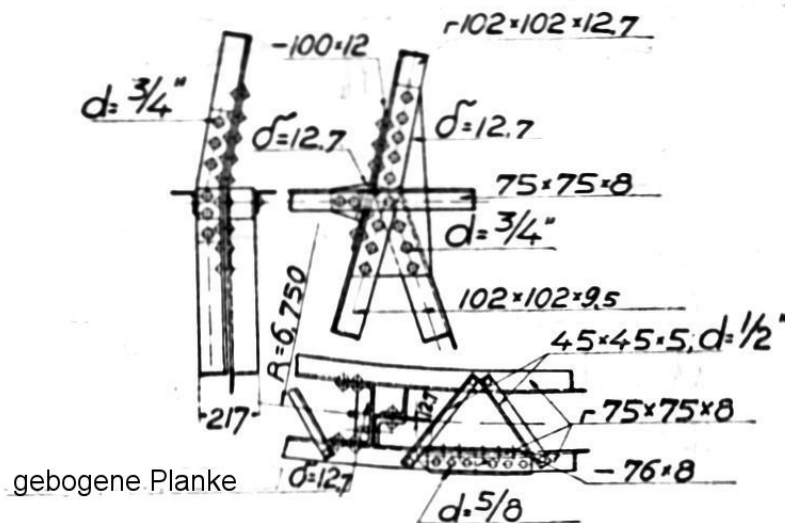


Abb. 6. Mast H = 69,5 m. Verbindungen von 1. und 2. Abschnitt

Der Montageablauf im Kurzen:

Der erste Abschnitt mit 25 m wurde auf dem Fundamentring mit zwei leichten Rammen von etwa 28 m Höhe errichtet. Danach wurde innerhalb des Fundaments auf dem Boden ein kreisförmiger Bretterbelag angelegt, der dem Durchmesser des 2. Abschnitts entsprach, und darauf wurde mit denselben Rammen der zweite Abschnitt montiert. Danach wurden die Rammen entfernt. Der 2. Abschnitt wurde auf die geplante Stelle hochgezogen. Dann wurde der 3. Abschnitt montiert, jedoch ohne Rammen, sondern mit Seilen, aufgehängt oben am 2. Abschnitt. Nach der Montage wurde der 3. Abschnitt auf die geplante Stelle hochgezogen, danach wurden der 4. und 5. Abschnitt jeweils montiert und hochgezogen.

Vor dem Hochziehen eines Abschnitts wurden alle Hebevorrichtungen angebracht, die zum Heben des jeweiligen Abschnitts gebraucht wurden, so auch bei den darauffolgenden Abschnitten, was zu einem minimalen Arbeitsaufwand in großer Höhe führte.

Das Heben erfolgte, indem ein Abschnitt an 5 Punkten über eine besondere Vorrichtung (Abb. 7) hochgezogen wurde, bestehend aus:

1. 5 Widerlager oben auf dem fertiggebauten Abschnitt, aus Kanthölzern 320 x 320 und ca. 4.500 mm lang in Form eines A, befestigt an den Streben und dem oberen Ring mit Lattenschuhen und Beschlägen. An die Querriegel der Widerlager wurden unbewegliche Rollen gehängt.
2. 5 Ausleger unten auf dem zu hebenden Abschnitt, ebenfalls in Form eines A aus 320 x 320 mm Kanthölzern, befestigt mit Lattenschuhen etwas unterhalb der ersten Strebenüberschneidung.

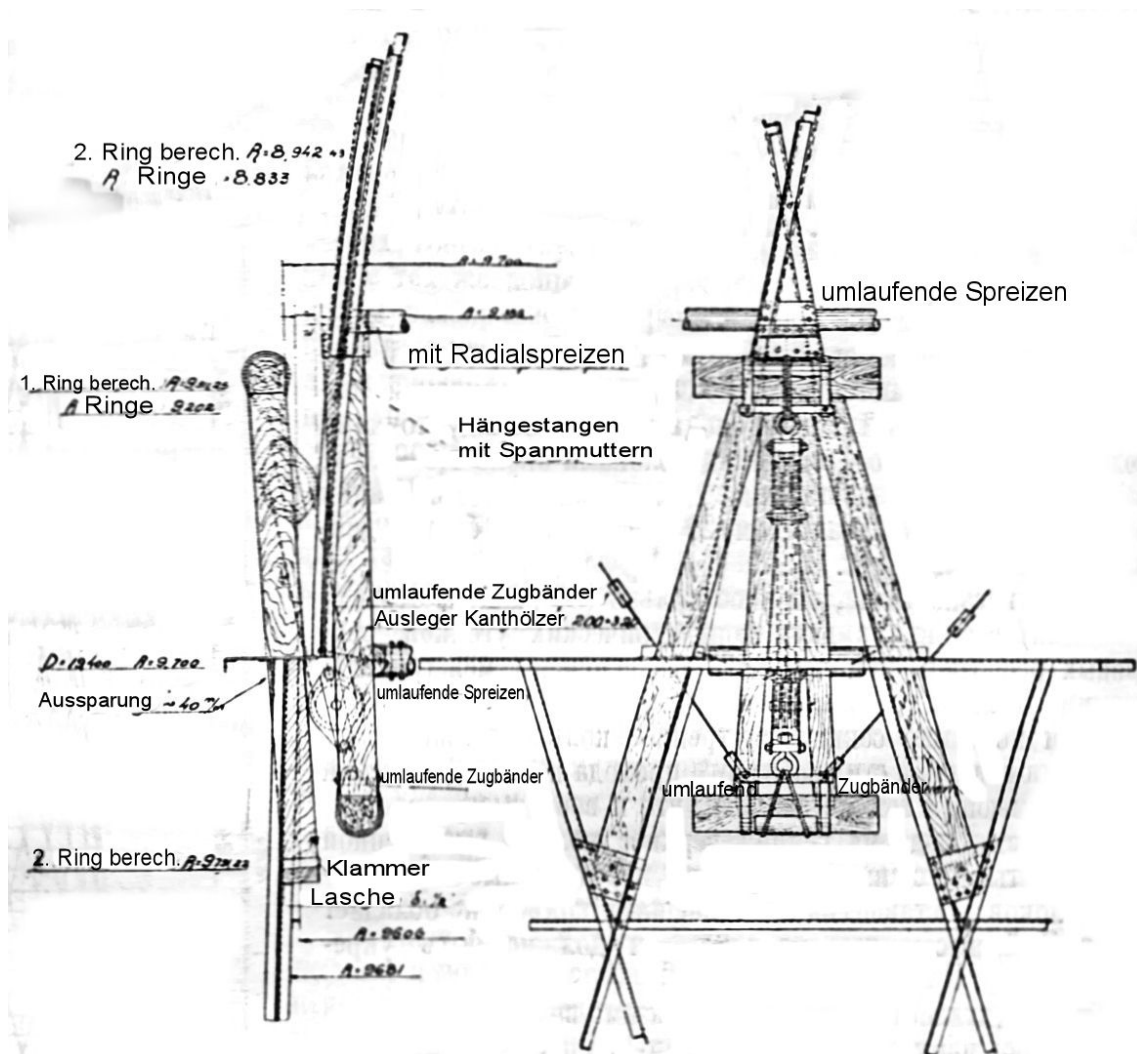


Abb. 7. Vorrichtung zum Heben des 3. Abschnitts des Šuchov-Masts Nr 3, H = 128 m

Unten wurden an die Ausleger bewegliche Rollen gehängt. Die Ausleger unten und oben wurden miteinander durch ein System von Spreizen und Zügen verbunden; hierdurch sollte sichergestellt werden, daß sich ihre Lage nicht verändert, falls vorübergehend Überbelastungen und Abweichungen der anliegenden Kräfte von den berechneten Richtungen einträten, was bei einem Heben unter starker Windeinwirkung vorkommen kann, wenn ein Abschnitt bis zu 10 m nach einer Seite ausschlägt.

Die Streben, an denen die Ausleger befestigt wurden, wurden mit ca. 8 m langen Winkeleisen speziell verstärkt.

Die Aussteifungen des Abschnitts unten, bestehend aus Auslegern und einem Spreizen-Züge-System, stellen ein sehr steifes Raumbachwerk dar, auf den der zu hebende Abschnitt gestellt wird. Es wird sozusagen ein steifes Plattformfachwerk mit einem daran befestigten Abschnitt gehoben.

Die Widerlager ragen 2.500 mm über die Spitze des stehenden Abschnitts hinaus, die Ausleger werden 1.500 mm unter den zu hebenden Abschnitt abgelassen, was zum Abschluß des Hebevorgangs etwa 4 m Spiel zwischen den Hebevorrichtungen und ca. 1,5 – 1,8 m zwischen den Rollen ergibt; dieser Abstand ist völlig ausreichend bei einem ruhigen Aufrollen eines 20 mm starken Hebeseils um die Rollen mit 480 mm Durchmesser (Abb. 7).

Wie oben bereits erwähnt, besteht der Stützring (der zwischen den Abschnitten befindliche Ring) aus zwei konzentrischen, durch ein Gitter verbundenen Winkeleisen, wobei die Streben zwischen den Winkeleisen liegen.

Beim Hochheben eines Abschnitts muß der innere Ring entfernt werden, um dem von unten kommenden Abschnitt freien Durchlass zu gewähren, da er denselben Durchmesser besitzt, wie der oben bereits gebaute.

Während der Abschnitt gehoben wird, ist der obere Ring des bereits gebauten Abschnitts Druckkräften ausgesetzt, übertragen von den Rollen auf die Widerlager. Der allein verbleibende äußere Ring besitzt nicht genügend Drucksteifigkeit und muß deshalb verstärkt werden.

Dies wurde folgendermaßen bewerkstelligt: der innere Ring wurde über den äußeren nach außen verlagert. Da er natürlich zu kurz war, wurden seine einzelnen Abschnitte mit ca. 1.200 mm langen Winkeleisen verbunden, und die Ringe bildeten ein Gitter.

Dieses Verfahren zur Verstärkung war, da es minimale zusätzliche Kosten an Arbeitskraft und Material erforderte, das einfachste und billigste.

Um besser, sicherer und schneller arbeiten zu können, wurden oben an den Verbindungen der ersten vier Abschnitte leichte Balkone mit etwa 700 mm Breite an den Konsolen angebracht.

Hochgezogen wurde mit fünf 20 mm-Stahlseilen, die für eine durchschnittliche Belastung mit 15.000 kg firmenzertifiziert waren.

Die Anzahl der Rollenzugstränge variierte zwischen fünf für das Heben des 2. Abschnitts und zweien für den 5. Abschnitt, was praktisch auf eine gleiche Belastung der Drahtseile von 2 – 2,5 t hinauslief.

Beim Heben der Abschnitte war eine recht große Seillänge zu bewältigen (beim Heben des 2. Abschnitts $25 \times 5 = 125$, des 3. $50 \times 4 = 200$, des 4. $75 \times 3 = 225$ und des 5. $100 \times 2 = 200$ m).

Beim Aufwickeln des Drahtseiles auf die Trommel hätte das Drillmoment ständig zugenommen und am Ende der Arbeiten das Dreifache des Ausgangswertes betragen. Deshalb wurde die konstante Drillmomentmethode angewandt. Dies gelang dadurch, daß das Drahtseil 5 mal um die Windentrommel gewickelt wurde, dann wurde sein auslaufendes Ende, in dem die Beanspruchung annähernd 150 mal geringer war als im Zugteil, durch eine zweite Winde gespannt gehalten, dadurch konnte das Seil auf der Trommel der ersten Winde nicht verrutschen.

Die Last im auslaufenden Seilende wurde nach der Gleichung $q = Qe^{-f\alpha}$ bestimmt, mit q und Q für die Last im Zugteil und im freien Seilende; $e = 2,71828$; $f =$ Rutschwert des elastischen Seiles auf der Trommel, für Gußeisenstahl gleich 0,16 (ohne Schmiermittel), $\alpha = n \cdot 2\pi$ für den Trommelumschlingungswinkel des Seiles, ausgedrückt in Winkleinheiten, n für die Anzahl der Umdrehungen. Die Traglast der Hebewinden betrug 4 – 4,5 t, die der zweiten Winden 1,5 t.

Beim Heben wandert das Seil ständig von einem Trommelende zum anderen. War die Trommel voll, wurde angehalten, das Zugende wurde an einem speziellen Fangseil befestigt und etwas abgelassen, damit die Last auf das Fangseil übergeht. Das nunmehr von der Last befreite Seil wurde auf der Trommel etwas nachgelassen und in die Ausgangslage verbracht. Dieser Vorgang – die Seilverschiebung – ist beim Heben der schwierigste und verlangt höchste Aufmerksamkeit aller Beteiligten. Er muß gleichzeitig an allen 5 Winden durchgeführt werden. Er dauert im Durchschnitt erfahrungsgemäß 12 bis 20 Minuten.

Ein gleichmäßiges Arbeiten an allen Winden wurde durch verabredete Zeichen und gleiches Vorgehen erreicht, wofür an allen Winden Visierkreuze und Meßplatten angebracht waren.

Vor dem Heben wurden in allen Fällen Lastproben entsprechend dem Gewicht des zu hebenden Abschnitts durchgeführt. Dafür wurden zwischen den 5 Hubauslegern 5 Plattformen angebracht, befestigt an den Streben des Abschnitts. Darauf wurden Behälter, gefüllt mit Sand, gestellt. Dieses System wurde gesamt um 150 – 200 mm hochgezogen, wobei sorgfältig alle Elemente der Hebevorrichtungen beobachtet wurden. Danach wurde der Abschnitt wieder abgelassen, von der Last befreit, und der Hebevorgang begann.

Während des Hebevorgangs befanden sich alle Arbeiter auf der Erde und arbeiteten an den Winden.

Kurz vor Abschluß des Hebevorgangs kletterten Bergsteiger hinauf; der Vorarbeiter dirigierte sowohl die Arbeit an den Winden als auch die Schritte oben. Nach Erreichen der geplanten Höhe wurden die Streben des gehobenen Abschnitts in die Stoßverbindungen eingefügt und mit Schrauben befestigt. Normalerweise dauerte ein Hebevorgang einen ganzen Tag, doch kam es auch vor, daß wegen starkem Wind die Arbeit auf halbem Weg eingestellt werden mußte, und dann hing der Abschnitt über Nacht in der Luft. In solchen Fällen wurde der hängende Abschnitt verspannt, damit er sich durch den Wind nicht aufschaukle.

Das Aufsetzen der Traverse stellte an sich keinen besonders schwierigen Arbeitsvorgang dar, wurde höchstens durch die recht große Höhe erschwert, was sehr strikte Sicherheitsvorkehrungen erforderlich machte.

Am Traversgestell wurde ein etwa 9 m hohes Holz-Zweibein befestigt, an dessen Spitze Rollen zum Hochheben der Teile und der Bergsteiger befanden.

Dann wurde innerhalb des Turms ein Teil des Traversträgers (2/3 seiner Länge, also annähernd 14 m) hochgehoben. Dieses Trägerteil wurde nach dem Verbringen über die Turmhöhe auf den Rahmen gelegt, danach wurde das restliche Trägerteil hochgezogen und mit dem ersten verbunden. Zuvor waren allen übrigen Traversteile nach oben gezogen worden. Die wichtigsten Stützen und Streben wurden mit Scharnieren am Träger befestigt, der Träger wurde mit den angehängten Teilen an seinen Platz verbracht, und die oben auf dem Rahmen stehenden Bergsteiger befestigten am Rahmen die herabhängenden Streben und Stützen. Diese provisorische Aufstellung und völlig ausreichende Befestigung wurde ganz ruhig und sicher durchgeführt. Die restlichen Arbeiten zur endgültigen Befestigung und Anbringung weiterer Elemente waren problemlos.

Alle Verbindungen wurden vernietet. Vorab wurden am Boden einzelne Elemente miteinander zu möglichst großen Einheiten verbunden und deren Verbindungen vernietet.

Nach der Montage wurden die Verbindungen oben über Hängekörbe abschließend vernietet.

Innerhalb des Turmes befand sich ein großer Hängekorb (2,20 x 1,20 m), in dem sich Niete, Hämmerer, Heizer, Ofen, Nieten, Kohle und Werkzeug befanden. In einem zweiten Bergsteiger-Hängekorb außerhalb der Abschnitte stiegen Arbeiter zur Unterstützung auf. Zur Nieterguppe gehörten auch zwei Windenbediener, die die Niete an die Vernietungsstellen hochzogen.

Bei der geringen Anzahl von Niete, die oben anzubringen waren, und da die Vernietungsstellen sehr verstreut waren, muß man diese Arbeitsweise als einzig machbare anerkennen: sie ist wirtschaftlich und technisch gerechtfertigt. An einem 8-Stunden-Tag setzte die Nieterguppe 100 bis 150 Niete.



Abb. 8. 69,5 m-Mast. Montage des 3. Abschnitts

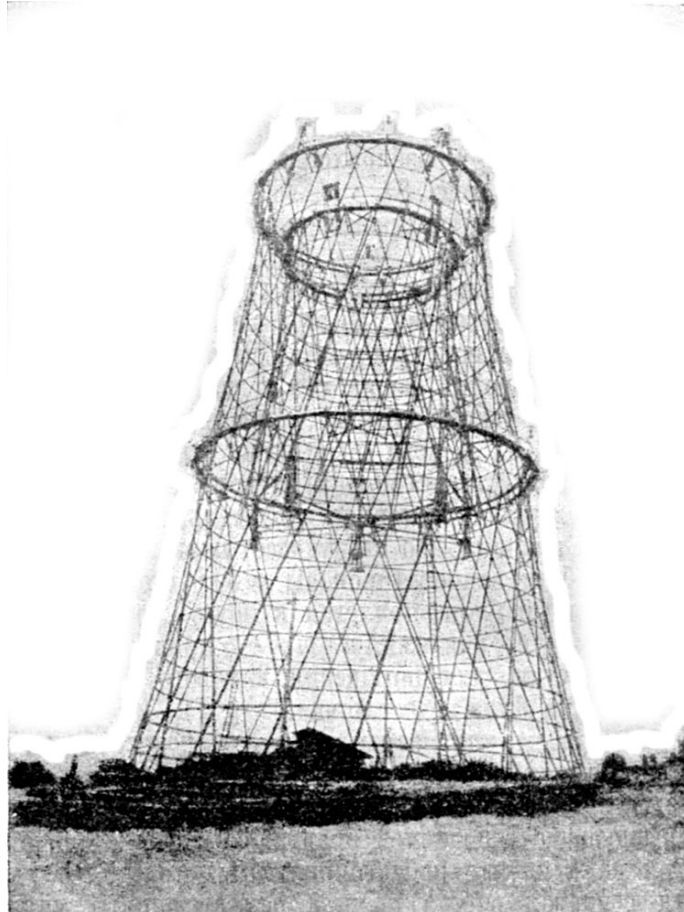


Abb. 9. Heben des 3. Abschnitts der 128 m-Stütze

Der 69,5 m-Turm wurde anders montiert. Der erste Abschnitt wurde ebenfalls mit 2 Rammen montiert. Danach wurde in der Mitte eine Gitterstütze aus 4 Balken aufgestellt, im Grundriß quadratisch, Seitenlänge etwa 1200. An der Stützenspitze und am oberen Ring des ersten Abschnitts wurden rundum Zapfen eingesetzt, auf die ein durchgehender Bretterbelag gelegt wurde. Eine Ramme wurde auf diesen Zwischenboden hochgezogen, darauf wurde der zweite Abschnitt montiert. Danach wurde oben am zweiten Abschnitt ein Rahmen in Form eines Dreiecks gebildet, die Ramme wurde auf die Spitze des zweiten Abschnitts hochgezogen, fest auf diesem Rahmen befestigt und mit Seilen verspannt. Von da aus wurde der dritte Abschnitt und der Traversrahmen montiert, danach wurde der Zwischenboden unter der Ramme entfernt, die Ramme abgelassen und ebenfalls entfernt (Abb. 8).

Die Traverse wurde wie oben beschrieben aufgestellt.

Den 69,5 m-Turm hätte man auch nach dem Verfahren „Heben der einzelnen Abschnitte“ bauen können, doch wäre diese Methode in diesem Fall teurer gekommen, weshalb man sich entschied, mit Rammen zu arbeiten.

Während des Baus des 128 m-Turms für die erste Flußüberbrückung kam es beim Heben des 3. Abschnitts zu einem Unfall. Nach dem Anheben auf ca. 3 m Höhe, verbogen sich die Gitterstäbe an einem der Hubausleger oben, der Ausleger fiel nach innen, der Abschnitt fiel glatt zur Erde und erlitt dabei starke Verformungen.

Ursache des Unfalls war folgende: ursprünglich waren die Hubausleger als Stützen aus einem einzigen Balken geplant. Die am Balken anliegende Hubseilrolle erzeugte darin ein Biegemoment, ergab eine Reaktion auf das Gitter im Befestigungspunkt, und für diese Belastung war die Befestigungssteifigkeit zu gering.

Unter Berücksichtigung möglicher Überbelastungen und dem Auftreten von Negativkräften wurde das gesamte Befestigungssystem wesentlich verstärkt, wie oben bereits beschrieben.

Die darauffolgenden 7 Hebevorgänge verliefen völlig ohne Zwischenfälle, ungeachtet schlechten Wetters in 4 Fällen.

Die gesamten Arbeiten verliefen ohne Unglücksfälle mit Arbeitern, läßt man die gewöhnlichen Verletzungen und Prellungen bei den Schmiedearbeiten beiseite. Dies läßt sich durch die guten Montageausrüstungen erklären, die ständig kontrolliert und geprüft wurden, durch die ausgefeilte Arbeitsorganisation, durch Einhalten der Arbeitsschritte und der vorgeschriebenen Sicherheitsvorschriften, sowie durch tägliche Unterrichtung der Arbeiter.

Zum Vergleich: beim Bau der Metallgerüste von Hochhäusern (analoger Vorgang) in Amerika erleidet jeder 5. Arbeiter bleibende Verletzungen, die Verwaltung muß, ungeachtet der Vorsichtsmaßnahmen, eine Menge Geld zahlen. Dies bedarf keines weiteren Kommentars.

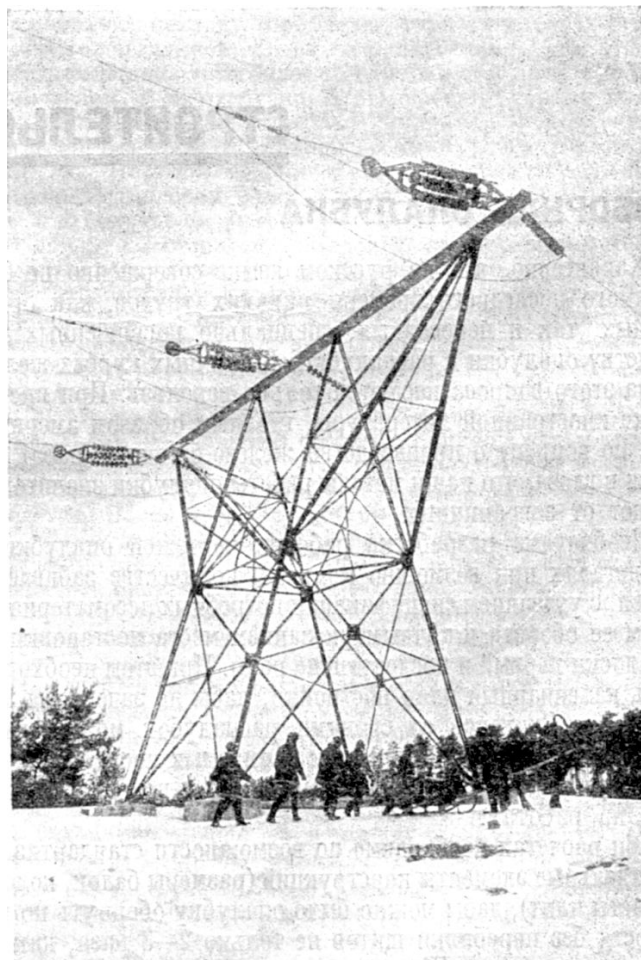


Abb. 9. 10 m hoher Ankermast

Zum Schluß dieser Arbeit folgende Bemerkungen:

1. Die Türme sind, trotz ihrer beträchtlichen Höhe und soliden Belastung, äußerst leicht: der 128 m-Turm wiegt 147,6 t, der 69,5 m-Turm 50,2 t (aus handelsüblichem Eisen bei rechnerischen Windbelastungen von 250 kg/m²). Dies ist die außerordentliche Besonderheit der Šuchov-Türme, die keine Querverstärkungen haben und auch nicht brauchen. Jedes andere System wäre wesentlich schwerer.
2. Die Arbeitsmethode ist sehr originell, im Einzelnen durchdacht, zuverlässig, sicher und braucht ein Minimum an Montagegerät; 80 % der Arbeiten werden am Boden ausgeführt, also in einer Situation, die eine effektive und ständige Kontrolle der Arbeitsqualität zuläßt.
3. Jedes andere Verfahren zum Bau hoher Türme mit großem Durchmesser würde eine sehr große Menge Gerüstmaterial benötigen, vom Gewicht her fast das Doppelte des Turmgewichts. Dadurch würden auch die Kosten für Arbeitskräfte auf mindestens das Doppelte steigen.
4. Es darf noch auf die außergewöhnliche Genauigkeit der Montage hingewiesen werden: die Vermessung der Abweichung der Spitze des 128 m-Turms, durchgeführt von der NIGRÉS-Abnahmekommission, ergab einen verschwindend geringen Wert von 24 mm, was einem $\frac{1}{5333}$ der Höhe entspricht.

Die höchsten Gebäude der Sowjetunion sind der Šabolovka-Turm von Šuchov mit 150 m und die zwei oben beschriebenen Türme mit 128 m; danach folgt die Isaaks-Kathedrale in Leningrad mit 120 m.

Stuttgart, den 31. Oktober 2012

Übersetzt von

(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer