Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Anwendung von Stahl mit hochliegender Streckgrenze im Eisenbetonbau

Autor: Brebera, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2685

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

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

IIc 1

Anwendung von Stahl mit hochliegender Streckgrenze im Eisenbetonbau.

L'emploi de l'acier à haute limite d'écoulement dans le béton armé.

The Use of Steel of High Yield Stress Limit in Reinforced Concrete.

Ing. A. Brebera,
Sektionsrat im Ministerium für öffentliche Arbeiten, Prag

Die Tragfähigkeit der Eisenbetonbauwerke hängt nicht nur ab von der Güte des Betons, sondern auch von der Haftfestigkeit und der Güte der Bewehrungseisen. Im Hinblick darauf, daß bei Verwendung von guten Zementen und gutem Zuschlagmaterial Qualitätsbeton erzielt wird, bedeutet die sachgemäße Anwendung von Stahl mit hochliegender Streckgrenze als Bewehrungseisen im Eisenbetonbau bei derselben Bausicherheit eine wirtschaftliche Verbesserung des Eisenbetons, die im Interesse der Volkswirtschaft nur zu begrüßen ist.

Alle auf Biegung beanspruchten Eisenbetonbauten werden unter der Voraussetzung eines bestimmten Verhältnisses n der Eisen- und Betonelastizität berechnet. Durch Beanspruchung der Eiseneinlagen über die Streckgrenze sinkt zufolge der großen Dehnung ihr Elastizitätskoeffizient derart, daß die Verhältniszahl n sich bis nahe 1 vermindert. Der Nullinienabstand hängt wieder ab von nFe, wobei Fe den Querschnitt der Zugeisen bedeutet. Die Beanspruchung der Eiseneinlagen über ihre Streckgrenze wirkt also, abgesehen von ihrer Zugfestigkeit, wie die Verminderung des Eisenquerschnittes im Verhältnis der Abnahme des Elastizitätskoeffizienten. Je geringer jedoch der Eisenquerschnitt ist, desto kleiner ist die Höhe der Druckzone und desto größer wird die Druckbeanspruchung des Betons. Mit dem Wandern der Nullinie gegen den Druckrand vergrößert sich aber der Hebelsarm der inneren Kräfte und die Steigerung der Eisenbeanspruchung ist daher nicht groß. Nach Überschreiten der Streckgrenze entstehen im Beton bedeutend größere Druckspannungen, die bis zum Bruche führen, ohne daß die Eisenspannung die Streckgrenze um mehr als 10 %, ausnahmsweise bis 20 % überschreitet. Nur bei Beton verhältnismäßig hoher Festigkeit, oder wenn die Dehnung des Eisens nach Überschreiten der Streckgrenze nicht sehr groß ist, sind noch höhere Eisenspannungen möglich. Stets ist daher für zulässige Eisenbeanspruchung und demnach auch für den Sicherheitsgrad der Eisenbetonbauwerke die Höhe der Streckgrenze — nicht der Zugfestigkeit — maßgebend.

Bei dem gewöhnlichen Flußstahl C 38 wird seit dem heurigen Jahre die Streckgrenze mit 2300 kg/cm² garantiert. Bei den zulässigen Beanspruchungen 1200 beziehungsweise 1400 kg/cm² ist daher im Stahl eine 1,92 bis 1,64-fache Sicherheit vorhanden. Die bleibende Dehnung an der oberen Streckgrenze beträgt ungefähr 0,2 %.

Bei hochwertigen Stählen liegt die Streckgrenze und die zulässige Beanspruchung entsprechend höher. Die Bruchlast von Eisenbetonbalken, welche ziemlich unabhängig von der Druckfestigkeit des Betons ist, wird im allgemeinen durch die Höhe der Streckgrenze des verwendeten Bewehrungseisens bestimmt. Auch das Auftreten der ersten Risse wird auf eine wesentlich höhere rechnerische Eisenbeanspruchung hinausgeschoben. Dagegen zeigen mit hochwertigem Stahl bewehrte Balken zufolge des geringeren Bewehrungsquerschnittes eine wesentlich größere Durchbiegung als mit gewöhnlichem Flußstahl C 38 bewehrte Balken gleicher Tragfähigkeit.

Die Erhöhung der zulässigen Eisenbeanspruchung bringt sowohl in konstruktiver Hinsicht als auch wirtschaftlich große Vorteile mit sich. Die Vorteile erhöhter zulässiger Eisenbeanspruchung äußern sich in verringerten Querschnittsabmessungen, wodurch das Eigengewicht der Eisenbetonkonstruktionen abnimmt und in der Möglichkeit, größere Spannweiten ausführen zu können.

Eine hochliegende Streckgrenze des Stahls kann entweder auf natürlichem Wege *durch hüttenmännische Herstellung* oder künstlich *durch Kaltstreckung* erzielt werden.

Zur ersten dieser beiden Gruppen gehört das Bewehrungseisen *„Roxor“* mit einer Streckgrenze von mindestens 3800 kg/cm². Zur Erzielung einer größeren Haftfestigkeit ist der Querschnitt dieser Bewehrungseisen kreuzförmig (Fig. 1)

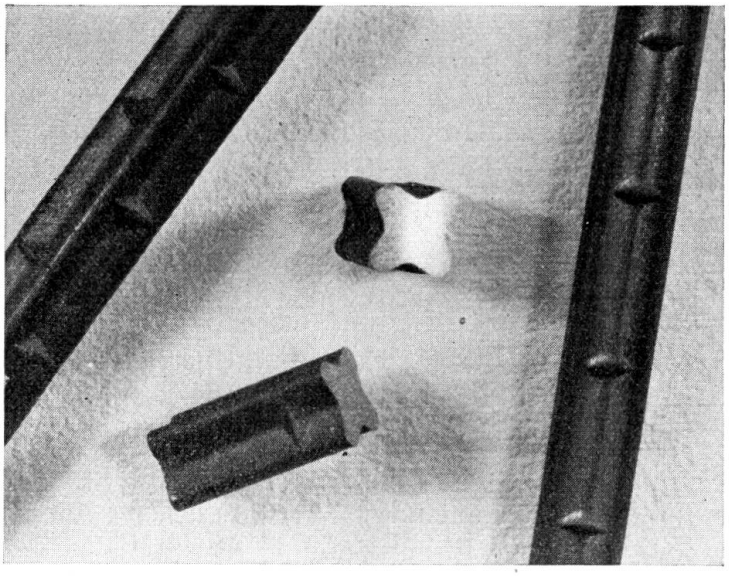

Fig. 1.

und ihre Oberfläche in Abständen von ungefähr dem $1^1/_2$-fachen Größtdurchmesser mit Querrippen versehen. Die Ausmaße dieser Rippen werden so gewählt, daß sie gegen Beschädigung beim Herausziehen der Bewehrungseisen aus dem Beton genügend widerstandsfähig sind und gleichzeitig das Gewicht dieser

Eisen so wenig als möglich vergrößern. Durch die Rippen wird zufolge der Mitwirkung des Abscherwiderstandes des Betons die Haftfestigkeit dieser Bewehrungseisen in bedeutendem Maße vergrößert. Der Raum zwischen zwei benachbarten Rippen bleibt nämlich beim Herausziehen der Bewehrungseisen mit feinkörnigem Beton gefüllt. Die äußere Querschnittgestaltung dieser Bewehrungseisen verhindert gleichzeitig jede Verwechslung mit anderen Stahlsorten.

Die für die Berechnung der Querschnittsfläche und des Umfanges dieser Bewehrungseisen wichtigen Daten sind folgende:

Der Durchmesser des dem Roxoreisen umschriebenen Kreises

$$D = 1{,}2715\,d;$$

der Durchmesser des das Roxoreisen ersetzenden Rundeisens

$$d = 0{,}7865\,D;$$

der Umfang des Roxoreisens

$$U = 3{,}1106\ D = 3{,}9551\,d;$$

der Umfang des Ersatzrundeisens

$$u = 2{,}4708\ D = \pi\,d;$$

die Querschnittfläche des Roxoreisens

$$F = 0{,}4816\ D^2 = 0{,}7786\,d^2.$$

Unter dem das Roxoreisen ersetzenden Rundeisen versteht man hiebei ein Rundeisen desselben Gewichtes pro laufenden Meter. Nachdem aber das Gewicht der Rippen 0,86 % des Gesamtgewichtes beträgt, ist die Fläche des Ersatzrundeisens um 0,86 % größer als die wirkliche Querschnittsfläche des Roxoreisens.

Mittelwerte von Güteproben sind in der Tabelle I zusammengestellt:

Tabelle I.

Güteprobe der Bewehrungseisen aus	Stahl C 38	Roxor
Elastizitätskoeffizient in t/cm²	2050	2092
Streckgrenze in kg/cm²	2718	4037
Festigkeit in kg/cm²	3889	5259
Verhältnis der Streckgrenze zur Festigkeit in %	70	77
Dehnung in %	30	26
Einschnürung in %	64	55

Die Meßlänge betrug hiebei den zehnfachen Durchmesser des Ersatzrundeisens. Die Biegeprobe um einen Dorn von gleichem Durchmesser wie der des dem Roxoreisen umschriebenen Kreises bestanden sämtliche Stäbe.

Vergleichende Prüfungen der Haftfestigkeit von Bewehrungseisen Roxor und aus gewöhnlichem Stahl C 38 wurden durch Herausziehen verschieden lang einbetonierter Eisen aus Würfeln durchgeführt. Bei der Berechnung der Haftfestigkeit wurde vorausgesetzt, daß sich die Spannungen gleichmäßig über die ganze einbetonierte Länge verteilen. Für die Bewehrungseisen Roxor wurde

hiebei der Umfang des Ersatzrundeisens eingeführt. Das Ergebnis aus ungefähr 160 durchgeführten Versuchen[1] ist in Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II.

Würfelfestigkeit des Betons		Haftfestigkeit der Bewehrungseisen in kg/cm²	
		aus Stahl C 38	Roxor
mindestens 250 kg/cm²	Kleinstwert	42	59
	Mittelwert	54	98
	Größtwert	68	161
mindestens 330 kg/cm²	Kleinstwert	48	64
	Mittelwert	69	121
	Größtwert	110	200

Hieraus ist ersichtlich, daß die Haftfestigkeit der Bewehrungseisen Roxor im Mittel ungefähr um 80 % größer ist als die Haftfestigkeit des gewöhnlichen Rundeisens aus Stahl C 38. Rechnet man mit dem wirklichen Umfang der Roxorstäbe 3,1106 D, so beträgt die Zunahme der Haftfestigkeit ungefähr 43 %.

Bei gewöhnlichem Rundeisen aus Stahl C 38 trat das erste Gleiten bei einer Spannung von etwas über der Hälfte der Haftfestigkeit ein. Bei Bewehrungseisen Roxor geschah dies bei einer Spannung etwas unterhalb der halben Haftfestigkeit, dafür entwickelten diese Eisen eine große Zähigkeit gegen das weitere Herausziehen.

Durch Vergleich der Versuchsergebnisse wurde festgestellt, daß die Haftfestigkeit

1. wächst mit der Güte des Betons,
2. wächst mit der Erhärtungsdauer des Betons,
3. sinkt mit zunehmendem Wasserzusatz,
4. sinkt mit Zunahme der Einbettungslänge,
5. sinkt mit der Vergrößerung des Durchmessers des einbetonierten Eisens,
6. wächst bei Luftlagerung nur unbedeutend gegenüber der Haftfestigkeit bei gemischter Lagerung. Die verschiedene Lagerungsart der Betonkörper war demnach von geringem Einfluß.

Auf Grund von 80 Balkenversuchen und durchgeführter Nachrechnung nach den geltenden Vorschriften wurde festgestellt, daß der Bruch durch Überschreitung der Streckgrenze der Eiseneinlagen eingetreten ist. Hiebei wiesen Balken, deren Bewehrung keine Haken hatte, dieselbe Tragfähigkeit auf wie Balken, deren Bewehrungseisen wie gewöhnlich mit Haken versehen waren. Die gesamte Durchbiegung der Balken mit Bewehrungseisen Roxor war bei gleicher Belastung ungefähr nur um 20 % größer als die Durchbiegung der mit gewöhnlichem Stahl C 38 bewehrten Balken, obgleich die Bewehrung um ein Drittel kleiner war. Der elastische Charakter des Stahls übertrug sich

[1] Sämtliche Versuche und Beobachtungen wurden in der Anstalt für die Erforschung und Prüfung von Materialien und Baukonstruktionen an der tschechischen technischen Hochschule in Prag unter Leitung des Prof. Ing. *F. Klokner* und des Dr. Ing. *B. Hacar* durchgeführt.

hiebei größtenteils auf die ganze Konstruktion, so daß die elastischen Durchbiegungen den überwiegenden Teil der gesamten Durchbiegungen ausmachten. Die bleibenden Durchbiegungen von Balken mit Bewehrungseisen Roxor waren ungefähr gleich jenen mit Bewehrungseisen aus Stahl C 38.

Aus 68 Säulenversuchen, teils auf zentrischen, teils auf exzentrischen Druck konnte gefolgert werden, daß die Bewehrungseisen Roxor bedeutend mehr ausgenutzt wurden als Bewehrungseisen aus Stahl C 38. Es ist also möglich, bei den Bewehrungseisen Roxor eine entsprechend größere Querschnittsfläche in die Berechnung einzuführen, was einer Erhöhung der zulässigen Druckbeanspruchung gleichkommt. Dieser Vergrößerungsfaktor kann bei größter Vorsicht mit 1,5 gewählt werden, so daß in gedrückten Teilen nicht wie gewöhnlich mit 15 Fe sondern *mit* $1{,}5 \times 15$ Fe = *22,5 Fe gerechnet werden kann.* Die zulässige Druckbeanspruchung bleibt hiebei dieselbe wie für Bewehrungseisen aus Stahl C 38. Die damit zusammenhängende größere Ausnützung der Zusammendrückbarkeit des Betons erfordert jedoch eine stärkere Querarmierung.

Beträgt für den Stahl C 38 bei einer zulässigen Gesamtbeanspruchung von 1400 kg/cm² der Sicherheitsgrad 1,64 beziehungsweise 1,94, je nach dem man die von den Eisenwerken garantierte Streckgrenze 2300 kg/cm² beziehungsweise die wirklich erreichte Streckgrenze 2718 kg/cm² voraussetzt, so könnte für die Bewehrungseisen Roxor bei denselben Sicherheitsgraden und einer garantierten Streckgrenze von 3800 kg/cm² die zulässige Beanspruchung 2317 kg/cm² beziehungsweise 1960 kg/cm² betragen. Nachdem aber die ersten Risse im Beton bei der Bewehrung mit Stahl C 38 ungefähr bei 850 kg/cm², bei der Bewehrung mit Roxor ungefähr bei 1200 kg/cm² rechnungsmäßiger Eisenbeanspruchung eingetreten sind, wurde die *zulässige Zugbeanspruchung* der Bewehrungseisen Roxor mit rund 1900 kg/cm² festgesetzt.

In besonderen Fällen (Wasserbehältern) kann demnach durch Herabsetzung der zulässigen Zugbeanspruchung der Bewehrungseisen Roxor auf 1200 kg/cm² eine absolute Rißsicherheit erzielt werden, die bei einer Bewehrung mit Stahl C 38 nur bei einer Herabminderung der zulässigen Zugbeanspruchung auf 850 kg/cm² erreichbar ist.

Zufolge der größeren Haftfestigkeit der Bewehrungseisen Roxor können diese bei verhältnismäßig geringer Vergrößerung der üblichen Einbettungslänge *auch* ohne Haken verwendet werden. Diese Eigenschaft wird sie an Stellen großer Eisenanhäufung dem Konstrukteur besonders wertvoll erscheinen lassen.

Die Bewehrungseisen Roxor werden von D = 8 mm bis D = 70 mm in Längen bis zu 35 m bezw. 25 m gewalzt. Ihr Einheitspreis für 1 q beträgt im Durchschnitt 178 Kč, jener der Bewehrungseisen aus Stahl C 38 147 Kč

Außer auf hüttenmännischem Wege durch geeignete Materialzusammensetzung läßt sich Stahl mit hochliegender Streckgrenze auch auf mechanischem Wege aus gewöhnlichem Flußstahl durch Kaltstreckung erzeugen. Diese Tatsache konnte im Eisenbetonbau lange nicht ausgenützt werden, weil der einfache Stab nicht auf seiner ganzen Länge und im ganzen Querschnitt gleichmäßig gestreckt werden konnte. Diese Mängel sind erst bei der Herstellung von *Isteg-Stahl* fast gänzlich beseitigt worden (Fig. 2).

Zwei nebeneinander liegende, an den beiden Enden ortsfest eingespannte Rundeisenstäbe aus gewöhnlichem Stahl C 38 werden in kaltem Zustand durch eine

besondere Maschine in Schraubenlinienform von bestimmter Ganghöhe — unter Beibehaltung gleicher Länge des Verbundstabes — verwunden und vorgestreckt. Die Streckung erfolgt über die ganze Länge des Einzelstabes gleichmäßig und kann jederzeit aus der Ganghöhe der Schraubenwindung festgestellt werden. Nachdem eine Verlängerung der Achse des Verbundstabes nicht eintritt, so ist auch der Nutzquerschnitt des Verbundstabes konstant und gleich dem Gesamtquerschnitt der beiden nicht verwundenen Rundeisenstäbe. Dieser Herstellungsprozeß gewährleistet demnach die gleichmäßige Festigkeit und Einheitlichkeit des Materials und ist gleichzeitig eine Güteprobe, da minderwertiges Material durch diese Behandlung äußerlich erkennbaren Schaden nehmen würde.

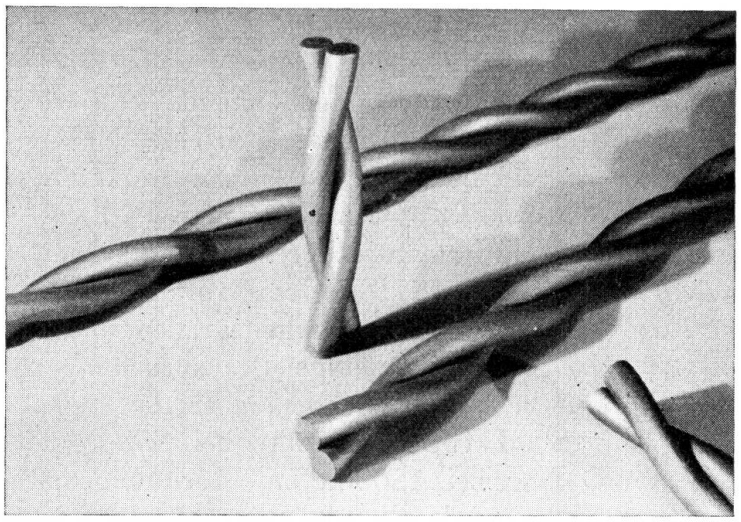

Fig. 2.

Aus zahlreichen Versuchen wurde festgestellt, daß dieser Verwindungsprozeß eine Hebung der Streckgrenze um 40—50 % unter gleichzeitiger ungefähr 10 %iger Erhöhung der Zugfestigkeit bewirkt. Der Elastizitätskoeffizient nimmt dagegen mit dem Grade der Verwindung ab und beträgt bei einer Ganghöhe gleich dem 12,5-fachen Durchmesser des Einzelrundeisens rund 80 % des Elastizitätskoeffizienten vom geraden Eisen. Die Bruchdehnung des Istegstahles beträgt ungefähr die Hälfte derjenigen bei gewöhnlichem Stahl C 38. Bei der Beurteilung der Elastizitätskoeffizienten von Istegstahl und gewöhnlichem Flußstahl C 38 ist zu beachten, daß beim verwundenen Istegstab nicht nur die Längenänderungen, sondern auch gewisse Lagerveränderungen der Einzelstäbe gegeneinander eine Rolle spielen (Seilwirkung). Damit hängt wohl auch die Beobachtung zusammen, daß das Absinken des Elastizitätskoeffizienten im Bereich der niedrigen Spannungen etwas stärker ist als bei höheren Beanspruchungen.

Nachdem die Streckgrenze des Istegstahls bei dem stetigen Verlauf der Spannung — Dehnungskurve nicht so ausgeprägt erscheint wie bei gewöhnlichem Stahl C 38 und da der Bruch erst bei einer Gesamtdehnung von 0,4 % eintritt, wurde bei Istegstahl 0,3 % Gesamtdehnung als bestimmend für die Streckgrenze angenommen. Die Ursprungsfestigkeit von Istegstahl beträgt bei 2 Millionen Lastwechseln (350 in der Minute) 2400 bis 2500 kg/cm². Die

Befürchtung, daß die Streckung des Istegstahles bei wiederholten Stoßwirkungen nachteilig wirkt, ist deshalb unbegründet. Auch die Haftfestigkeit des Istegstahles wurde im Mittel um etwa 25 % größer als jene des gewöhnlichen Rundeisens aus Stahl C 38 festgestellt. Was die Rißsicherheit anbetrifft, so ist nach den durchgeführten Versuchen der Istegstahl dem Bewehrungseisen aus gewöhnlichem Flußstahl C 38 überlegen, obwohl die Feststellung der ersten Haarrisse in Eisenbetonkonstruktionen nur mit großer Vorsicht zu verwenden ist. Tatsache ist aber, daß die Risse bei einer Bewehrung mit Istegstahl gleichmäßig über die ganze Länge verteilt auftraten und auch bei steigender Belastung bedeutend feiner blieben als bei einer Bewehrung mit Stahl C 38, wo vereinzelte Risse auftraten, die sich bei zunehmender Belastung erheblich erweiterten.

Auf Grund der durchgeführten Versuche konnte deshalb für den Istegstahl unter Zugrundelegung einer *Mindeststreckgrenze von 3600 kg/cm²* bei einer Gesamtdehnung von 0,3 %, einer Mindestfestigkeit von 4000 kg/cm² und einer Bruchdehnung von mindestens 10 % *eine zulässige Zugbeanspruchung von 1800 kg/cm²* vorgeschrieben werden. Hiebei ist für die Querschnittsbemessung das Verhältnis der Elastizitätskoeffizienten von Stahl und Beton mit $n = 15$ anzunehmen, während elastische Formänderungen, sowie statisch unbestimmte Größen, mit $n = 8$ zu berechnen sind. Schweißungen und Warmbiegungen sind unzulässig. Im übrigen gelten für Istegstahl dieselben Konstruktionsgrundsätze (Haftlänge, Hakenbildung und ähnliches) wie für Bewehrungseisen aus gewöhnlichem Flußstahl C 38.

Die Bewehrungseisen aus Istegstahl werden von 5,5 mm bis 30 mm Durchmesser in Längen bis zu 30 m hergestellt. Ihr Einheitspreis für 1 q beträgt im Durchschnitt 168 Kč, jener der Bewehrungseisen aus Stahl C 38 147 Kč.

Zufolge der angeführten Güteeigenschaften und Eigentümlichkeiten der beiden Bewehrungseisen *Roxor* und *Isteg* ist ihnen eine wirtschaftliche und technische Überlegenheit gegenüber der normalen Bewehrung mit Rundeisenstäben aus gewöhnlichem Flußstahl C 38 zuzusprechen. Die hohe Streckgrenze steigert die Tragfähigkeit der Betonkonstruktionen und bedingt eine bedeutende Ersparnis an Querschnitt und Gewicht des Bewehrungsmaterials und damit entsprechend auch an Frachtkosten, an Schneide-, Biege- und Verlegelohn. Das Verlegen auf dem Bau ist günstiger wegen des kleineren Gewichtes und wegen der Unmöglichkeit einer Verwechslung von normalem und hochwertigem Baustahl; auch ist hochwertiger Zement für diese Bewehrungsstähle nicht Bedingung. *Trotz der höheren Einheitspreise kommt eine Ersparnis von rund 20 % der Volkswirtschaft zugute.*

Die weitgehende Erschließung der Anwendung hochwertiger Baustähle beim Bau von Eisenbetonbrücken begann in der Tschechoslovakei im Jahre 1931 durch die Einführung des „*Isteg*"-Stahles.

Eine der ersten Anwendungen erfolgte beim Bau der *Brücke über den Waagfluß in Pieštany* (Fig. 3). Sie verbindet den Ort Pieštany am rechten Flußufer mit den Thermalquellen und den Heilanstalten auf der Insel und dient ausschließlich dem Badeverkehr. Die ganze Brückenplanung ist an und für sich schon dadurch ganz eigenartig, daß es sich um eine teilweise gedeckte

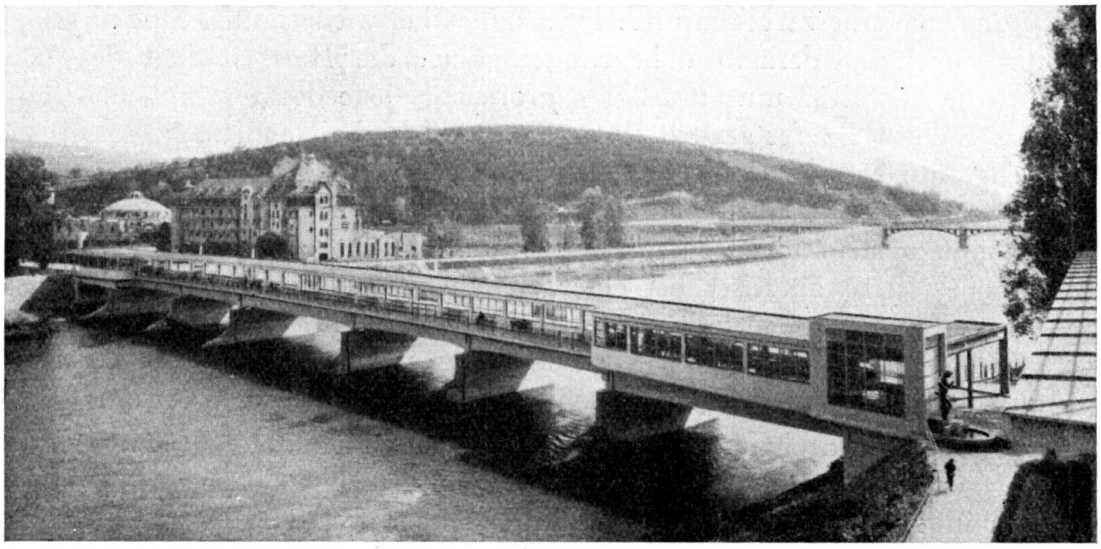

Fig. 3.

Brücke handelt, die in ihrer gedeckten Hälfte eine Kolonnade für die Badegäste bildet (Fig. 4).

Die Brücke ist 148 m lang und hat sieben Öffnungen, die mittlere von 28 m Länge, alle übrigen von 20 m Länge. Die Tragkonstruktion bilden je

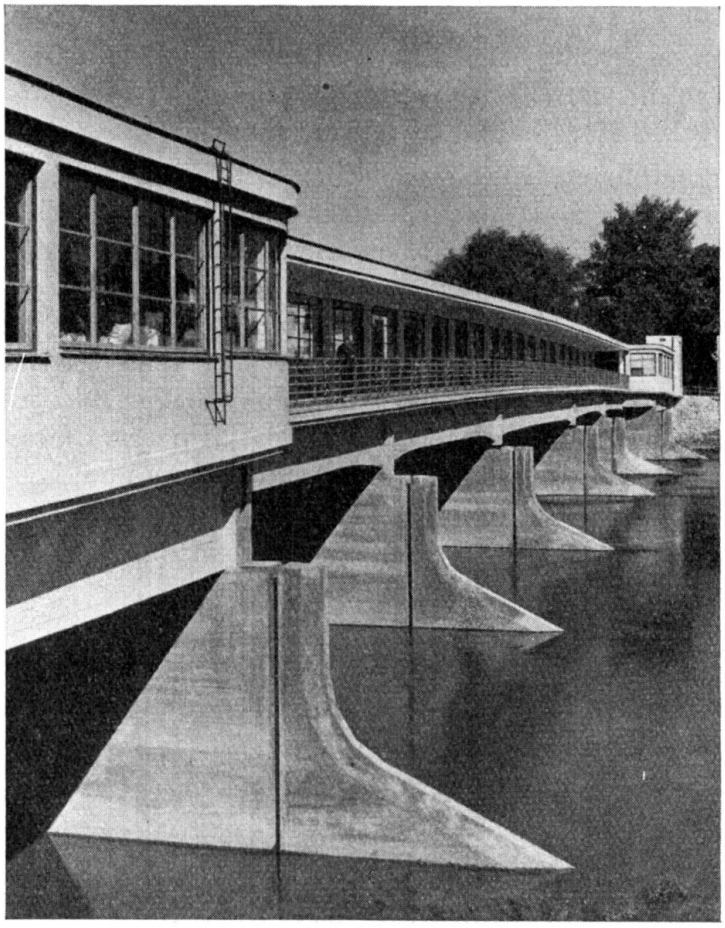

Fig. 4.

über drei Felder durchlaufende Plattenbalken aus Eisenbeton, die mit Ausnahme der Endwiderlager mit den Pfeilern rahmenartig verbunden und an ihren beiden Enden mit Kragarmen versehen sind, die einerseits 4,3 m weit über die Endwiderlager hinaus reichen, während die in die Mittelöffnung reichenden Kragarme zur Auflagerung der 20 m langen Einhängeträger dienen.

Die lichte Breite der Brücke in den fünf mittleren Öffnungen beträgt 12,34 m, wovon 5,00 m auf die asphaltierte Fahrbahn entfallen und 6,40 m auf die nutzbare Breite des gedeckten Säulenganges (Fig. 5). Die in der Mitte des breiten Gehweges 5 m von einander entfernt stehenden Säulen sind oben durch einen das Eisenbetondach tragenden Balken verbunden. Durch die Anwendung von Glaswänden wird der gedeckte Gehweg in zwei selbständige Teile

Fig. 5.

zerlegt, so daß die Badegäste beim Übergang über den Fluß bei Benützung der windgeschützten Hälfte jederzeit vor Wind und Wetter geschützt sind. In den Endfeldern münden die beiden Kolonnaden in eine gemeinsame, allseitig geschlossene Halle, in welcher ständige Ausstellungen des tschechoslovakischen Kunstgewerbes untergebracht sind. Aus diesem Grunde ist die Brücke in diesen Feldern durch Hinzufügung eines Plattenbalkens um 2,5 m verbreitert.

Außer der Nutzlast von 4 t-Wagen bezw. 400 kg/m² Grundrißfläche wird die Tragkonstruktion der Brücke durch die schweren Aufbauten außerordentlich stark belastet. Die Anwendung des „Isteg"-Stahles als Bewehrungsmaterial (Fig. 6) bot daher hier die Möglichkeit, die äußeren Abmessungen des Eisenbetontragwerkes zu verringern und dadurch namhafte Ersparnisse zu erzielen.

Der Gesamtverbrauch an Baumaterialien betrug rund 30 Waggons Eisen, 10 Waggons Bauximent und 100 Waggons Portlandzement. Verarbeitet wurden ungefähr 4000 m³ Beton und 1000 m³ Holz.

Eine der interessantesten Ausführungen unter Verwendung von „Isteg"-Stahl als Bewehrungsmaterial im Brückenbau bietet der *Bau der Staatsstraßenbrücke*

über den Střelafluß in Plasy bei Pilsen (Fig. 7), wo an Stelle der alten eisernen Fachwerkkonstruktion eine neue Eisenbeton-Balkenbrücke von 30,58 m Stützweite ausgeführt wurde.

Fig. 6.

Die Tragkonstruktion besteht aus vollwandigen Trägern mit versenkter Fahrbahn. Die lichte Breite der Brücke zwischen den beiden Hauptträgern beträgt 6,00 m, wovon 5,20 m auf die gepflasterte Fahrbahn und je 0,40 m auf den beiderseitigen Schrammbord entfallen. Außerhalb der Hauptträger sind beiderseitig auf Konsolen Gehwege von 1,30 m lichter Breite angeordnet (Fig. 8a, b).

Die Höhe der 76 cm breiten Tragwände beträgt 2,80 m d. h. rund $^1/_{11}$ der Spannweite. Die Hauptträger ragen um 1,30 m über die Gehwege und die Schrammborde, so daß sie größtenteils durch die 1,10 m hohen Geländer verdeckt werden. Die Querträger der im Grundriß schiefen Brücke liegen in Abständen von 1,39 m rechtwinklig zu den beiden Hauptträgern. Zur Herabminderung des Eigengewichtes sind im mittleren Teil der Hauptträger Aussparungen angeordnet.

Fig. 7.

Die Fahrbahnplatte und die Querträger sind mit gewöhnlichen Rundeisen aus Stahl C 38 bewehrt, während für die Zugbewehrung der Hauptträger „Isteg"-Eisen von 30 mm Durchmesser verwendet wurden. Die Eisen wurden in voller Länge angeliefert, so daß Stoßverbindungen nicht erforderlich waren. Die größte Länge der in einem Stück eingebauten „Isteg"-Eisen betrug 38,59 m.

Die Fahrbahnplatte und die Querträger wurden unter Berücksichtigung des Stoßzuschlages mit einer zulässigen Betonbeanspruchung von 48 kg/cm² und

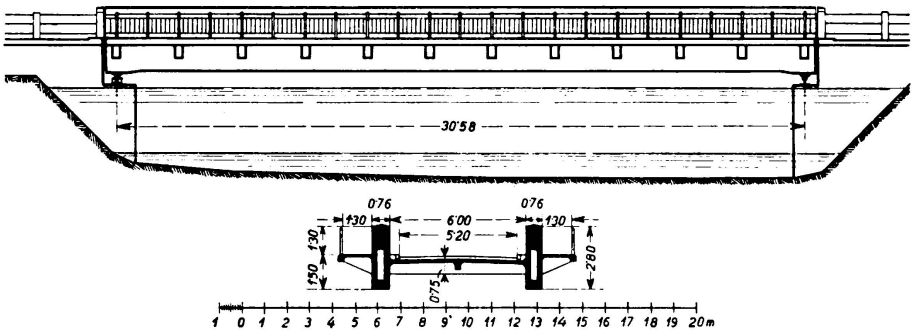

Fig. 8a.

einer zulässigen Eisenspannung von 1200 kg/cm² bemessen. In den Hauptträgern betrugen die größten Spannungen 69,4 kg/cm² (zulässig 70 kg/cm²) bezw. 1662 kg/cm² (zulässig 1800 kg/cm²). Zur Vermeidung von Zugrissen in den Hauptträgern wurden um die Zugbewehrung außer den Bügeln Drahtgewebe eingelegt, welche den Zugwiderstand der Deckschichte vergrößern sollen.

Als Belastungsannahmen waren die tschechoslovakischen Vorschriften für die Belastung von Straßenbrücken 1. Klasse maßgebend, also 22 t-Dampfpflug und Menschengedränge von 500 kg/m².

Die vorgeschriebene Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 28-tägiger Erhärtung betrug für die Fahrbahn- und Gehwegkonstruktion 170 kg/cm², für die

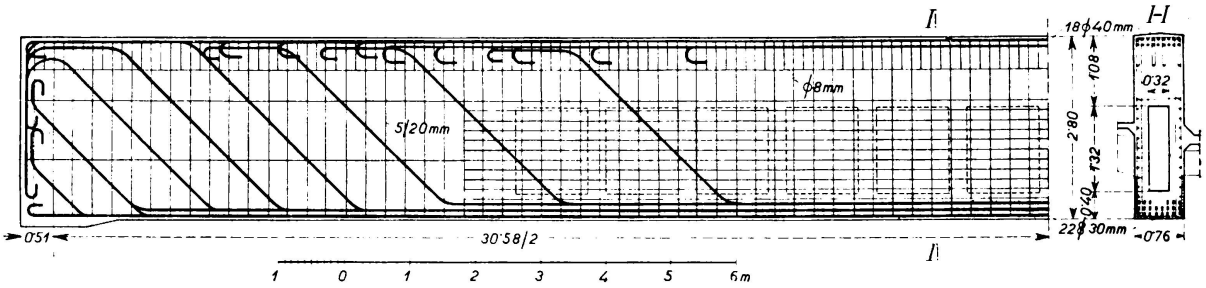

Fig. 8b.

Hauptträger 330 kg/cm². Erreicht wurden bei der Ausführung 334 kg/cm² bezw. 486 kg/cm², wobei der Zementzusatz 250 kg bezw. 420 kg Portlandzement auf 1 m³ trockenes Gemenge von Sand und Schotter und der Körnungsmodul der Zuschlagstoffe 5,70 bezw. 6,30 betrug.

Das Ergebnis der Güteproben der verwendeten Stahlsorten ist in Tabelle III zusammengestellt.

Tabelle III.

Güteproben der beiden Stahlsorten	Bewehrungseisen aus „Isteg"-Stahl	Bewehrungseisen aus Stahl C 38
Streckgrenze in kg/mm²	40,7	29,2
Festigkeit in kg/mm²	48,6	46,1
Dehnung in %	15,2	28,6
Einschnürung in %	52,6	58,6

Die Belastungsprobe der Brücke wurde mit vier Fahrzeugen von je 12 t Gewicht durchgeführt. Die größte elastische Durchbiegung der Hauptträger betrug hiebei 2,60 mm gegenüber der berechneten von 3,10 mm, die der Querträger 0,15 mm gegenüber der berechneten von 1,30 mm. Bleibende Durchbiegungen wurden keine festgestellt.

Pro 1 m² Grundrißfläche der Brücke beträgt der gesamte Betonverbrauch 38,5 cm, der gesamte Eisenverbrauch 133 kg; hievon entfallen 48 kg auf „Isteg"-Stahl, der Rest auf gewöhnliches Rundeisen C 38.

Außer dem künstlich durch Kaltstreckung aus gewöhnlichem Baustahl C 38 erzeugten „Isteg"-Stahl wird in der Tschechoslovakei seit dem Jahre 1933 der durch hüttenmännische Erzeugung auf natürlichem Wege erzeugte „Roxor"-Stahl als Bewehrungsmaterial in Eisenbetonbauten verwendet.

Eine der ersten Anwendungen erfolgte beim *Bau der Brücke über die Svratka in Brünn* (Fig. 9) im Zuge der Wiener Staatsstraße von 31,20 m schiefer Lichtweite.

Für die Wahl des Tragsystems und für die Ausarbeitung des Brückenprojektes war die geringe zur Verfügung stehende Konstruktionshöhe, sowie die Bedingung

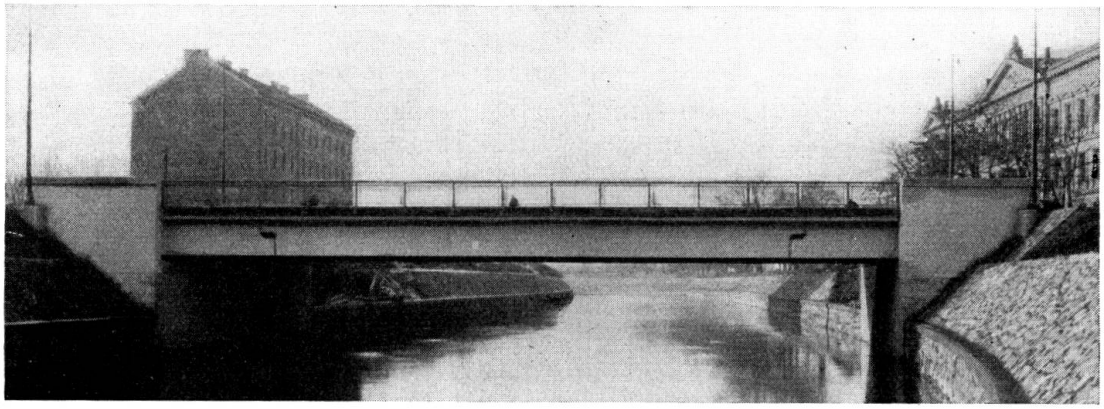

Fig. 9.

maßgebend, daß die Brücke jederzeit beiderseits verbreitbar sein muß und die Geleise der städtischen Straßenbahn beliebig verlegt werden können. Schließlich wurde verlangt, daß sämtliche Bewehrungseisen über Hochwasser liegen müssen.

Mit Rücksicht auf das Stadtbild wurden als Tragkonstruktion durchlaufende Plattenbalken über drei Felder mit Gelenken in der Mittelöffnung gewählt (Fig. 10a, b, c). Dadurch blieb der bei den durchlaufenden Trägern erzielte

Vorteil der Verringerung der Biegungsmomente in der Brückenmitte gewahrt, wogegen die Nachteile, die bei etwaigen Stützsenkungen zu befürchten waren, vermieden wurden.

Der eingehängte Träger in der 32,20 m weiten Mittelöffnung hat 22,80 m Stützweite. Die Lage der Gelenke in der Mittelöffnung, sowie die Spannweite

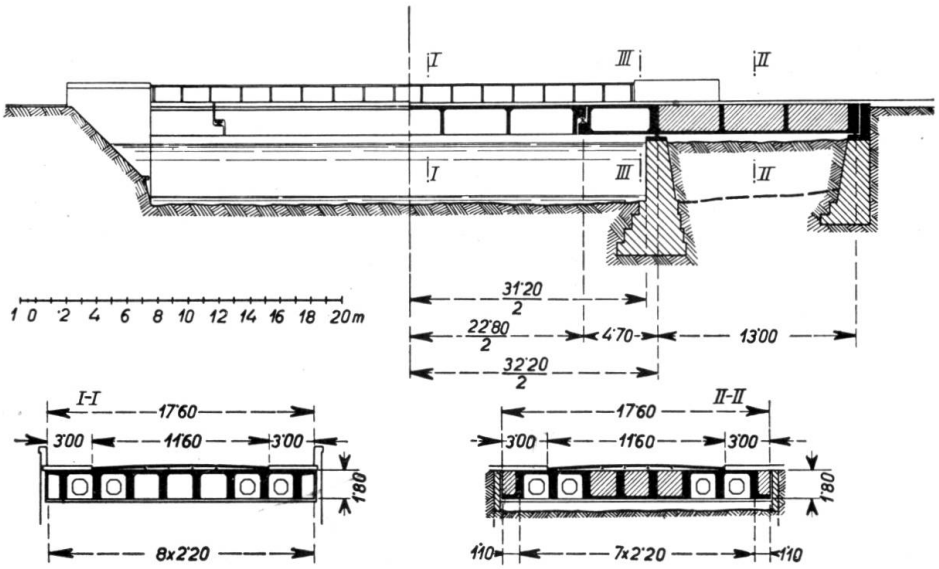

Fig. 10a.

der beiden Randfelder, welche zufolge der Flußregulierung zugeschüttet wurden, wurde derart gewählt, daß das positive Feldmoment des eingehängten Trägers gleich wurde den negativen Momenten über den beiden Mittelstützen. Dies ergab eine Länge der Kragarme von 4,70 m und eine Spannweite der beiden Randfelder von 13,00 m. Dadurch war es möglich mit einer Konstruktionshöhe von

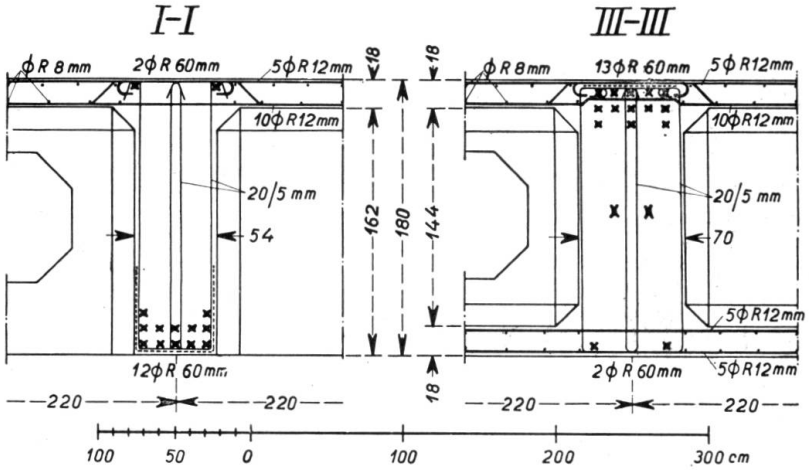

Fig. 10b.

1,80 m, d. h. ungefähr $^1/_{18}$ der Spannweite der Mittelöffnung bezw. $^1/_{13}$ der Spannweite des eingehängten Trägers, auszukommen. Um bei Vollbelastung des Mittelfeldes eine 1,4fache Sicherheit gegen Kippen gewährleisten zu können, wurden die Randfelder in den Teilen, welche nicht durch Leitungen in Anspruch genommen waren, kastenförmig ausgebildet und mit Füllbeton belastet.

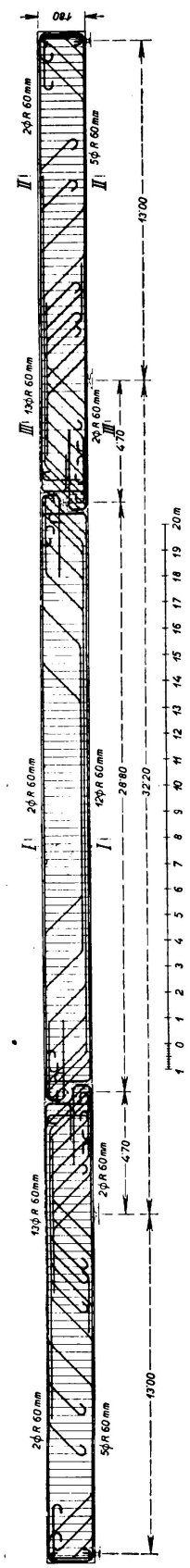

Fig. 10 c.

Die lichte Breite der Brücke beträgt 17,60 m, wovon 11,60 m auf die gepflasterte Fahrbahn und je 3,00 m auf die beidseitigen Gehwege entfallen. Insgesamt sind 8 Plattenbalken in 2,20 m gegenseitiger Entfernung angeordnet.

Die Schienenunterlage besteht aus einer 13 mm starken, stoßdämpfenden „Contravibron"-Platte zwischen 3 mm starken Bleiplatten.

Die statische Berechnung der Brücke erfolgte außer für die Belastung von Straßenbrücken I. Klasse gemäß der tschechoslovakischen Vorschrift, einerseits für 22 t schwere, von elektrischen Lokomotiven gezogene Eisenbahnwagen, anderseits für 21 t schwere Spritzwagen oder Motorwagen mit 13 t schweren Anhängewagen der elektrischen Straßenbahn. Überdies dient die Brücke zur Überführung von drei Wasserleitungsrohren, der Gasleitung, sowie von Elektrizitäts- und Telefonkabeln. Aus diesem Grunde, sowie um den Zutritt zu den Gelenken im Mittelfeld zu ermöglichen, wurden in den Querversteifungen der Hauptträger Öffnungen ausgespart.

Mit Ausnahme der Bügel sind sämtliche Bewehrungseisen der Brücke aus „Roxor"-Stahl (Fig. 11 und 12). Der Vorteil der Anwendung dieses hochwertigen Materials liegt in der Verringerung der erforderlichen Querschnittfläche der Bewehrungseisen und der besseren Ausnützung der zur Verfügung stehenden Konstruktionshöhe, da bei Anwendung von Bewehrungseisen aus gewöhnlichem Baustahl C 38 mindestens vier Reihen Eiseneinlagen erforderlich wären, wodurch die ideelle Querschnittshöhe verringert worden wäre.

Die größte Betonbeanspruchung der 18 cm dicken Fahrbahnplatte beträgt 42,2 kg/cm², die größte Eisenbeanspruchung 1623 kg/cm². In den Hauptträgern betragen die größten Spannungen 69,2 kg/cm² (zulässig 70 kg/cm²) bezw. 1750 kg/cm² (zulässig 1900 kg/cm²).

Zur Vermeidung von Zugrissen wurden an den Orten der größten Zugspannungen, d. h. im unteren Teile der Einhängeträger, sowie im oberen Teile der Balken über den Mittelpfeilern, um die Bewehrungseisen geschweißte Drahtgeflechte eingelegt.

Die vorgeschriebene Würfeldruckfestigkeit des Tragwerkbetons betrug nach 28-tägiger Erhärtung 330 kg/cm². Erreicht wurde bei der Ausführung bei einem Zementzusatz von 350 kg Portlandzement auf 1 m³ trockenes Zuschlagmaterial vom Körnungsmodul 6,06 eine Würfelfestigkeit von 431 kg/cm².

Das Ergebnis der Güteproben des verwendeten „Roxor"-Stahles beträgt:

Streckgrenze durchschnittlich	41,1 kg/mm²
Festigkeit durchschnittlich	59,2 kg/mm²
Dehnung durchschnittlich	24,4 %
Einschnürung durchschnittlich	54,2 %.

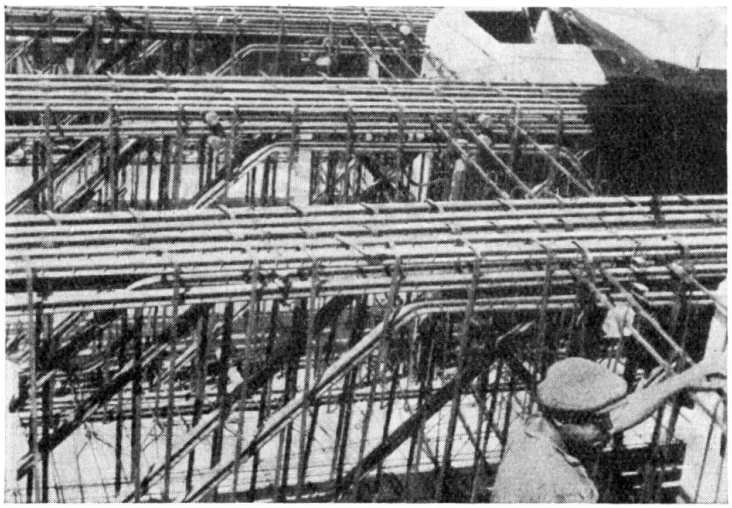

Fig. 11.

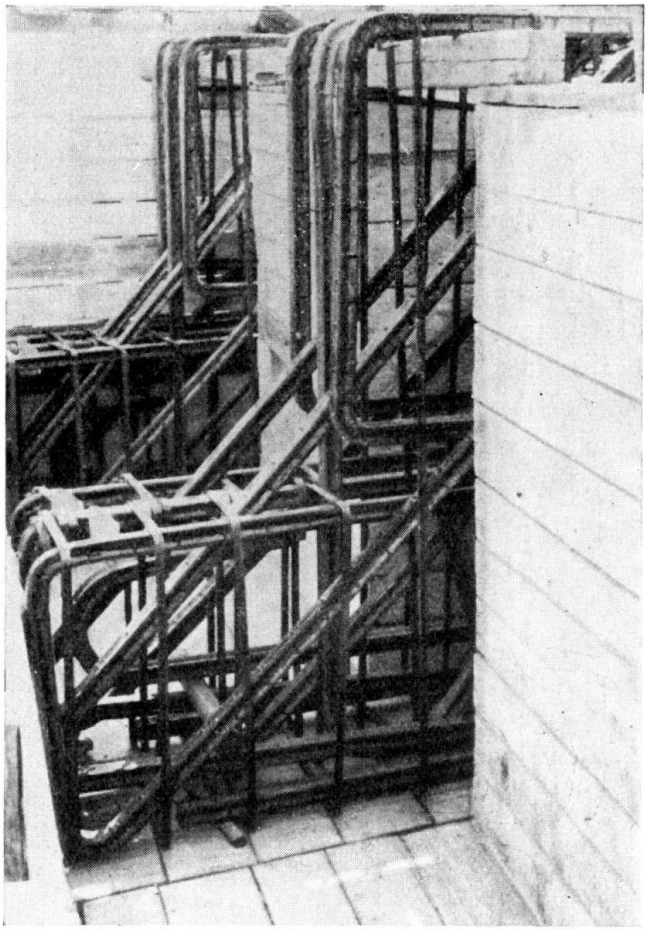

Fig. 12.

Bei der Ausführung des Baues wurde darauf Rücksicht genommen, daß sich das Gerüst unter den Betonmassen setzt. Deshalb wurde der Betonierungsvorgang derart eingerichtet, daß die Querschnitte der größten Biegungsmomente zuletzt betoniert wurden. Dies gilt hauptsächlich von den Querschnitten über

den beiden Mittelpfeilern, sowie vom Mittelquerschnitt der Einhängeträger. Nachdem die Brücke schief (d = 81° 30′) und verhältnismäßig breit ist, wurden die Einhängeträger im Mittelfeld erst nach erfolgter Ausrüstung der Randfelder und Kragträger betoniert. Dadurch wurde vermieden, daß etwaige Verdrehungen in der Querrichtung in das Mittelfeld übertragen wurden.

Bei der Belastungsprobe der Brücke wurden verwendet: 2 Spritzwagen der elektrischen Straßenbahn von je 21 t Gewicht, 2 Motorwagen von je 20,5 t Gewicht, 1 Benzinwalze von 14 t Gewicht, 1 Naphtawalze von 12 t Gewicht, sowie Pflastersteine auf den Gehwegen von 85,5 t Gewicht. Die gesamte Probelast betrug demnach 180,5 t. Die größte elastische Durchbiegung der Hauptträger unter den Geleisen betrug hiebei 2,35 mm, gegenüber der berechneten von 4,47 mm, die der übrigen Hauptträger 2,05 mm gegenüber 2,90 mm. Das Ergebnis der Belastungsprobe war demnach ein äußerst befriedigendes.

Pro 1 m² Grundrißfläche der Brücke beträgt der gesamte Betonverbrauch — ausschließlich des Füllbetons — 79 cm, der gesamte Eisenverbrauch nur 128 kg; hievon entfallen 10 kg auf die Bügelbewehrung aus gewöhnlichem Baustahl C 38, der Rest auf „Roxor"-Stahl.

Zusammenfassung.

Von theoretischen Erwägungen ausgehend, behandelt der Bericht die beiden in der Tschechoslovakei im Eisenbetonbau angewandten hochwertigen Stahlsorten „Roxor" und „Isteg", deren hochliegende Streckgrenze beim „Roxor"-Stahl auf natürlichem Wege durch hüttenmännische Herstellung und beim „Isteg"-Stahl künstlich durch Kaltstreckung erzielt wird.

Der Bericht beschreibt ferner die Anwendung von „Isteg"- und „Roxor"-Stahl beim Bau einiger Staats-Straßenbrücken.