

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

Band: 10 (1976)

Artikel: Vergleich zwischen den Paralleldrahtseilen und verschlossenen Seilen
am Beispiel der Eisenbahnshängebrücke über die Save in Belgrad

Autor: Hajdin, Nikola

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-10466>

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: 23.02.2026

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

Vergleich zwischen den Paralleldrahtseilen und verschlossenen Seilen am Beispiel der Eisenbahnseilbrücke über die Save in Belgrad

Comparison between Parallel Wire Bundles and Closed Ropes Illustrated on the Cable Stayed Railway Bridge over the River Save in Belgrade

Comparaison entre les câbles à fils parallèles et les câbles torsadés dans le cas du pont de chemin de fer haubanné sur la Save à Belgrade

NIKOLA HAJDIN
Prof. Dr. sc. techn.
Universität Beograd
Beograd, Jugoslawien

1. Einführung. Konstruktive Gestaltung der Brücke.

Die doppelgeleisige Eisenbahnbrücke über die Save in Belgrad, z.Zt. im Bau, besteht aus einem Brückenzug von etwa 2 km Länge.

Dominierter Teil ist die Strombrücke mit den Spannweiten $54 + 85 + 50 + 254 + 50 + 65$ m[☆]

Das System ist eine Schrägseilbrücke mit zwei vertikalen Pilonen beidseits der Hauptöffnung von 254 m (Abb. 1).

Eine solche Eisenbahnbrücke, unseres Wissens die erste dieser Art für den reinen Eisenbahnverkehr, bietet eine Fülle von technischen und praktischen Problemen, unter denen die Seilverspannung eines der wichtigsten ist.

Der Versteifungsträger der Brücke besteht aus zwei druchlaufenden Kastenträgern mit der konstanten Bauhöhe von 4,45 m und der Beite von 3,2 m. Die Träger sind mit einer, etwa 70 cm unter dem Obergurt der Träger liegende orthotrope Platte verbunden.

Die vier Pilonen der Brücke überragen die Oberkante der Kastenträger um 55 m. Sie haben einzellige Rechteckquerschnitte. Die Pilonenbreite ist konstant und beträgt 1,90 m. Querschnittshöhe variiert linear; an der Kontaktstelle mit dem Kastenträger beträgt 3,10; an der Spitze jedoch nur 2,50 m.

Jeder Pylon ist in dem entsprechenden Kastenträger eingespannt und dient zur Aufnahme von 4 Abspankabeln. Die zwei zur Strömung hin angeordneten Schrägkabel ergeben die erforderliche elastische Stützung des Kastenträger. Die landseitigen Kabel dienen als Rückverankerung.

Die, zwischen den Kastenträgern liegende orthotrope Platte hat eine Breite von 8,1 m.

Die Gesamtbreite der Brücke mit den beiden Dienstwegen (2x1,0 m) beträgt 16,5 m.

Die, im statischen Sinne etwas ungünstige Lage der orthotropen Platte unter der Oberkante der Kastenträger ist durch das Schotterbett bedingt. Schon zu Beginn der Projektierung wurde verlangt dass durch die entsprechende Auswahl des Oberbaus über den ganzen Brückenzug die Lärm infolge des Eisenbahnverkehrs möglichst gedämpft werde. Bei den Zufahrtbrücken hat sich Schotterbett als sehr geeignet gezeigt.

Im Falle der Strombrücke hat sich ausserdem eindeutig herausgestellt, dass wegen der ungünstigen Verhältniss zwischen der Verkehrslast und dem Eigengewicht eine Erhöhung der ständigen Last erwünscht wäre. Die mittels Schotterbett erreichte Erhöhung des Eigengewichtes hat nur einen ganz unbedeutenden Einfluss auf die Gesamtkosten der Brücke. Diese Zusatzbelastung bringt praktisch keine Vergrösserung des Seilgewichtes (siehe die Reihe 7 in der Tabelle), da die

[☆]Entwurfsvfasser: Prof. Dr. N. Hajdin, Dipl.-Ing. und Dipl.-Ing. Lj. Jevtović, Belgrad, Jugoslawien.

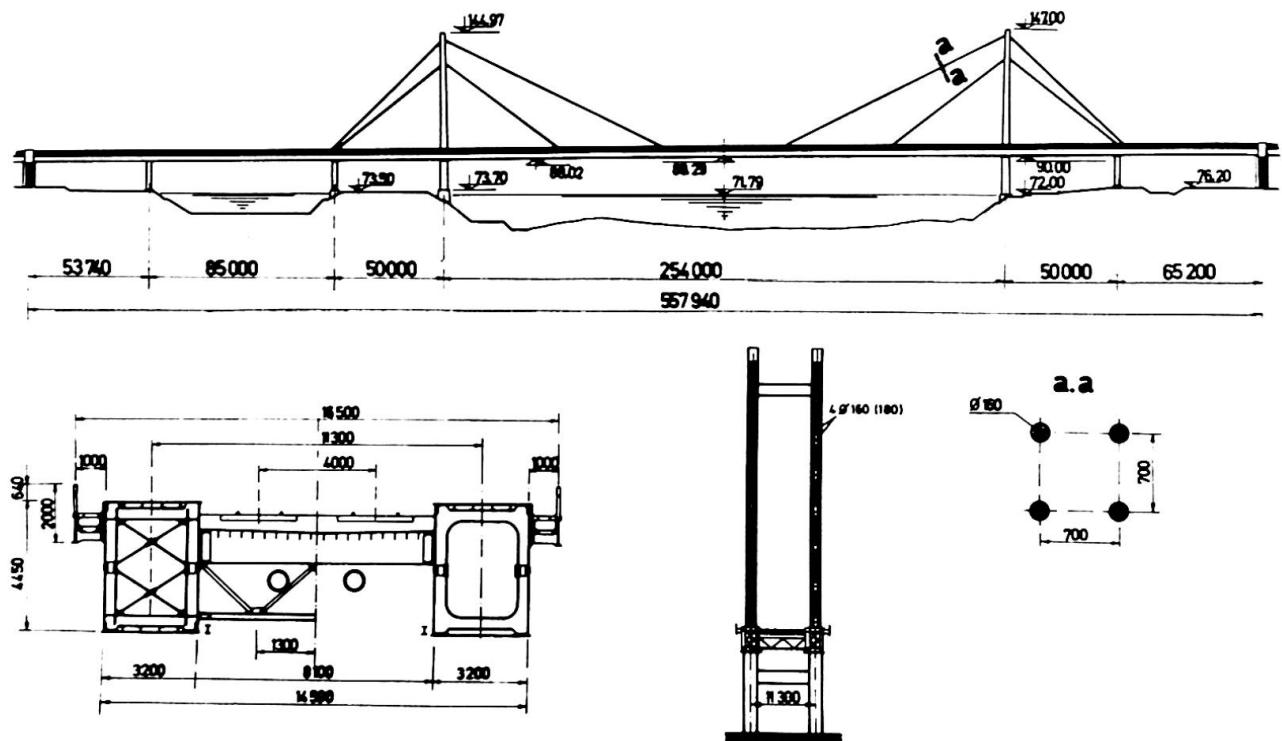


Abb. 1.

Dauerschwingfestigkeit für die Bemessung massgebend ist. Ein etwas grosseres Eigengewicht (infolge des Schotterbettes) hat auch praktisch keinen Einfluss auf das Gewicht der Kastenträger. Ein gewisses Mehrgewicht (etwa 1,7% des Gesamtgewichtes der Strombrücke) zeigt sich nur bei den Pilonen.

2. Kabel. Ein Vergleich zwischen dem verschlossenen Seil und dem Paralleldrahtbündel

Das Schräkgabel stellt ein von den wichtigsten Elementen einer Brücke dieses Systeme dar.

Der Hauptunterschied zwischen einer Strassenbrücke und einer Eisenbahnbrücke dieses Systems liegt im Verhältnis zwischen der beweglichen und ständigen Belastung. Dieses Verhältnis ist bei einer Eisenbahnbrücke beträchtlich grösser. Ausserdem ist die Häufigkeit des Auftretens der beweglichen Belastung höherer Intensität bei einer Eisenbahnbrücke meist grosser.

Bei einer Schrägseilbrücke ist die Durchbiegung und die Neigung wegen der Flexibilität des Systems verhältnismässig gross, was sich bei der Eisenbahnbrücke ungünstig auswirken könnte. Es ist zu erwarten, dass die dynamische Wirkung bei einer flexiblen Brücke mit grosser Durchbiegung mehr zum Ausdruck kommt.

Als Unterlage für Bemessung der Kabel wurde DIN 1073 benutzt. Gemäss dieser Vorschrift wird die Dauerschwingfestigkeit aufgrund der Schwingbreite zwischen der maximalen σ_0 und minimalen σ_u Spannung für verschiedene Werte maximalen Spannung bestimmt, und zwar:

für Paralleldrahtbündel (PDB):

$$\text{zul } \sigma_0 = \frac{2500}{1 - 0,895 \alpha}$$

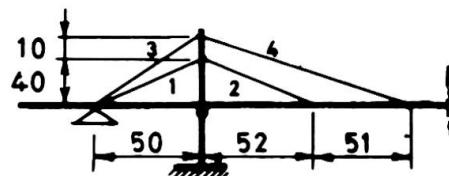
für verschlossenes Seil (V.S.)

$$\text{zul } \sigma_0 = \frac{2000}{1 - 0,896 \alpha} \quad (1), (2)$$

wo $\alpha = \sigma_u / \sigma_0$ ist. Die Formeln (1) und (2) sind für Bruchspannung von 16.000 kp/cm^2 gegeben. Bei Strassenbrücken müssen nur 50% der Spannungen aus Verkehrslast eingerechnet werden. Die Spannungen aus Lasten von Schienenfahrzeugen einschliesslich Schwingbeiwert müssen im vollen Betrag eingesetzt werden. Da es sich in unserem Fall praktisch nur um bewegliche Belastung infolge Eisenbahnverkehr handelt, wird die Dauerschwingfestigkeit mit volem Betrag der

entsprechenden Spannung berechnet. Das hat zur Folge (siehe Tabelle), dass für die Bemessung der Kabel überall die Dauerschwingfestigkeit massgebend ist.

In diesem Fall und auf Grund von Formeln (1) und (2) zeigen die Parallelendrahtbündel gegenüber den verschlossenen Seilen ein Ersparnis im Gewicht von 25%.



| Nr | Seil | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|----|--------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | PDB | VS | PDB | VS | PDB | VS | PDB | VS |
| 1 | zul $\sigma_{0,1}$ | 4771 | 3822 | 4518 | 3617 | 5179 | 4148 | 5389 | 4316 |
| 2 | $\sigma_{u,1}$ | 2532 | 2033 | 2254 | 1805 | 2994 | 2398 | 3228 | 2585 |
| 3 | $\sigma_{s,1}$ | 961 | 769 | 941 | 753 | 1004 | 803 | 974 | 779 |
| 4 | σ_1 | 0,532 | | 0,499 | | 0,578 | | 0,599 | |
| 5 | zul $\sigma_{0,2}$ | 3960 | 3171 | 3698 | 2959 | 4355 | 3487 | 4584 | 3671 |
| 6 | $\sigma_{u,2}$ | 1632 | 1306 | 1339 | 1071 | 2073 | 1660 | 2329 | 1865 |
| 7 | σ_2 | 0,412 | | 0,362 | | 0,476 | | 0,508 | |
| 8 | F_1 / F_2 | 1,04 | | 1,03 | | 1,04 | | 1,04 | |
| 9 | $E_i F(1) [PDB]$ | 0,974 | | 0,978 | | 0,972 | | 0,985 | |
| | $E_i F(1) [VS]$ | | | | | | | | |

In der Tabelle eingeführten Bezeichnungen haben die folgende Bedeutung:

Index 1 – bezieht sich auf die Lösung mit Schotterbett,

Index 2 – bezieht sich auf die Lösung ohne Schotterbett,

PDB – Parallelendrahtbündel, VS – Verschlossenes Seil,

$\sigma_{s,1} = G_s / F_1$ – Spannung infolge des Schotterbettgewichtes,

F_1, F_2 – Querschnittsfläche des Seiles.

Das Ersparnis im Gewicht und die anderen Gründe, worüber später berichtet wird, haben zur Wahl von Parallelendrahtbündeln geführt.

Wie aus der Abb. 1 ersichtlich, besteht jeder Kabelstrang im statischen Sinne aus 4 Drahtbündeln. Die Zahl der Drähte in den einzelnen Drahtbündeln variiert zwischen 240 und 290. Es werden Runddrähte mit Durchmesser von 7 mm und Festigkeit zwischen 150 – 170 kp/mm² ausgewählt. Die Drahtbündel einer Gruppe sind räumlich getrennt. Jedes Drahtbündel besteht aus den Drähten mit einer Litze umwickelt (Abb. 2) und einer äusseren Polyäthylenhülle der Stärke von 7 (8) mm und mit einem Aussendurchmesser von 160 (bzw. 180) mm. Es wurde die HiAm-Verankerung [1], [2] verwendet, welche bei schwingender Belastung die Ermüdungsfestigkeit des freien Drahtbündel erreicht.

Nach Ernst [3] kann die Dehnungssteifigkeit des Seiles wie folgt berechnet werden:

$$E_i F = \frac{E_0 F}{1 + \frac{1}{24} (\gamma' l^2) \frac{\sigma_0 + \sigma_u}{\sigma_u^2 \sigma_0^2} E_0} \quad (3)$$

wobei E_i – scheinbarer E – modul, E_0 – rechnerischer Modul des Seiles, γ' – spezifisches Gewicht des Seilmaterials mit Zuschlägen sind.

Bei den Parallelendrahtbündel ist mit einem E_0 – Modul von 2.050 Mp/cm² zu rechnen, bei den verschlossenen Seilen jedoch nur mit 1.700 Mp/cm².

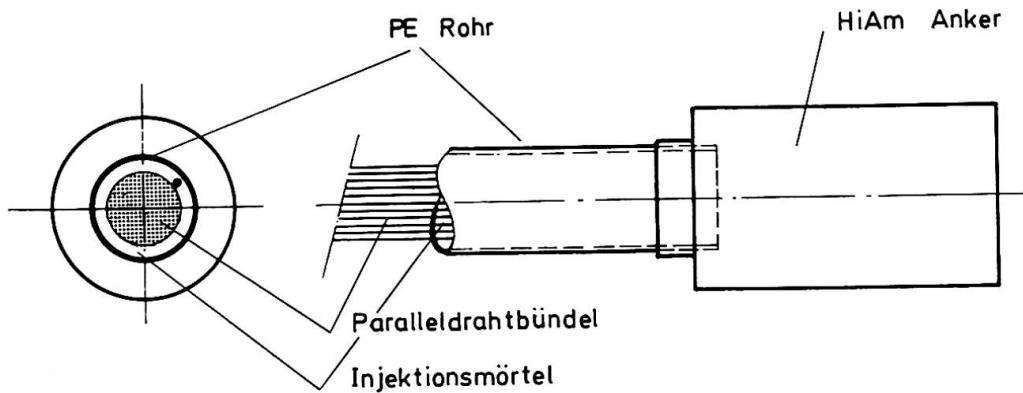


Abb. 2.

Der Wert γ' ist bei den Paralleldrahtbündeln in unserem Fall, wegen des Gewichtes von Polyaethylenrohren und Zementmörtel, etwa $8 \times 1,25 = 10 \text{ Mp}/\text{m}^3$ gross. Bei den verschlossenen Seilen ergibt sich $1,05 \times 8,0 = 8,40 \text{ Mp}/\text{m}^3$.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, geben die Paralleldrahtbündel, mit dem um 25% kleineren Querschnitt, praktisch die gleiche Kabelsteifigkeit $E_i F$ wie die verschlossenen Seile.

Die Längssteifigkeiten FE_i sind im Falle der Lösung mit Schotterbett etwa 5% grösser und der Durchhang des längsten Seiles für ständige Belastung um cca 40% kleiner als die entsprechenden Werte der Brücke ohne Schotterbett.

Andere Vorteile der Paralleldrahtbündel gegenüber dem verschlossenen Seil, welche hier nicht quantitativ gezeigt werden können, sind in unserem Fall die folgenden:

- Diese Art der Kabel ermöglicht die Bildung der Bündel grosser Durchmesser mit angepasster Anzahl Drähte. Das hat sich, wegen der Knappheit in den Verankerungsstellen im Pylon vorteilhaft erwiesen.
- Die räumlich getrennten und parallel geführten Bündel, haben keine Spreizstellen. Diese hätten eine negative Wirkung auf die Dauerschwingfestigkeit des Seiles. Aus diesen Gründen haben wir jede Änderung der Kabelrichtung inklusive Sattellager vermieden. Die Paralleldrahtbündel mit HiAm – Verankerung ermöglichen die Lösung dieses Problems und bieten gleichzeitig eine einfache Montage, Spannen und Kontrolle der Kabelkräfte.
- Ein präzis vorausgegebener E_o – Modul der Bündel erleichtert die Montage und ermöglicht eine genaue Berechnung der verschiedenen Durchbiegungen während der Montagezustände.

3. Bemerkungen zur Anwendung dieses Systems für weitgespannte Eisenbahnbrücken

Eine weitere Anwendung dieses Systems für die Eisenbahnbrücken sehr grosser Spannweiten wird stark von den Annahmen über Dauerschwingfestigkeit abhängen. Eine Berechnung mit σ_e – Werten aus nur einem Teil der Verkehrslast, wie bei den Strassenbrücken, was uns als berechtig scheint, würde die Verwirklichung der Eisenbahnbrücken sehr grosser Spannweiten ermöglichen. Wie stark σ_e – Werte, im Falle dass die Dauerschwingfestigkeit für die Bemessung massgebend ist, die untere Grenze $\sigma_0 \approx \sigma_g$ des scheinbaren E_i – Modul beeinflussen, zeigt die Abb. 3.

Wie aus Abb. 3 ersichtlich, wird die Seillängen über 150 bzw 200 m, ohne Versteifungseile, für σ_e – Werte unter 0,5, wegen des niedrigen E_i – Modul, kaum möglich.

Die Dauerversuchen mit den Paralleldrahtbündeln zeigen, dass eine Erhöhung der Schwingbreite um cca 25% durchaus zu vertreten wäre. Das würde viel der Wirtschaftlichkeit dieses Systems im Falle einer Eisenbahnbrücke beitragen.

Der Gewichtszuschlag infolge des Zementmörtels vergrössert bei den Paralleldrahtbündeln den Durchhang des Seiles und verkleinert E_i – Modul. Ein anderer Korosionsschutz mit etwas kleinerem Gewicht würde noch mehr der Überlegenheit der Paralleldrahtbündel beitragen. –

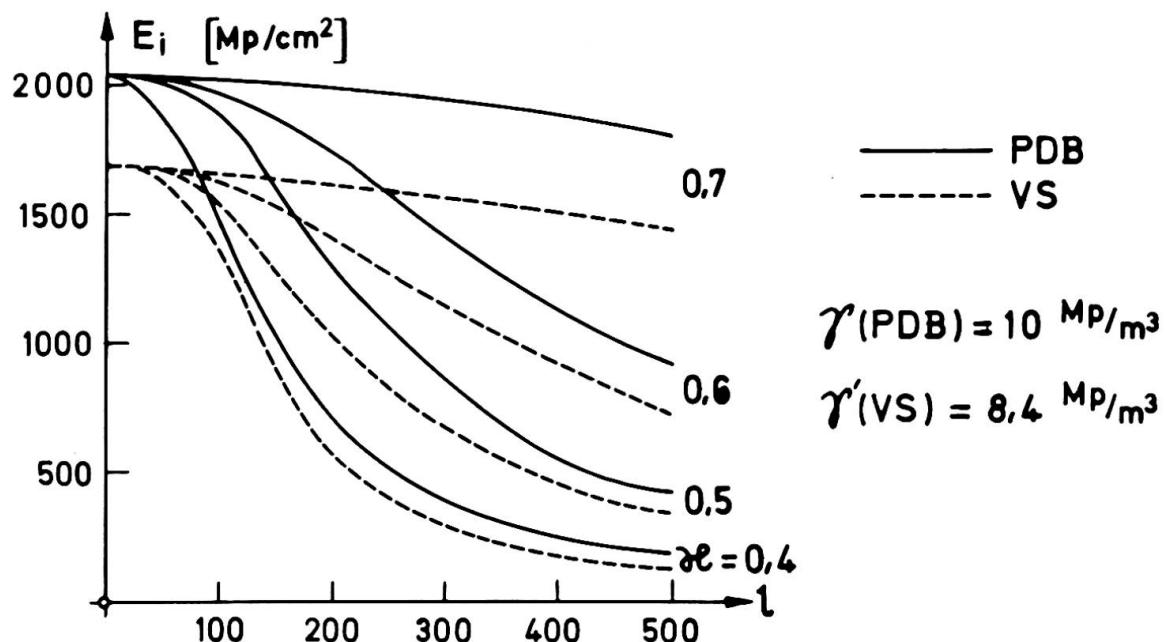


Abb. 3.

Literaturverzeichnis

- [1] Andrä, W. und Zellner, W.: Zugglieder aus Paralleldrahtbündeln und ihre Verankerung bei hoher Dauerschwellbelastung. Die Bautechnik 46 (1969). H. 8. u. 9.
- [2] Leonhardt F. und Zellner, W.: Vergleiche zwischen Hängebrücken und Schräkgabelbrücken für Spannweiten über 600 m. Abhandlungen IVBH, Bd 32-I, 1972.
- [3] Ernst, H.J.: Der E-Modul von Seilen unter Berücksichtigung des Durchhanges. Der Bauingenieur 40 (1965).

ZUSAMMENFASSUNG - Das Problem der Seilverspannung einer Eisenbahn-schrägseilbrücke wird diskutiert. Bei einer reinen Eisenbahnbrücke dieser Art kommen der Dauerschwingfestigkeit und dynamischen Beanspruchung grössere Bedeutung zu als bei einer Strassenbrücke. Ein Vergleich zwischen den Paralleldrahtbündeln und dem verschlossenen Seil zeigt eine merkbare Ueberlegenheit der ersteren gegenüber verschlos-senen Seilen.

SUMMARY - The submitted contribution deals with the problem of cable work on a cable stayed railway bridge. Fatigue resistance and dynamic effects in a railway bridge with the cable stayed system become more significant than in a road bridge with the same system. These effects have important influence on the dimensioning of the cables. Parallel wire bundles in comparison with closed ropes show a noticeable superiority of the former.

RESUME - On présente un problème posé par un pont de chemin de fer hau-banné réalisé avec des câbles. Dans le cas d'un pont-rail typique, la résistance à la fatigue et aux sollicitations dynamiques sont plus critiques que dans un pont-route. Ces facteurs ont une influence significative sur le dimensionnement des câbles. Une comparaison entre le faisceau de fils paral-lèles et le câble torsadé montre une supériorité notable du premier par rapport au câble torsadé.

Leere Seite
Blank page
Page vide