

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

Band: 8 (1968)

Artikel: Possibilités de réalisation d'un pont en arc en béton d'une portée de 320 m, composé d'éléments préfabriqués et assemblé en porte-à-faux prévu pour l'exécution du pont à Dubrovnik

Autor: Zezelj, Branko

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8823>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

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

IVa

Possibilités de réalisation d'un pont en arc en béton d'une portée de 320 m, composé d'éléments préfabriqués et assemblé en porte-à-faux prévu pour l'exécution du pont à Dubrovnik

Studien über die Erstellung einer Betonbogenbrücke von 320 m Spannweite aus vorfabrizierten Elementen, im Freivorbau zusammengesetzt, für eine Brücke in Dubrovnik

Designing a Concrete Arch Bridge (Span 320 m) with Prefabricated Elements Assembled in Cantilevered Construction, to be built in Dubrovnik

Prof. BRANKO ZEŽELJ, Ing.Civ.

Membre de l'académie des Sciences de Serbie
Président du Conseil Scientifique de l'Institut
d'Essais des Matériaux de Belgrade

1. Introduction

La préfabrication et le montage deviennent d'année en année de plus en plus l'impératif de tout progrès dans les constructions en béton pour n'importe quel genre d'ouvrages, y compris les ponts de plus grande portée. Toutefois, la construction de ponts en poutre est en plus grand progrès que celle de ponts en arc. Cependant, l'idée de la possibilité d'application de la préfabrication dans la construction de plus grands ponts en arc a trouvé en Yougoslavie un développement ultérieur, en s'appuyant sur l'expérience acquise au cours de la construction du pont en arc sur le Danube, près de Novi Sad, qui fût l'objet d'une communication que nous avons présentée à Stockholm (au Sixième Congrès - Rapport final page 342) et dont l'échafaudage en arc de béton (fig.1) de 108 m de portée a été composé d'éléments préfabriqués et montés en porte-à-faux à l'aide de suspentes obliques. En se tenant aux mêmes principes, l'auteur a élaboré un projet pour la construction d'un pont en arc à Dubrovnik, de 320 m de portée, dont l'exécution est en attente.

Quoique à première vue l'idée puisse sembler trop audacieuse, toutes les phases de l'exécution de ce projet nous semblent réelles et réalisables, le poids des éléments, les intensités des forces dans les suspentes et, en général, la complexité des opérations ne sortant pas du cadre des proportions habituelles. Au contraire, ce que le projet demande à titre d'investissements pour les grues et l'autre équipement n'est ni exagéré ni trop complexe. L'équipement est en majeure partie usuel et peut être utilisé aussi à d'autres travaux. Les investissements plus grands en acier pour les suspentes sont compensés par l'utilisation du même acier en majeure partie pour la précontrainte du tablier du pont même et pour d'autres ouvrages.

Ce qui nous rassure encore d'avantage dans notre conviction d'être sur la bonne route, c'est en premier lieu notre assurance d'ingénieur que les opérations envisagées ne cachent ni de quantités indéterminées ni de risques. A chaque instant le montage se développerait sous notre plein contrôle, en admettant des corrections sous la conduite la plus précise.

Comme nous allons le voir ci-après, l'application du procédé en porte-à-faux aux ponts en arc de cette nature est non seulement possible, mais aussi justifiée pour des raisons d'économie et réalisable dans la construction même de ponts de la plus grande portée.

Dans le présent rapport, nous n'avons pas traité les problèmes de la construction du pont même, mais nous avons exposé seulement l'idée réalisée dans la partie du projet se rapportant à l'exécution de l'arc et nous espérons que cela aura de l'intérêt pour le Congrès.

2. Construction du pont

Le pont enjambe le bras de la mer devant l'embouchure de la rivière de Dubrovnik. C'est un pont-route d'une longueur totale de 490 m (fig.2), comportant un arc de 320 m de portée et une flèche de 40 m. La largeur du tablier est de 12,30 m, avec une chaussée de 9 m et des trottoirs de 2 x 1,50 m.

Les bords sont composés de calcaire d'une compacité non tout à fait parfaite. Le fond du lit rocheux descend obliquement aux profondeurs de plus en plus grandes. Il est couvert d'une couche d'alluvion inerte. La profondeur d'eau dépasse 30 m.

La grande portée de l'arc a imposé le choix d'une construction aussi légère que possible pour le tablier et pour les poteaux. La construction du tablier est en forme de caisson, muni de poutres dans les deux directions. Le tablier est préfabriqué en pièces de 20 x 10 m ayant un poids de 160 t. Les poutres longitudinales en béton précontraint sont continues. Après leur mise sur les poteaux on réalise leur continuité.

Les charges horizontales sont reprises par le tablier, conçu comme une poutre d'une portée de 200 m, posée horizontalement et précontrainte, ayant une section en caisson, et encadrée en deux endroits: au milieu de l'arc et dans les culées respectivement dans les bords rocheux. A une distance de 40 m des culées, le tablier est pourvu d'articulations.

Les poteaux ne reprennent pas les charges horizontales. Ils sont d'une section circulaire et leur épaisseur dépend de leur longueur qui atteint au maximum 35 m à un diamètre de maximum 1,10 m. Ils sont préfabriqués en une pièce de 80 t.

L'arc est encadré, avec surbaissement de 1:8, sa section, en forme de caisson, est d'une hauteur variable allant de 5.00 m à la clef jusqu'à 3,80 m aux naissances. Sa largeur est de 10 m, sauf dans la zone des naissances où elle augmente à 14 m. L'épaisseur des dalles supérieure et inférieure varie de 35 à 60 cm. Les voiles longitudinaux ont une épaisseur constante de 25 cm. Dans la partie des naissances on forme graduellement encore deux voiles longitudinaux. La tension maximum à l'angle de la section transversale de l'arc est de 180 kg/cm². La sécurité contre le flambement de l'arc atteint: dans le plan de la construction $n = 15$, et perpendiculairement $n = 23$.

Les parties de l'arc aux naissances sont bétonnées sur place dans une longueur de 45 m. La partie centrale est préfabriquée et montée par le procédé en porte-à-faux. Au cours du montage la partie de 242 m de l'arc s'appuie sur des articulations provisoires. Après l'assemblage, l'arc est laissé ouvert pendant un certain temps sous l'action de vérins hydrauliques.

3. Procédé d'exécution

Il est difficile de prévoir la portée maximum jusqu'à laquelle on peut appliquer le procédé en porte-à-faux. La forme de l'arc, la composition et la nature du sol, ainsi que d'autres conditions y jouent un grand rôle. Du point de vue de la technique, il est possible de réaliser dans les suspentes chaque valeur de la précontrainte, mais il est raisonnable de se limiter à une valeur appropriée. Etant donné que les dimensions de ce pont battent le record, il fallait diminuer la valeur des forces dans les suspentes. Plusieurs solutions ont été essayées en changeant la position et la hauteur de la palée, de même que les pentes et les emplacements des ancrages des suspentes.

La solution choisie (fig.3) prévoit que les palées soient placées dans le lit pour diminuer la portée de la partie préfabriquée de l'arc, en y tenant à réduire au minimum les dépenses de fondation, des palées et des suspentes obliques.

Les parties de l'arc entre les culées et les palées sont bétonnées sur place, sur un échafaudage composé de poutres en acier, utilisées plusieurs fois d'un et de l'autre côté. Un poteau en béton, placé dans l'axe de la palée mais séparé d'elle, soutient cette partie initiale de l'arc à l'aide de vérins hydrauliques. Aux extrémités de cette partie de l'arc, à l'intérieur de la section, on forme des appuis articulés provisoires en acier qui s'appuient sur l'arc à l'aide de vérins plats hydrauliques. Les murs obliques de ces appuis se composent des mêmes poutres qui ont servi d'échafaudage pour le bétonnage de l'arc et elles restent en fonction jusqu'à la terminaison de l'arc.

La partie de l'arc, à partir de ces articulations jusqu'à la clef, est réalisée en éléments préfabriqués, montés en porte-à-faux et accrochés aux suspentes qui s'appuient sur les palées en béton.

Les suspentes extérieures - contre-suspentes - sont ancrées fixement dans les culées et elles sont mises en place en même temps. Elles sont composées de torons, ayant la capacité d'une charge de service de 210 t, qui, au sommet des palées sont fournis de fuseaux en acier pour régler les forces en eux. Progressivement et synchroniquement avec l'augmentation des forces dues à l'accrochage de l'arc au cours du montage, on effectue la mise en tension ou le relâchement des contre-suspentes.

Les suspentes intérieures (fig.4) ont des fonctions plus complexes: les suspentes principales sont prévues pour chaque troisième section, correspondant à 21 m de l'arc. Cependant, après le montage mais avant la pose de l'élément suivant, il est nécessaire de soutenir par la suspente chaque section de la longueur d'environ 7 m et d'un poids d'au plus près 220 t. Pour cela on utilise des suspentes auxiliaires. Dès qu'une suspente principale est posée, on enlève les suspentes auxiliaires que l'on avance pour en faire usage dans la nouvelle phase composée de trois sections. Les suspentes auxiliaires se composent de torons d'une charge de service de 70 t et elles sont d'une longueur suffisante à pouvoir atteindre les dernières sections à la clef

de l'arc. Elles sont pourvues de fuseaux au sommet de la palée. Quand une section de la longueur de 7 m est mise en place et les joints sont terminés, on enfile les suspentes auxiliaires par les trous prévu du côté supérieur de l'élément et on bloque les cônes d'ancrage du côté inférieur. La mise en tension et le relâchement des suspentes auxiliaires s'effectue à l'aide de fuseaux du sommet de la palée.

Après le montage de la troisième section d'une phase, on la soutient de chaque côté par les suspentes principales qui se composent de deux ou trois torons d'une charge de service de 210 t. La mise en tension s'effectue à l'aide du fuseaux au sommet de la palée, tandis que chaque toron a un ancrage fixe à l'extrémité inférieure.

Dans le sens transversal chaque section est composée de 3 éléments d'une largeur égale. Les jonctions sont prévues aux axes des voiles longitudinaux intermédiaire, de sorte que, lors de la préfabrication, chaque élément a des voiles longitudinaux d'une épaisseur de 12 cm. Au cours du montage, on forme entre les voiles longitudinaux des joints de 2 cm, remplis par du mortier au ciment, puis précontraints avec des cables passant dans les dalles supérieure et inférieure, ainsi que dans les voiles transversaux. De cette manière on obtient un ensemble solide de trois éléments préfabriqués.

Les joints de montage dans le sens transversal sont prévus aux axes des voiles transversaux. Chaque élément préfabriqué comprend une demi-épaisseur du voile transversal, c'est-à-dire 12 cm. Les joints de 1 cm sont remplis par une émulsion colloïdale en ciment.

Au cours du montage, les éléments préfabriqués sont posés à leur place d'une manière précise à l'aide de boulons coniques et fixés par des vis passant à travers des cornières, auxquelles l'armature longitudinale inférieure est soudée, présentant en même temps sa connexion. Les joints de l'armature longitudinale supérieure sont effectués par soudure.

Les éléments sont bétonnés sur les bords et sur les plateaux de travail au niveau de la chaussée, sous une grue portique. Les éléments de l'arc sont bétonnés d'une façon continue, c'est-à-dire qu'au cours du bétonnage la section suivante s'appuie sur la section précédente en même temps dans toute la largeur de l'arc. Les jonctions des voiles transversaux et longitudinaux sont contreplaqués (10 et 20 mm). Les éléments du poids de 70 à 80 t sont transportés par des chariots sur rails jusqu'à la palée, où ils sont repris par une grue qui les fait descendre au niveau de l'arc et les pose sur un autre chariot, tiré par des cordes sur rails le long de l'axe de l'arc. Graduellement avec l'avancement du montage, une autre grue se déplace au bout de la partie de l'arc déjà montée. Cette grue est du type derrick double, ayant une capacité de 40 t à chaque flèche. Chaque élément est transporté jusqu'au bout le long de l'axe de l'arc, où il est repris par les derricks et porté à sa place définitive.

Au montage des derniers éléments à la clef, leurs poids fait naître des forces importantes aux suspentes, à la palée et aux contre-suspentes. De ce fait l'ordre de montage de la dernière phase à la clef est changé. En partant du bout de la phase avant-dernière, il faut monter d'abord les éléments médians en utilisant au cours de cette opération seulement les suspentes auxiliaires. Dès que le contact des deux parties à la clef est établi

par leur milieu seulement, on pose immédiatement les vérins hydrauliques en appliquant les forces horizontales. Ce n'est qu'alors que l'on procède au montage des éléments latéraux. Les joints longitudinaux ne sont remplis qu'après l'application de la force horizontale aussi dans les éléments latéraux. Quand les déformations s'égalisent, on renferme les derniers joints longitudinaux par la précontrainte transversale.

L'application des forces horizontales à la clef est liée au réglage des forces dans les suspentes et dans les contre-suspentes. A chaque phase d'augmentation de la force à la clef, il faut vérifier la ligne de pression et l'état des tensions dans l'arc.

Après la fin du montage et après l'application des forces horizontales, il est possible de régler au besoin encore une fois quelque peu la position des appuis provisoires à proximité des palées. Ceci peut se faire à l'aide de vérins hydrauliques, appuyés sur le poteau et par l'action des suspentes sur les palées. La position des articulations une fois réglée, on procède à la soudure de l'armature, puis on bétonne les joints, après quoi on démonte les articulations.

L'arc achevé reste ouvert encore pendant un certain temps, soutenu par les vérins hydrauliques à la clef pour éliminer autant que possible les influences dues au retrait et au fluage.

La sûreté de la conduite précise du montage est sans doute une question très délicate qui exige qu'on prévoit dans le projet la possibilité de régler et de corriger à temps la position de chaque élément séparément, ainsi que de l'arc dans son ensemble. La position exacte du niveau des éléments en contact à la clef peut être réalisée sans difficultés par le raccourcissement ou le prolongement des contre-suspentes; dès le commencement du montage il faut suivre et ajuster la coïncidence de l'axe de l'arc dans le plan horizontal. Cela est possible à réaliser parce que les articulations provisoires s'appuient sur l'arc par l'intermédiaire d'un nombre de vérins plats. Le commencement même du montage est essentiel pour établir la direction exacte. En ce qui concerne les éléments, on peut régler leur position réciproque en utilisant les jonctions entre eux. C'est la position de l'élément médian qu'il faut régler d'abord exactement et en correspondance avec celle-ci on arrange les éléments à côté. Au cours du montage, deux plaques supplémentaires en béton d'environ 140 x 140 x 10 mm sont insérées en bas entre les éléments pour transmettre la pression. En variant l'épaisseur des plaques et en ajustant les joints au moyen de vis il est possible de régler la position de chaque élément avec précision. La stabilité de l'ensemble de ce dispositif de suspension est assuré par le coefficient $n = 1,7$.

4. Construction des palées

Les palées sont en forme d'un portique en béton armé de la section de 180 x 200 cm, la hauteur étant de 49 m jusqu'au niveau de la chaussée et de 28 m au-dessus de la chaussée. Les poteaux sont reliés par deux poutres transversales au niveau de la chaussée et à leur sommet. La charge maximum verticale, dues aux suspentes, est de 4.300 t. La tension maximum dans le béton est de 130 kg/cm². Les poutres transversales au niveau de la chaussée sont liées à la construction du pont, tandis que les poteaux sont séparés d'elle. Les poteaux ont une section réduite au niveau de la chaussée, de sorte que la partie supérieure de la palée se comporte comme une pendule. La fondation est prévue sur une roche calcaire.

5. Exécution des poteaux et du tablier

Les poteaux sont bétonnés sur le terrain, en position horizontale, tout près de leur place définitive. Le montage des poteaux s'effectue avec les derricks, soulevés du terrain sur un échafaudage provisoire.

Le tablier - sans trottoirs - est préfabriqué en une pièce de 20 x 10 m et précontraint sur le plateau de travail. Cette pièce de 160 t est montée sur les poteaux à l'aide d'un treillis qui s'appuie sur les poteaux mêmes. La continuité du tablier est réalisée ultérieurement par la précontrainte.

L'exécution de la partie du tablier jusqu'à la palée est réalisée avant le montage de l'arc. Le reste du tablier est achevé de la même manière dès que l'arc est serré à la clef.

6. Avantage économique du procédé

Préalablement le projet a été élaboré en variante d'exécution de l'arc sur un échafaudage fixe. L'analyse des deux variantes nous a permis de comparer l'effet économique des procédés appliqués.

L'échafaudage se composait de trois arcs en béton préfabriqués, appuyés sur deux piles, fondées sur des pieux Benoto. Ils n'avaient à porter que 40% du poids total de l'arc et se distinguaient par leur économie. Néanmoins le coût de l'échafaudage, par rapport au coût total du pont s'élevait à 32% - sans compter le prix du coffrage.

Par le procédé en porte-à-faux on réalise une économie assez sensible. Le remplacement de l'échafaudage (32%) n'exige que 25% du coût total du pont, y compris l'équipement complet et l'appareillage nécessaire: rails, chariots, grues, etc. Une partie considérable de ces investissements peut être utilisée ailleurs.

Ces données prouvent que la construction en porte-à-faux est justifiée aussi pour des ponts en arc de plus grandes portées.



Fig. 1

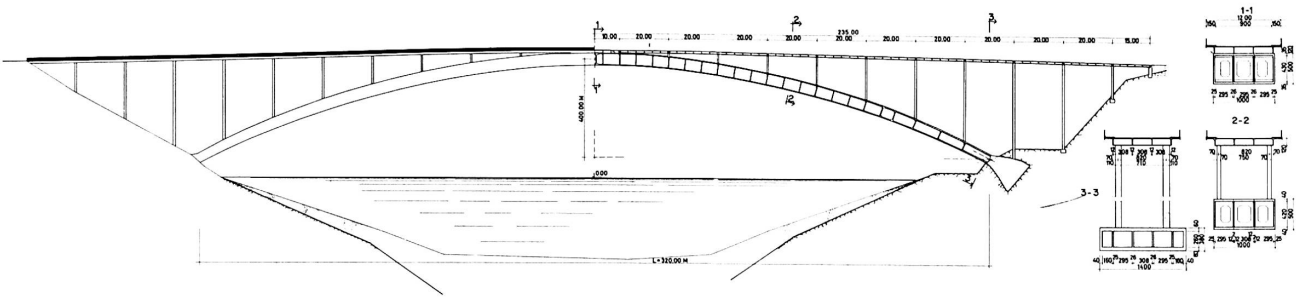


Fig. 2

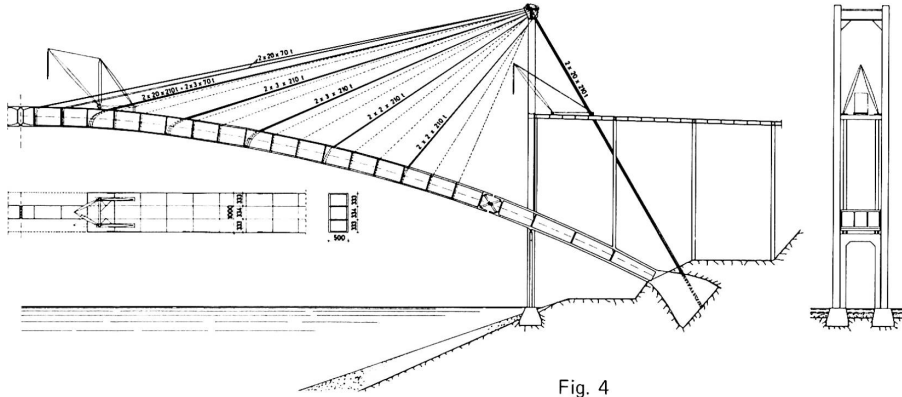


Fig. 4

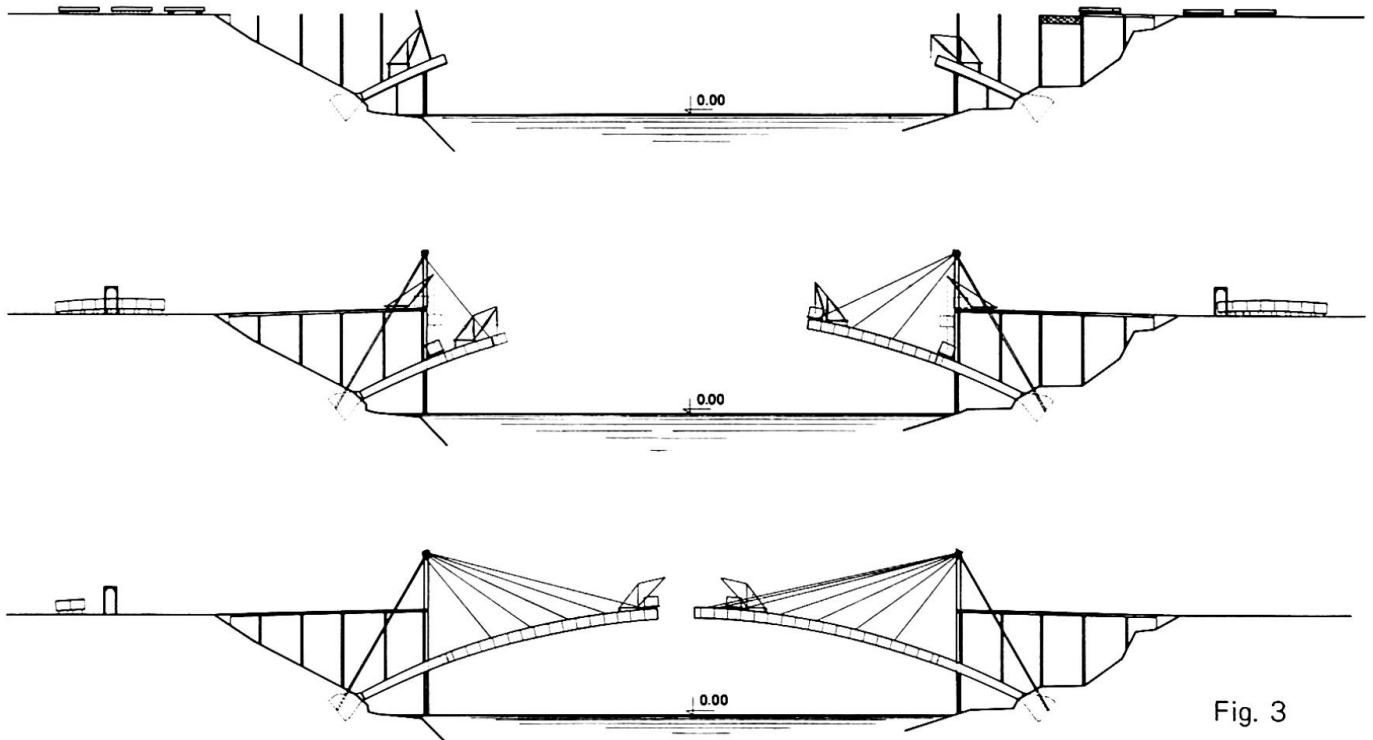


Fig. 3

RÉSUMÉ

On expose l'idée de la construction d'un pont-en-arc en béton d'une portée de 320 m. La partie moyenne (242 m) se compose d'éléments préfabriqués aux bords au niveau de la chaussée. Les éléments de cca. 80 t sont divisés par des joints longitudinaux et transversaux. Après transport sur chaussée et arc, ils sont mis en place par une grue derrick, fixés d'abord par des boulons et puis accrochés aux pylônes de béton par des suspentes. A la clef on monte d'abord les éléments médians. Au cours du montage les parties suspendues s'appuient sur des articulations provisoires en acier.

ZUSAMMENFASSUNG

Erläutert wird der Bau einer 320 m Bogenbrücke aus Beton. Der mittlere Teil von 242 m besteht aus Elementen, die am Ufer auf der Höhe der Fahrbahn vorgefertigt werden. Sie werden durch Längs- und Querschnitten getrennt. Nach der Ueberführung über die Fahrbahn und den Bogen werden sie mit einem Derrick-Kran auf ihren Platz gebracht, zuerst mit Bolzen befestigt und dann mit Spanngliedern an den Betonpylonen aufgehängt. Am Scheitel werden zuerst die mittleren Elemente montiert. Die aufgehängten Teile stützen sich während der Montage auf provisorischen Stahlgelenken.

SUMMARY

The idea of the construction of a 320 m span arch bridge in concrete is presented. The 242 m middle part is composed of elements precast on the river banks at the carriageway level. The elements (of about 80 t) are separated by longitudinal and transversal joints. Hauled on the carriageway and the arch, they are lowered to their platform by a derrick crane and fixed by bolts and attached to concrete towers by slings. Near the crown the middle part is mounted first. In assembling the suspended parts lean against provisional steel joints.