

Überquerung des Swina-Flusses durch eine 110-kV-Freileitung

Autor(en): **Martini, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 2

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916116>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Überquerung des Świna-Flusses durch eine 110-kV-Freileitung

Von L. Martini, Kraków

2305-2312 + 2427

621.315.1.027.811

Der Artikel befasst sich mit Einzelheiten der Überquerung des Flusses Odra/Swina mittels einer Freileitung von 110 kV. Dabei wird besonders auf die technische Lösung der Masten hingewiesen, die aus gitterförmig zusammengefühten Streben, sog. «Nadeln», gebildet werden. Solche Gittermasten zeichnen sich durch geringes Gewicht sowie mühelosen Transport, Aufbau und Unterhalt aus. Vor der Planung dieser Gittermasten wurden eingehende Versuche an gitterförmig zusammengefühten und geschweissten Eisenstäben durchgeführt. Aus diesen Versuchen konnten die optimale Verbindung der Streben wie auch die Lösung weiterer Einzelheiten ermittelt werden.

L'article présente les détails du croisement du fleuve Odra/Swina par une ligne de transmission de 110 kV. Une attention particulière est vouée à la solution technique des pylônes en treillis; pylônes formés par l'assemblage de barres dites «aiguilles». Des pylônes de ce genre sont légers et présentent des facilités au point de vue de leur transport, de leur montage et de leur entretien. Le projet d'exécution de ce type de pylône était précédé par des expériences effectuées sur des barres réunies et soudées en treillis. Ces recherches ont permis d'obtenir une méthode optimale de jonction des aiguilles, ainsi que les solutions appropriées aux autres détails d'exécution.

1. Einleitung

Zur Einspeisung der neuen 110-kV-Transformatorstation in Świnoujście wurde neuerdings eine 110-kV-Doppelleitung erbaut und in Betrieb genommen. Diese Freileitung wird die bisher im Betrieb befindlichen, aber unzuverlässigen Kabelverbindungen ersetzen.

Die neu errichtete Freileitung überquert den Świna-Fluss, welcher als wichtige Wasserverbindung zwischen dem See-

Für die Polleiter wurden 6 Stahlaluminium-Seile, 240/60 mm², und für die Erdseile 2 Stahlaluminium-Seile, 97/70 mm², vorgesehen. Die Polleiter wurden für jeden Drehstromkreis in Dreieck-Anordnung, symmetrisch zu beiden Seiten des Mastes aufgehängt und mit 7 kp/mm² Ausgangsspannung gespannt. Die Spannung der Erdseile betrug 12 kp/mm² (Fig. 3). Die Belastungsannahme für Eislast und Winddruck zeigt Tabelle I.

Der Blitzschutzwinkel ist kleiner als 20 °.

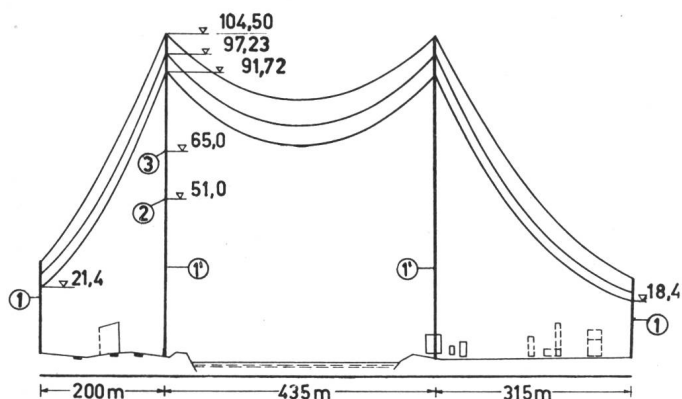


Fig. 1

Längsprofil der Kreuzung

1 Abspannmast; 1' Tragmast; 2 Topphöhe des Segelschiffes «Dar Pomorza»; 3 vorgeschriebene Höhe

hafen Szczecin und der Ostsee benutzt wird. Die Flusskreuzung wird von zwei normalen Abspannmasten begrenzt, zwischen welchen zwei 106 m hohe Tragmaste aufgestellt wurden (Fig. 1). Die Konstruktion dieser Tragmaste darf als eine neuartige Lösung im Freileitungsbau betrachtet werden (Fig. 2).

2. Das Kreuzungsfeld

Die Spannweite des Kreuzungsfeldes beträgt 435 m, die Spannweiten der Nachbarfelder betragen 200 m und 315 m.

Belastungsannahmen

Tabelle I

	Belastungsannahmen	
	Eislast kp/m	Winddruck kp/m ²
Polleiter	0,9128	112,5
Erdseil	0,6384	123,8

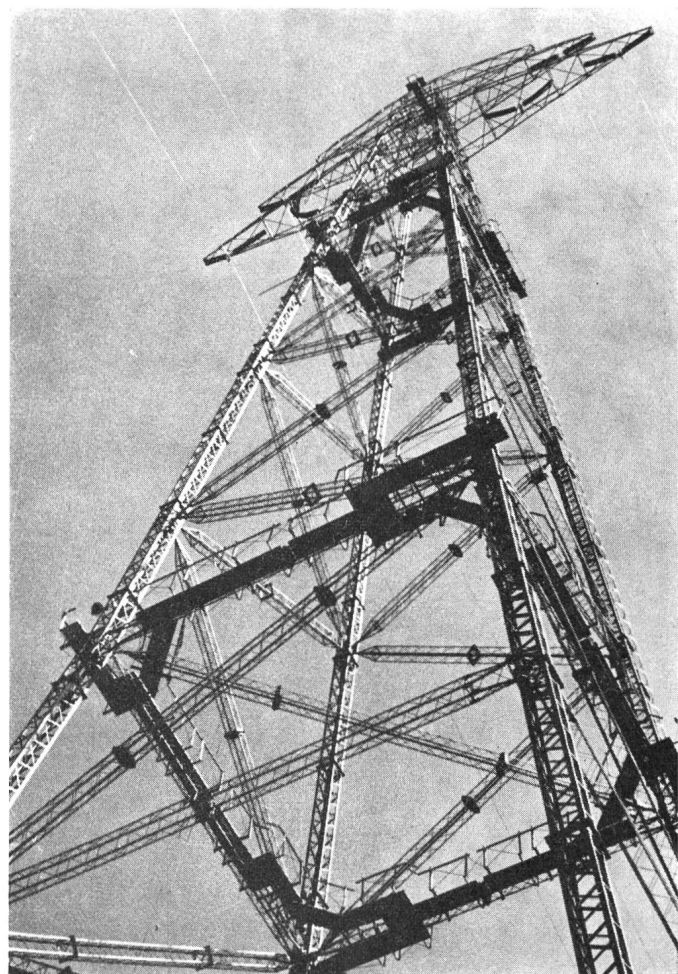


Fig. 2

Kreuzungstragmast von unten gesehen

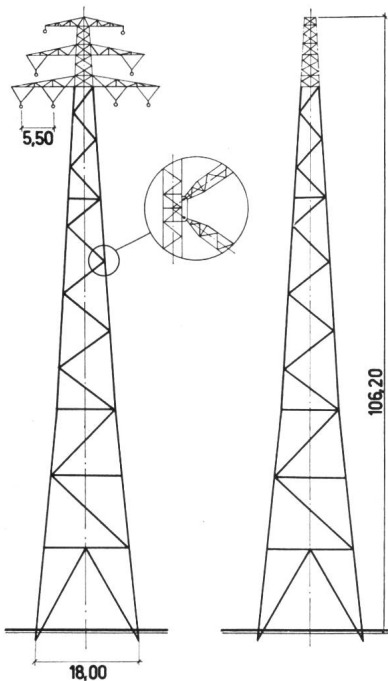


Fig. 3
Kreuzungstragmasten aus Gitterstabelementen

Für die Isolation wurden normale Kappenisolatoren verwendet. Auf den hohen Kreuzungsmasten wurden die Isolatorenketten in V-Aufhängung zur Verringerung der Kettenauslenkung quer zur Leitungsachse montiert. Die Abspannmaste dagegen erhielten Doppelabspannkette. Wegen Vergrößerung der Blitzanfälligkeit und wegen grosser Induktivität der Mastchaftkonstruktion wurde die Anzahl der Isolatoren auf den Kreuzungstragmasten verdoppelt. (Stosshaltspannung bei $1/50 \mu s$ 1191 kV.) Auf den Abspannmasten wurde die Isolation nur um 50 % (bezogen auf die normale Isolation von 110-kV-Freileitungen) verstärkt.

Infolge der grossen Masthöhendifferenz zwischen den Trag- und Abspannmasten entstehen bei den verhältnismässig kurzen Spannweiten in den Aufhängepunkten des Kreuzungstragmasten zu kleine Leiterseil-Durchbiegungswinkel (ca. 36°). Diese wurden durch Anwendung von dreifachen Hängeklammern üblicher Bauart vergrössert. Die Klammern sind in eine besondere Aufhängeeinrichtung (Doppelabstandhalter) (Fig. 4) eingebaut. Zwecks Verminderung von Zugdifferenzen in benachbarten Spannungsfeldern verschiedener Spannweiten wurden die Erdseile mittels 60 cm langen Pendelaufhängungen auf den Tragmasten befestigt. Um die Schwingungsgefahr zu vermindern hat man alle Leiterseile mit Dämpfungsschleifen ausgerüstet und damit die Betriebssicherheit der Freileitung erhöht. Jeder Mast wurde geerdet. Die Masterdungen bestehen aus 4 Tiefenerdern aus verzinkten Winkeleisen, welche bei jedem Mastfuss in die Fundamentgrubensohle etwa 3 m tief eingetrieben

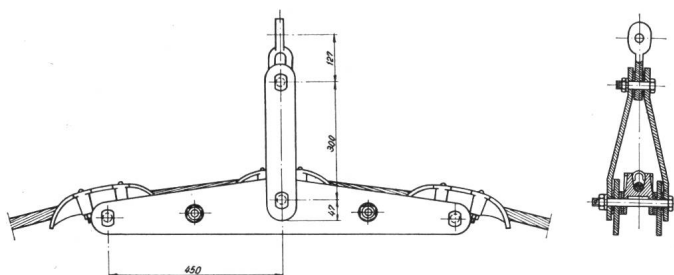


Fig. 4
Dreifache Tragklemme

wurden. Ausserdem wurden rings um jeden Mast je zwei Banderdungen aus verzinktem Bandstahl in einer Tiefe von 0,6 und 1,2 m im Erdboden verlegt. Die Erdungen sind mit jedem Mastfuss elektrisch verbunden. Der Erdübergangswiderstand eines Mastes beträgt nicht mehr als 10Ω .

Die Freileitungskreuzung erfüllt die Anforderungen der Seefahrt- und Luftfahrtsicherheitsvorschriften. Auf den Kreuzungstragmasten wurden Warnlampen für die Flugzeuge installiert. Zu diesem Zweck hat man zwei Lichtbühnen in Form von quadratischen Plattformen in der Höhe von 40 und 76 m vorgesehen (Fig. 5). Die Mastspitzen sind ebenfalls mit Warnlichtern ausgerüstet. Ausserdem sind die Kreuzungsmaste alle 5 m abwechselnd mit roter und weisser Farbe als Kennzeichen des Lufthindernisses gestrichen.

3. Konstruktion der Kreuzungstragmaste

Die wichtigsten Elemente der Überquerung sind die Kreuzungstragmaste. Diese sind 106,2 m hoch. Das Gewicht jedes Mastes beträgt 43,75 t. Die Mastschäfte wurden als grosse Raumbastwerke ausgebildet, deren Stäbe aus langen, schmalen Gitterträgern bestehen. Ihre Enden sind spitzenartig ausgebildet. Sie werden deswegen «Nadeln» und die Kreuzungsmaste «Nadelmaste» genannt. Im Gegensatz zu den bisherigen Kreuzungsmasten, die aus vielen kurzen Profileisen gebaut waren, wurden die Nadelmaste aus wenigen aber langen «Na-



Fig. 5
Lichtbühne

deln» konstruiert. Diese sind in den Knotenpunkten gelenkig miteinander verbunden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass bereits in den Jahren 1957–1959 zwei Überquerungen des Wisła-Flusses unter Anwendung von «Nadelmasten» projektiert wurden [1; 2]¹⁾. Wegen zu kurzer Baufrist sowie wegen Erfahrungsmangel im Bau von Nadelmasten wurde jedoch auf diese damals neuartige Lösung verzichtet.

Jede Nadel besteht aus vier parallelen Winkeleisen, welche durch Zick-Zack-Form angeschweisstes Fachwerk aus Rundstahl miteinander verbunden sind (Fig. 6a). Die Nadeln mit grösserem Gurtenabstand besitzen eine Vergitterung aus Winkelstahl (Fig. 6b). Als Mindestmass der Winkeleisen der Nadel wurde $30 \times 30 \times 4$ mm angenommen und für die Vergitterung Rundstahl von 12 mm Durchmesser. Die Eckstiele der Kreuzungsmaste wurden dagegen als mehrfach gestützte Gitterträger gelenkfrei vom Mastfuss bis zu dem Querträger ausge-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

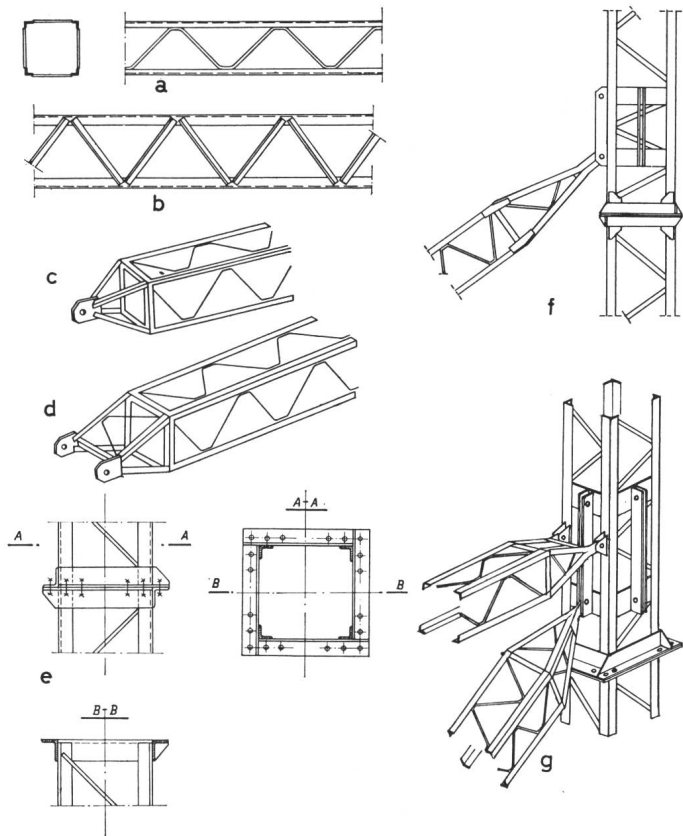


Fig. 6
Ausführungseinheiten von Gitterstäben
(«Nadeln»)

bildet. Sie wurden steif in den Fundamenten befestigt. Der obere Mastteil besteht aus einfachen Profilstäben. In der Höhe von 38 m über dem Erdboden bekommen die Masteckstiele einen Knick, so dass der Anzug im unteren Schaftteil stärker ist als im oberen.

Aus Fertigungs-, Transport-, Montage- und Verzinkungsgründen wurden die Gitterstäbe in Teilstücke aufgeteilt (Fig. 7) und die Verbindungen dieser Teilstücke als steife Flanschverbindungen ausgebildet (Fig. 6e). Die Prüfung der Nadeln auf Druckfestigkeit hat bewiesen, dass nur solche Verbindungen

eine korrekte, statische Beanspruchung der Gitterstäbe gewährleisten [3].

Die Knotenpunkte des Mastes wurden nicht als flache, sondern als räumliche Gelenke ausgebildet. Aus diesem Grunde ist die Konstruktion der gegenüberliegenden Eckstiele identisch (Fig. 8). Die geometrischen Achsen der in einem Knotenpunkt zusammentreffenden Gitterstäbe schneiden sich in einem Punkt, was in üblichen Konstruktionen praktisch schwer realisierbar ist (Fig. 6f, g).

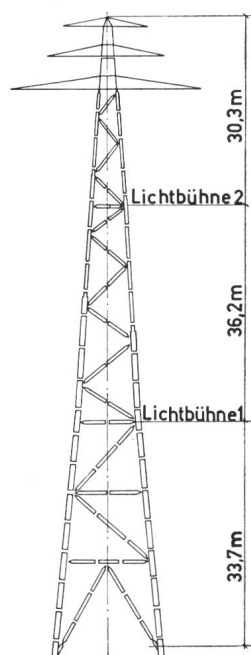


Fig. 7
Schema der Montagegliederung des
Kreuzungstragmastes

Bemerkenswert ist die Lösung der gelenkigen Verbindungen der Nadelenden. Die horizontalen Nadeln haben an jedem Ende zwei breit auseinandergestellte Knotenbleche, welche mit zwei Schrauben an der Mastkonstruktion befestigt werden und ein kinematisch flaches Scharniergelenk bilden (Fig. 6d). Durch diese Lösung wurde die Verdrehsteifigkeit der Eckstiele gesichert. Die Gelenke aller anderen Nadeln, das heisst der Diagonalen und der räumlichen Querverbände, sind beiderseits nur mittels einer einzigen Schraube mit den Eckstielen verbunden. Die Enden dieser Nadeln sind pyramidenförmig ausgebildet und mit einem ösenförmigen Knotenblech versehen (Fig. 6c). Alle Stahlelemente wurden feuerverzinkt.

Die regelmässige Form der Montageglieder, die sich aus der Teilung der Gitterstäbe ergeben, gestattet es, einfache Schweißschablonen zu verwenden. Das Resultat dieser Massnahme ist zwar eine geringe Erhöhung der Konstruktionskosten; es werden aber dafür bedeutende Ersparnisse an Feldarbeit erzielt, was besonders im Falle einer Hochbauweise wirtschaftlichen Nutzen bringt und den Freileitungsbau von den klimatischen Bedingungen in bedeutendem Masse unabhängig macht.

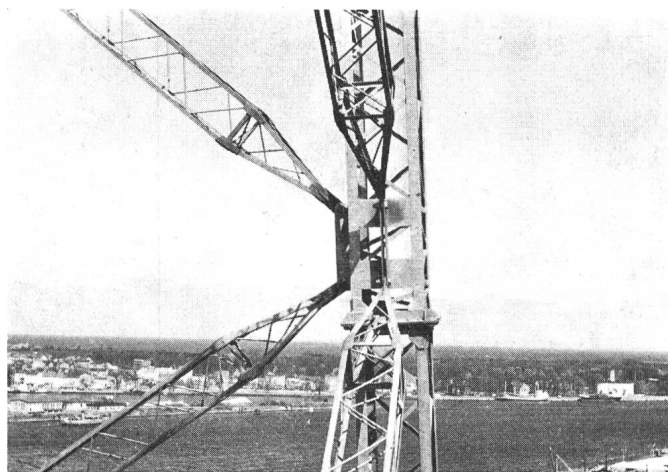


Fig. 8
Der räumliche Knotenpunkt des Kreuzungstragmastes

4. Auswahl der Nadelform

Folgende Faktoren haben wesentlichen Einfluss auf den wirtschaftlich begründeten Abstand der Nadelgurte:

1. Freie Nadellänge;
2. Druckkraft;
3. Querkraft;
4. Vergitterung;
5. Querschnitt der Versteifungsstäbe.

Bei der Festlegung der günstigsten Art der Vergitterung mit den verschobenen Knotenpunkten, bei geringen Querkraften, welche durch Winddruck, Eigengewicht und Montagebelastung hervorgerufen werden, verringert sich die Zahl der Faktoren um zwei. Es zeigt sich, dass der Querschnitt der Diagonalen verhältnismässig kleinen Einfluss auf die kritische Kraft hat.

Der Einfluss der Vergitterung auf die Verringerung der kritischen Kraft eines gedrückten Gitterstabes kann mittels folgenden Koeffizientes bestimmt werden [5]:

$$\psi = \frac{1}{1 + c \frac{A}{A_d} \left(\frac{\alpha}{l}\right)^2}$$

Profilquerschnitt der Nadelgurte	Freie Länge der Nadel in m											
	6		8		11		15		21		30	
	a	S	a	S	a	S	a	S	a	S	a	S
35 × 35 × 4	22	13,8	26	13,2	30	12,2	36	11,2	42	9,3	50	7,1
40 × 40 × 4	24	16,2	28	16,0	32	14,5	38	13,5	45	11,7	54	9,2
45 × 45 × 5	25	22,6	30	22,2	34	20,6	40	19,2	48	17,1	57	14,2
50 × 50 × 5	27	25,2	31	24,6	37	23,7	42	21,9	51	20,4	60	16,7
60 × 60 × 6	30	35,6	34	34,4	40	34,5	47	33,0	56	31,0	67	26,8

S Tragfähigkeit in t; a wirtschaftlicher Abstand (in cm) in Funktion der freien Länge der Nadel bei vorausgesetzten Profilen der Gurte.
(Zulässige Spannung: 1600 kp/cm². Querschnitt der Diagonalen: 35 × 35 × 4.)

worin:

- A Querschnitt des Gurtes;
- A_d Querschnitt der Diagonale;
- a Abstand der Gurte;
- l freie Länge der Nadel (des Gitterstabes);
- c Faktor, welcher von dem Neigungswinkel α der Diagonalen zur Nadelachse abhängig ist:

$$c = \frac{\pi^2}{2 \cos^2 \alpha \sin \alpha}$$

Dieser Faktor ist Minimum bei $c=12,85$ für $\alpha = 35^\circ 16'$.

Für $\alpha = 45^\circ$ ist $c = 13,05$.

Festigkeitsprüfungen der Nadelstäbe [3] bewiesen, dass das Verhältnis der Schlankheit der Nadel zu der Schlankheit des Gurtes nicht kleiner als 1,2 sein darf, was ebenfalls mit den theoretischen Ergebnissen übereinstimmt [4]. Wenn man für

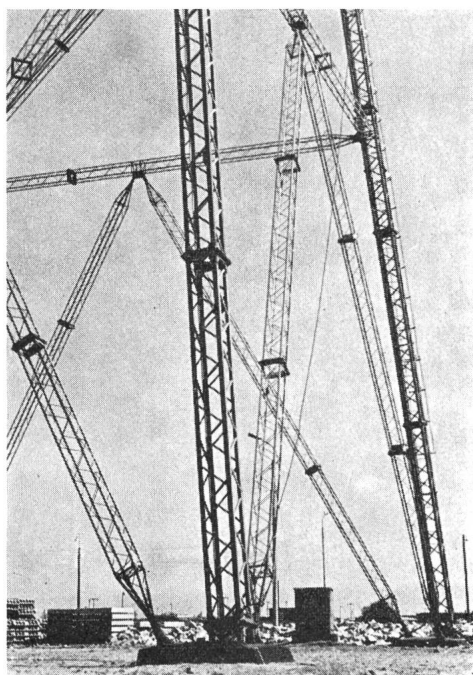


Fig. 9
Das Fundament des Kreuzungstragmastes

dieses Verhältnis den Grenzwert 1,2 und den Winkel $\alpha = 45^\circ$ für die Vergitterung annimmt, so ergibt sich für die Bestimmung des wirtschaftlichen Abstandes der Gurte einer Nadel folgende Formel:

$$a = 0,914 \sqrt{li_x}$$

worin:

- i_x Trägheitsradius des Querschnitts eines gleichschenkeligen Winkeleisens, in Bezug auf eine zum Schenkel parallellaufende Achse [6].

In Tabelle I sind die Ergebnisse der Berechnungen für einige Nadellängen als auch für einige Gurtprofile zusammengestellt.

Auf Grund der Prüfergebnisse [3] wird empfohlen, die Schlankheit der Abschnitte zwischen den Knotenpunkten des Gurtes bis auf $\lambda_x=50$ zu begrenzen, um das Schrumpfen der Gurte während des Schweißens zu vermeiden.

5. Fundamente der Tragmaste

Die Fundamente der Tragmaste bestehen aus 4 separaten Füßen, welche auf der Baustelle betoniert wurden (Fig. 9). Die Fundierungstiefe der Mastfüße beträgt 3,50 m, die Spreizung dagegen ca. 18 m.

Das Betonvolumen der 4 Mastfüße beträgt 94 m³ – ohne Berücksichtigung der Betonkisten samt ihrer Verfüllung. Infolge schwefeliger Aggressivität des Grundwassers und schwieriger Fundierungsverhältnisse wurden die Mastfüße in separaten Brunnen (Betonkisten) aufgestellt und sorgfältig mit Asphaltmasse und Asphaltmasse umhüllt. Zum Bau der Fundamente wurde Tonerdezement verwendet.

Die diagonalen Gitterstäbe sind gelenkig mit dem Fundament verbunden. Besondere Aufmerksamkeit wurde einer einwandfreien Ausführung der Mastfundamente, besonders aber einer präzisen Aufstellung der Mastanker vor dem Betonieren geschenkt. Dieses Ziel wurde mittels einer speziell angefertigten, fachwerkartigen Montageschablone erreicht. Diese hat nicht nur die erforderliche Spreizung der Mastfüße, sondern auch ihren richtigen Neigungswinkel gewährleistet.

Literatur

- [1] S. Gorzelniaski, T. Loos, M. Łażewski: Zwei neue Überquerungen des Wisła-Flusses durch 110-kV-Freileitungen. — Kreuzung der 110-kV-Freileitung Toruń-Włocławek. Energoprojekt Kraków, Informationsbulletin, 1957, Nr. 5.
- [2] L. Martini, A. Drajewicz: Projekt der Überquerung des Wisła-Flusses durch die 110-kV-Freileitung Płock-Włocławek auf 110 m hohen Nadelmasten. Energoprojekt Kraków, Informationsbulletin, 1959, Nr. 6.
- [3] L. Martini: Festigkeitsprüfungen der Nadelstäbe. Energoprojekt Kraków, Informationsbulletin, 1959, Nr. 6.
- [4] T. Loos: Bemerkungen betreffend Beanspruchung der gleichschenkeligen Winkeleisenstiele in fachwerkartigen Mastschäften mit flachen Knotenpunkten. Energoprojekt Kraków, Informationsbulletin, 1966, Nr. 6.
- [5] S. P. Timoshenko and J. M. Gere: Theory of elastic stability. Second edition. New York/Toronto/London, McGraw-Hill, 1961.
- [6] PN-60/B-03205: Starkstromfreileitungen — Stahlmaste — Statische Berechnung und Entwurf. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa, 1960.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. L. Martini, Energoprojekt, Mickiewicz-Allee 47/10, Kraków 2 (Polen).