ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991
Seria: BUDOWNICTWO z. 76 Nr kol. 1130

**Stefan LUKÁČ**
Słowacka Wyższa Szkoła Techniczna
w Bratysławie

# OBSŁUGA GEODEZYJNA BUDOWY DWUPOZIOMOWEGO MOSTU IM. BOHATERÓW DUKLI NA DUNAJU W BRATYSŁAWIE

**Streszczenie.** Artykuł niniejszy dotyczy zagadnień geodezyjnych związanych z budową mostu im. Bohaterów Dukli wraz z bezpośrednio towarzyszącymi mu dojazdami do sieci ulic miejskich i autostrad. Dojazdy te składają się głównie z estakad i wielopoziomowych węzłów komunikacyjnych umożliwiających bezkolizyjne przeprowadzenie przez most zarówno transportu samochodowego i szynowego, jak i ruchu pieszego oraz mediów komunalnych i przemysłowych. Omawia się sieć realizacyjną, tyczenie konstrukcji oraz pomiary w czasie próbnych obciążeń i eksploatacji.

## 1. WPROWADZENIE

Program budowy autostrad w ČSSR przewiduje przeplatanie się na terenie miasta Bratysławy pięciu ważnych ciągów dróg międzynarodowych:

- drogi E 55 z Berlina przez Pragę i Brno (autostrada oznaczona na terenie ČSSR jako D1 i D2),
- drogi E 69 z Gdańska przez Katowice i Trencin (autostrada D61),
- drogi E 40 ze Lwowa przez Trencin (D61),
- drogi E 69 z Wiednia (autostrada oznaczona w Austrii A6),
- drogi E 65 z Budapesztu.

Sprawne przeprowadzenie ruchu z tych kierunków przez Dunaj, a także połączenie centrum miasta z nową 150-tysięczną dzielnicą "Petrzalka", położoną na prawym brzegu rzeki - wymagało budowy co najmniej dwóch dodatkowych mostów. Prócz istniejących, mostu kolejowego i charakterystycznego już dla sylwetki miasta drogowego mostu wantowego SNP, postanowiono wznieść:

- dwupoziomowy most kolejowo-drogowy w 1866,4 km biegu Dunaju, nazywany "Mostem Bohaterów Dukli" w skrócie MKA oraz
- most drogowy w 1869,1 km biegu Dunaju, w dzielnicy Lanfranconi, nazwany "Mostem Młodzieży".

Most został zbudowany w roku 1983, pełne zaś przyłączenie go do sieci komunikacyjnej nastąpiło w roku 1985.

## 2. DANE TECHNICZNE MOSTU

Główny ustrój nośny mostu stanowią 3 czteroprzęsłowe belki kratowe o długości 460 m (przęsła: 102,400 + 204,800 + 64,600 m) i wysokości 14.000 m. Konstrukcja ta spoczywa na 5 filarach, z czego tylko jeden usytuowany jest na palach w nrucie rzeki. Górne pasy belek stanowią podstawę jezdni drogowej (autostrady) i rurociągu gazowego, dolne: dwutorowej linii kolejowej (dostowanej do prędkości jazdy v = 80 km/h), chodników dla pieszych, drogi rowerowej, rurociągu wodnego ø 1000 mm oraz kabli elektrycznych i telekomunikacyjnych. W przekroju poprzecznym odległość pomiędzy belkami wynosi 6,500 m. Całość konstrukcji składa się z 36 niezależnie montowanych segmentów długości 12,800 m. Segmenty te łączone są śrubami o wysokiej wytrzymałości i średnicach ø 24,3 i 36,0 mm.
Niwelety autostrady i torów przebiegają w łuku pionowym o promieniu 35 000 m z wierzchołkiem na wspólnej linii pionowej. Przęsła usytuowane nad terenem montowane były na rusztowaniach, przęsła nawodne metodą wpornikową (rys. 1).

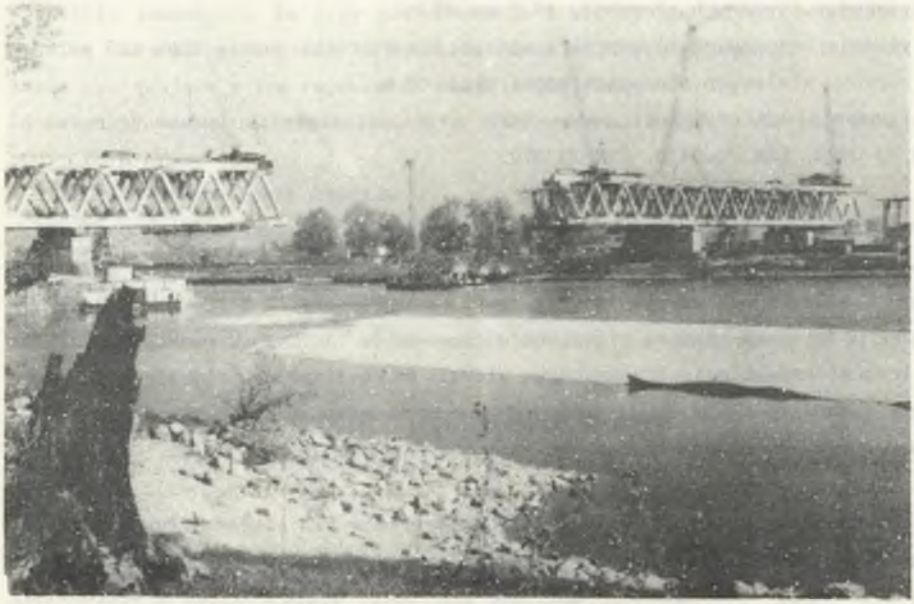
Konstrukcja nośna ułożona jest na łożyskach neoprenowych. Łożysko stałe znajduje się na filarze III pod belką środkową. Pozostałe łożyska umożliwiają przesuw podłużny 70 mm. Łożyska belek skrajnych umożliwiają przesuw we wszystkich kierunkach. Szczegółowe informacje o parametrach technicznych zarówno mostu, jak i przedmości podaje Laky [4].

## 3. ZAKRES PRAC GEODEZYJNYCH NA MKA

Unikalność konstrukcji mostu jak i powiązanie go z siecią wielopoziomowych wjazdów i zjazdów wymagało zwiększenia zakresu prac geodezyjnych. Opracowano szczegółowe programy pomiarów realizacyjnych i kontrolnych zarówno w okresach budowy i obciążeń próbnych, jak i w czasie eksploatacji.

### 3.1. Metody pomiarowe - kryteria dokładności

Projekt sieci realizacyjnej wykonano opierając się na rysunkach technicznych mostu i dojazdów uzyskanych od generalnego projektanta DOPRAWOPROJEKT Bratysława (konstrukcję stalową projektowało biuro projektów VITKOVICE oddział w Bratysławie). Sieć realizacyjną przedstawiono w układzie współrzędnych prostokątnych S JTSK i wysokości w układzie Bpv.



Rys. 1. Widok mostu w czasie montażu przęseł nawodnych

Fig. 1. View of the bridge during the set-up of waterside spans

Na szkicach dokumentacyjnych przedstawiono dane do tyczenia metodą biegunową oraz współrzędne punktów sieci i punktów tycznych. Podanie współrzędnych umożliwiało bieżącą kontrolę tyczenia, a także w razie potrzeby wprowadzanie dodatkowych elementów kątowo-liniowych, np. przy zaistnieniu w czasie tyczenia przeszkód terenowych.

Przewidziano wykorzystanie typowych metod pomiarowych, jednakże dostosowanych do specyficznych warunków terenowych i nietypowego kształtu konstrukcji. Projekt pomiarów został opracowany w Katedrze Geodeodezji na Wydziale Budownictwa SVŠT. W porozumieniu z głównym projektantem ustalono kryteria dokładnościowe, zakładając następujące wartości błędów granicznych:

- usytuowanie punktów sieci odniesienia ±20 mm,
- usytuowanie punktów sieci realizacyjnej ±50 mm,
- usytuowanie punktów głównych osi mostu ±25 mm,
- wysokości punktów głównych ±5 mm,
- odległości pomiędzy punktami głównymi mostu 2 mm $\sqrt{d}$ [m],
- wysokości punktów głównych ±3 mm,
- długości elementów tyczonych ±1 mm $\sqrt{d}$ [m],

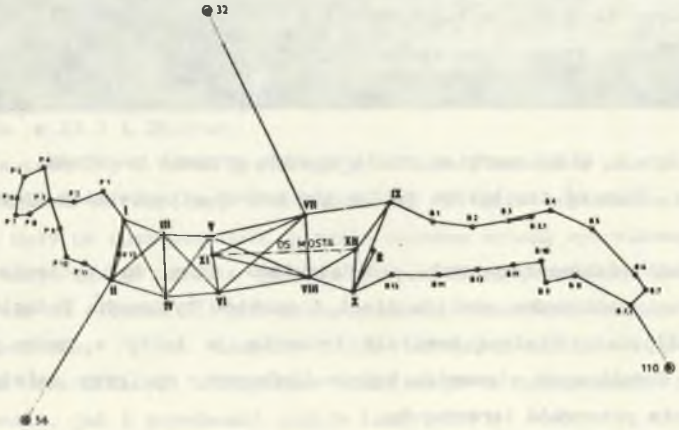
- wysokości tyczonych elementów ±0.5 mm $\sqrt{d}$ [m],
- tyczenie betonowych elementów konstrukcji w kierunku poprzecznym ±15 mm,
- tyczenie stalowych elementów konstrukcji ±8 mm.

Dla pozostałych czynności pomiarowych stosowano kryteria podane w normach ČSN 73 0422, ČSN 73 0420. ČSN 73 0105.

### 3.2. Sieć realizacyjna

Ze względu na wymagania dokładnościowe oraz sposób tyczenia w poziomie sieci realizacyjnej wydzielono:

- sieć podstawową złożoną z łańcuchów czworoboków (na rys. 2 punkty oznaczone liczbami rzymskimi), przeznaczoną głównie do realizacji mostu,
- dwa zamknięte ciągi poligonowe usytuowane na końcach łańcucha przeznaczone do wytyczania pozostałych obiektów komunikacyjnych.




Rys. 2. Szkic sieci realizacyjnej mostu i obiektów towarzyszących

Fig. 2. Observation network for the bridge and its auxiliary objects

W sieci tej punkty XI i XII usytuowane są na końcach osi mostu. Na niektórych punktach sieci poziomej umieszczono repery tworząc wysokościową sieć realizacyjną.

*Stabilizacja*

Punkty podstawowej sieci realizacyjnej stabilizowano słupami betonowymi o średnicy 530 mm. Pod terenem minimalne długości słupów dostosowane były do poziomu wód grtuntowych i z reguły przekraczały 4 m głębokości. Nad terenem wysokości słupów wahały się od 1,35 - 3,60 m. Punkty sieci poligonowej stabilizowano słupkami ø 132 mm osadzonymi w terenie na głębokości 1,5 m.

Należy zaznaczyć, że przy projektowaniu i obliczaniu sieci uwzględniono lokalne warunki geologiczne i hydrologiczne, zmiany poziomu wód Dunaju, a także występującą w tym rejonie aktywność sejsmiczną.

Szczegółowe warunki stabilizacji, a także sygnalizacji i ochrony punktów omówiono w pracy [1].

***Pomiar i opracowanie wyników***

Pomiary kątowo-liniowe wykonano instrumentami Zeissa: Theo 010A, EOT 2000 i EOS z automatycznym centrowaniem przyrządów, jak i tarcz celowych. Sieć wyrównano w układzie lokalnym metodą najmniejszych kwadratów. Kolejnym etapem obliczeń było wyznaczenie współrzędnych w układzie państwowym S JTSK za pomocą transformacji Helmerta.

Średni błąd usytuowania punktów sieci podstawowej w układzie lokalnym wynosił ±3 ÷ ±6 mm, a w układzie państwowym ±26 mm. Całość obliczeń wykonano na maszynach cyfrowych ODRA 1013 i EC 1010.

Pomiary wysokościowe wykonano niwelatorami Zeissa: Ni 002, Ni 004, Ni 007, ze średnim błędem ± 0.3 mm/km. Przeniesienie wysokości przez Dunaj wykonano niezależnie z dwóch brzegów osiem razy pomiędzy punktami VI - XII - VII ze średnim błędem ± 2.2 mm. Przy obliczaniu przewyższeń ze wyglądu na różne długości celowych wprowadzano poprawki na krzywiznę Ziemi, refrakcję i ewentualne szczątkowe błędy instrumentalne.

### 3.3. Tyczenie osi mostu

Punkty osiowe tyczono metodą wcięcia w przód z co najmniej trzech stanowisk. W spodziewanym miejscu usytuowania punktu umieszczano "stolik", na którym zaznaczano przecięcia się odkładanych kierunków. Za ostateczne położenie punktu osiowego przyjmowano środek figury błędów, która powstała na stoliku. Wysokości punktów charakteryzujących osie mostu określano metodą niwelacji precyzyjnej lub technicznej. Tyczone punkty zaznaczano na zabetonowanych płytkach stalowych. Dokładność tyczenia sytuacyjnego wynosi ± 15 mm, a wysokościowego ± 3 mm.

Odległości pomiędzy końcowymi punktami osi mostu XI - XII mierzono dalmierzem elektronicznym. Różnica pomiędzy tym pomiarem a wartością projektowaną wynosiła 6,0 mm przy odchyłce dopuszczalnej ± 40 mm określonej w normie ČSN 73 0422.

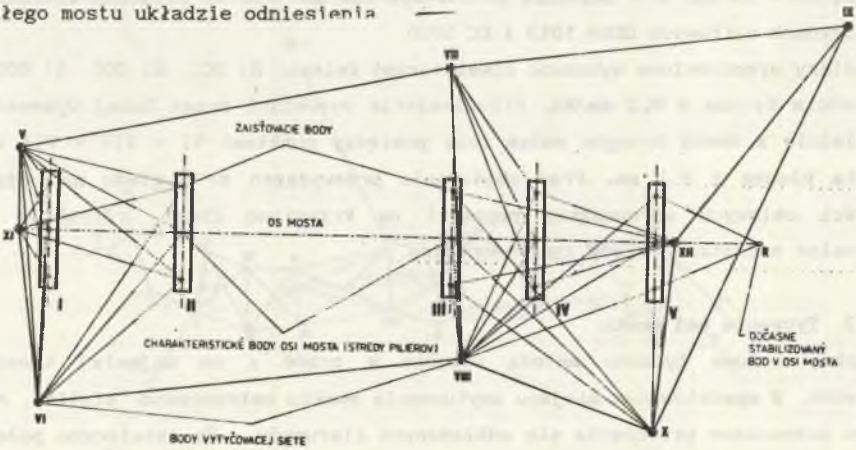
### 3.4. Tyczenie podpór mostu

Podobnie jak w przypadku tyczenia punktów XI i XII tyczono środki filárów i punkty wyznaczające ich osie poprzeczne metodą wcięcia w przód co najmniej z 3 stanowisk (rys. 3).

Punkty stabilizowano trzpieniami stalowymi. Filary wznoszono w kolejności I - III - IV - II - V. Maksymalna różnica pomiędzy rzeczywistymi rozstawami filarów, wyznaczona w czasie pomiarów kontrolnych, a rozstawami teoretycznymi wynosiła 20 mm.

### 3.5. Tyczenie konstrukcji stalowej

Pierwotna koncepcja tyczenia przewidywała wyznaczanie z punktów osnowy geodezyjnej tylko dźwigara środkowego. Niestety w praktyce zaszła konieczność tyczenie i kontrolowania wszystkich oddzielnie montowanych elementów, górnych i dolnych pasów każdego z 3 dźwigarów. Głównym powodem tego była mała tolerancja pasowania otworów na śruby łączące (± 1 mm). Bezpośrednim przedmiotem tyczenia były punkty montażu warsztatowego, tzw. punkty systemowe. Każdy z takich punktów miał określone współrzędne w jednolitym dla całego mostu układzie odniesienia.



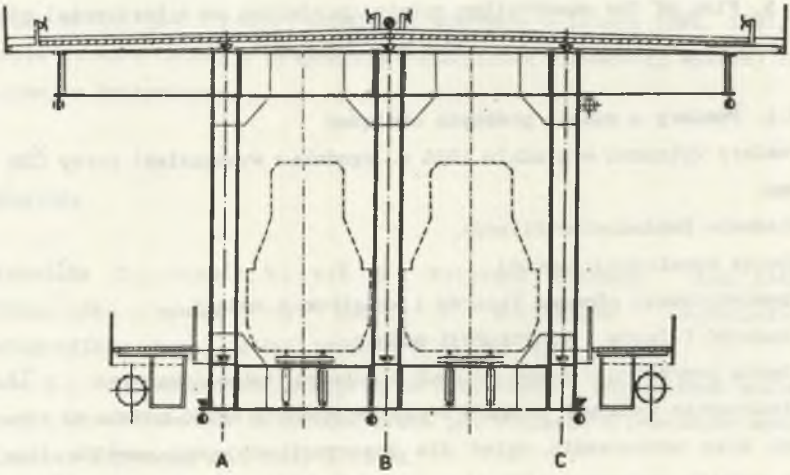

Rys. 3. Szkic tyczenia punktów osiowych dźwigarów na filarach

Fig. 3. Plan of setting out the axial points of the main beams on pillars

Według wstępnych założeń konstrukcja miała być tyczona ze stanowisk usytuowanych na głowicach filarów. W rzeczywistości ze wyględu na przedłużającą się budowę niektórych filarów i potrzebę zachowania harmonogramu montażu konstrukcji, tyczenie przprowadzono częściowo ze specjalnie wniesionych stanowisk pomiarowych usytuowanych w sąsiedztwie filarów. Budowa dodatkowych stanowisk była też uwarunkowana specyfiką tyczenia przęsła nawodnego II - III. Tyczenie punktów na górnych i dolnych pasach było wykonywane z dwóch przeciwległych stron teodolitami Theo 010A w dwóch położeniach lunety. Szczególnie newralgicznym miejscem było połączenie wspornikowo montowanej konstrukcji w środku przęsła (długości wsporników po 102,4 m).

Wysokości elementów konstrukcji stalowej realizowano, w nawiązaniu do reperów osdzonych na głowicach filarów, niwelatorem Ni 007. Usytuowanie tyczonych punktów przedstawiono na rys. 4.

W miarę wzrostu długości montowanych wsporników uwidaczniał się coraz bardziej wpływ temperatury. Z tego względu prace pomiarowe wykonywano we wczesnych godzinach porannych lub późnym popołudniem. Współrzędne punktów "systemowych" zlokalizowanych w przekrojach czołowych wsporników wyznaczano na podstawie pomiarów wykonanych dalmierzem elektronicznym, teodolitem, niwelatorem i taśmą stalową. Przebieg pomiaru szczegółowo omówiono w publikacji [2]. Po ułożeniu belek głównych w łożyskach przeprowadzono ich pomiary kontrolne, a następnie przystąpiono do tyczenia elementów nawierzchni drogowej i kolejowej (spadki podłużne i poprzeczne).

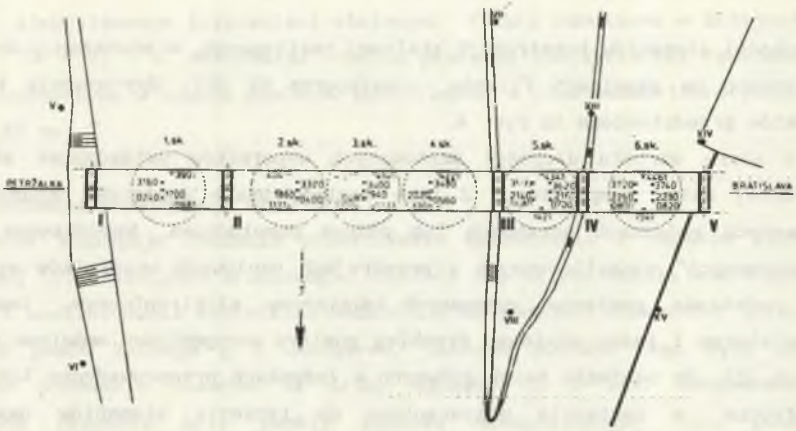



Rys. 4. Rozmieszczenie tyczonych punktów w przekroju poprzecznym

▼ Punkty systemowe ▼Tyczone (kontrolowane) punkty wys.

⊙ Punkty niwelacji prec. ◑ Punkty wyznaczane trygonometrycznie

Fig. 4. The set-out points in a cross section




Rys. 5. Rozmieszczenie badanych punktów w czasie obciążeń próbnych w rzucie na płaszczyznę poziomą

Fig. 5. Plan of the observation points (projection on a horizontal plane) for the test loading

### 3.6. Pomiary w czasie próbnych obciążeń

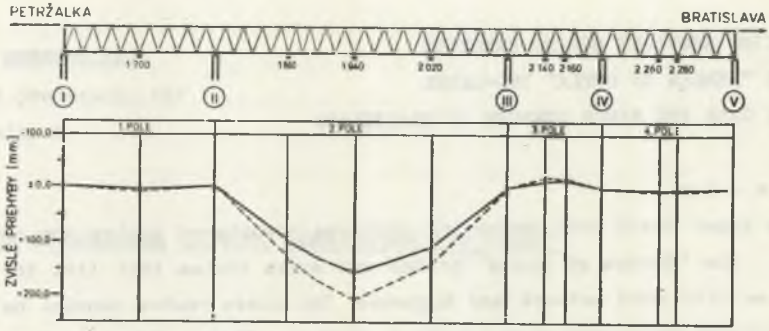
Pomiary wykonano w grudniu 1984 r. zgodnie z wymaganiami normy ČSN 73 6209 Badano:

- osiadanie fundamentów filarów,
- ugięcia konstrukcji nośnej,
- przemieszczenia pionowe filarów i konstrukcji nośnej,
- pionowość filarów i konstrukcji nośnej,
- ugięcia poprzecznic pasów dolnych i górnych (tylko lokalnie).

Rozmieszczenie badanych punktów w czasie pomiarów ugięć podano na rys. 5 i 6. Średni błąd wyznaczenia ugięć dla poszczególnych grup punktów (na rys. 5 grupy punktów oznaczono kółkami ze skrótem "sk") wynosił:

| | | | |
|---|---|---|---|
| grupa 1 | ± 2,0 mm | grupa 4 | ± 2,0 mm |
| grupa 2 | ± 3,0 mm | grupa 5 | ± 1,5 mm |
| grupa 3 | ± 3,5 mm | grupa 6 | ± 1,5 mm |

Na rysunku 6 przedstawiono wykresy ugięć rzeczywistych dla maksymalnego najniekorzystniejszego obciążenia. Stanowiło je obciążenie I i II przęsła 96 samochodami 25,42 t i 2 pociągami złożonymi z 21 wagonów + 1 dźwig + 1 lokomotywa. Szczegółowo wyniki omówiono w publikacji [3]. Unikalność konstrukcji zadecydowała o przeprowdzaniu okresowych pomiarów kontrolnych. Wykorzystano do tego celu punkty stabilizowane na konstrukcji w czasie tyczenia i odbioru mostu.




Rys. 6. Wykresy maksymalnego ugięcia mostu od obciążenia próbnego

Fig. 6. Diagrams of the maximum deflection of the bridge under the test load

Okazało się jednak, że wiele z tych punktów uległo zniszczeniu. Obsługę geodezyjną mostu, jak i pomiary kontrolne wykonane w latach 1984, 1985, 1986 prowadziła Katedra Geodezji na Wydziale Budownictwa Słowackiej Wyższej Szkoły Technicznej w Bratysławie.

## LITERATURA

[1] Michalčák O., Stanék V., Piš D.: Priprava vystavby dial'nično - železničného mosta cez Dunaj v Bratislave. Geodeticky a kartograficky obzor, 24(66), 1978, c.7, s. 161-165.

[2] Lukáč S.: Komplex geodetických prác na dial'nično - železničnom moste cez Dunaj v Bratislave In: Geodetické prace pri vystavbe a prevádzke mostnych objektov. Liptovsky Ján 1985, s.73-84.

[3] Michalčák O., Stanék V., Piš D., Lukáč S.:Geodetické problémy pri zat'azovačej skuške dial'ničného mosta cez Dunaj v Bratislave. Geodeticky a kartograficky obzor, 31(73), 1985, c.4, s.103-108.

[4] Laky A.: Wystavba dial'nično - železničného mosta cez Dunaj v Bratislave. Inzenyrské stavby, 30,1982, č.12, 505-517.

Prof.dr hab.inż. Józef Głomb

Wpłynęło do Redakcji 31.03.1988 r.

**SURVEYING SERVICES DURING ERECTION OF THE "HEROES OF DUKLA" TWO-LEVEL BRIDGE OVER THE RIVER DUNAUBE IN BRATISLAVA**

**Summary**

The paper deals with surveying problems encountered during the Construction of the "Heroes of Dukla" bridge and access routes that link the bridge with the city road network and highways. The access routes consist mainly of flyovers and multilevel communication junctions. They enables passing through the bridge without collision vehicular; rail and pedestrian traffic as well as defferent pipelines.

Surveying network of setting out and measurements during test loads and exploatation are presented.

**GEODASISCHE BEDIENUNG EINER BRUCKE MIT ZWEI EBENEN IN BRUSSEL**

**Zusammenfassung**

Dieser Beitrag beschreibt die geodäsische Probleme, die mit dem Bau der Brücke, die den Namen Helden von Dukla trägt, wie auch unmittelbare, begleitende Zufahrten in das Netz der Stadtstraßen und der Autobahn, verbunden sind, Diese Zufahrten bestehen hauptsächlich aus Estakaden und aus auf mehreren Ebenen liegende Verkehrsknoten, die eine Kollisionsfreie Durchfahrt von Auto- und Schienentransporte, wie auch den Fußgängerverkehr bzw. den Verkehr von kommunaler und industieller Medium, ermöglichen.

Es wird das Realisierungsnetz, das trassieren der Konstruktion, wie auch die Abmessungen zur Zeit der Probebelastungen und Ausnützung, beschrieben.