

KONCEPCE MOSTŮ STAVBY DÁLNICE D4708 CONCEPTUAL DESIGN OF THE BRIDGES OF THE FREEWAY SECTION D4708

JIŘÍ STRÁSKÝ, PETR ČIHÁK,
VILÉM JÜTTNER

Rozestavěný úsek dálnice D4708 v oblasti Ostravy několikrát kříží řeku Odru, Ostravici a Opavu a důležité dopravní uzly. Stavba dálnice vyžaduje dlouhé dálniční viadukty a mosty s rozpětím až 102 m; křižovatky vyžadují geometricky složité konstrukce s rampami. Protože oblast Ostravy je ovlivněna účinky od poddolování, konstrukce musí odolávat účinkům vyvolaným rozdílnými svislými a vodorovnými deformacemi a pootočeními podpěr. Článek diskutuje vývoj konstrukčních typů a systém uložení a popisuje betonové a ocelobetonové konstrukce. Jak betonové, tak i ocelobetonové mosty jsou navrženy jako staticky neurčité konstrukce kompaktních robustních průřezů s velkou plastickou rezervou.

A Freeway Section D4708, which is now under construction at the vicinity of the city of Ostrava, crosses several times the rivers Odra, Ostravice and Opava and important traffic junctions. The freeway requires a construction of long viaducts and bridges with spans up to 102 m; the traffic junctions require geometrically complex structures with ramps. Since the Ostrava area is influenced by the effects of the mining subsidence, the structures have to resist the effects caused by different vertical and horizontal deflections and rotations of supports. The paper discusses the development of structural types and supporting systems and describes both concrete and composite bridges were designed as statically indeterminate ductile structure of compact robust sections.

VLIV PODOLOVÁNÍ

Mosty v oblasti Ostravy musí bezpečně přenést nejen všechna normová zatížení, ale i účinky od poddolování charakterizované svislými poklesy, vodorovnými posuny a pootočeními základové půdy (obr.1) [1]. Protože most má k vzhledem poklesové kotlině obecnou polohu (obr.2), vznikají vodorovné posuny i pootočení základů nejen v podélném, ale i v pří-

Obr. 1 Účinky od poddolování (P.K. – poklesová kotlina)

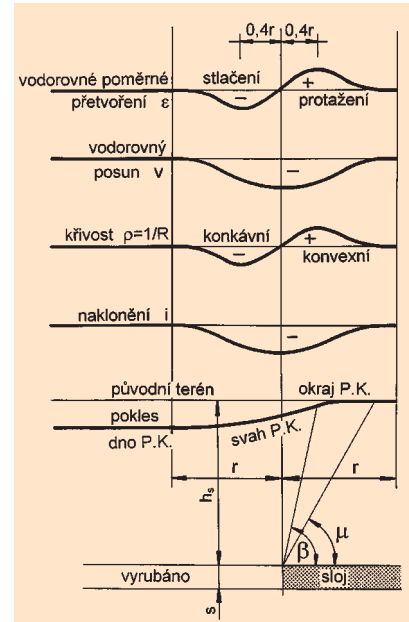
Fig. 1 Effects of the mining subsidence (P.K. – subsidence trough)

ném směru mostu. Návrh konstrukcí je ovlivněn dvěma protichůdnými hledisky; na jedné straně musí být konstrukce dostatečně tuhé, aby zajistily klidný bezporuchový provoz, na druhé straně musí být dostatečně poddajné, aby účinky od poddolování vyvolaly minimální přídavné namáhání. Cílem návrhu je tedy vytvořit poddajnou konstrukci zajišťující uživatelsky pohodlný bezporuchový provoz. Současně je nutno konstrukce navrhout tak, aby vyžadovaly minimální údržbu a aby umožňovaly případnou snadnou rektifikaci [2].

Dosud byly v území ovlivněném důlními vlivy navrhovány konstrukce staticky určité. Betonové mosty byly tvořeny buď staticky určitými třibodově podepřenými komorovými nosníky, nebo čtyřbodově podepřenými dvoutrámovými konstrukcemi. Ocelové konstrukce větších rozpětí byly tvořeny úzkými komorovými nosníky vzájemně spojenými ortotropní mostovkou a nízkými příčnickami. Vložené pole bylo zavěšeno na ocelových táhlech a bylo spojeno s podporující konzolou vodorovným čepem.

Výhodou třibodově podepřených konstrukcí je, že jakékoliv účinky od poddolování nevyvolají přídavná namáhání konstrukce. Všechny deformace jsou však přeneseny do dilatačních závěrů namáhaných vzájemným zkroucením a pootočením. Dvoutrámové konstrukce přenášejí vzájemně zkroucení podpěr svoji poddajností, příčné vodorovné posuny vzájemným pootočením dilatačních závěrů spojujících přilehlá pole. Provozně nevhodné dilatační závěry jsou tak namáhány značnými silami a vyžadují náročnou údržbu. Soustavy konstrukcí tvořených prostými poli vyžadují dvojnásobný počet ložisek a podle názoru autorů článku jsou po estetické stránce nepřijatelné.

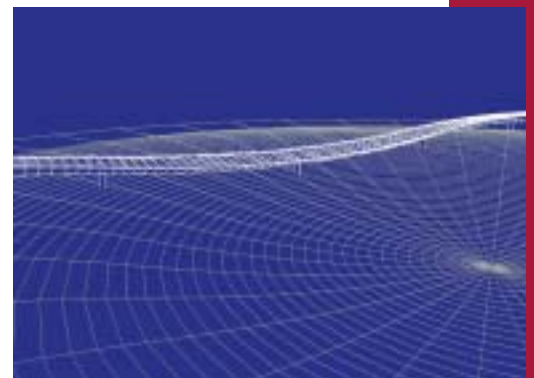
Snahou bylo navrhout spojitě mostní konstrukce zajišťující bezporuchový provoz a umožňující návrh úsporných a estetických konstrukcí. Navíc, spojitě, mnoho-

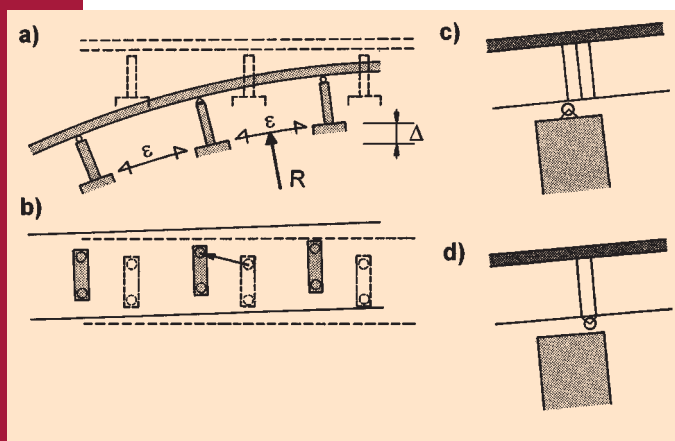


násobně staticky neurčité konstrukce mají vyšší bezpečnost, která není vyčerpána selháním jediného prvku. Ačkoliv jednotlivé mostní konstrukce mají rozdílné architektonické a konstrukční řešení, vychází jejich řešení z jednotné filosofie.

Podle povahy přemostění byly navrženy robustní betonové nebo ocelobetonové konstrukce jednoduchých průřezů čistých tvarů. Konstrukční prvky mají kompaktní průřezy vyznačující se velkou plastickou rezervou. Předpjaté prvky byly navrženy jako částečně předpjaté průřezy s relativně nízkou hladinou předpětí, u kterých byla kontrolována šířka trhlin a únavové namáhání předpjaté a betonářské výtuže. Jed-

Obr. 2 Poklesová kotlina
Fig. 2 Subsidence trough





Obr. 3 Deformace mostní konstrukce:
a) podélný řez, b) půdorys,
c) klasické uložení, d) uložení
na obráceném ložisku

Fig. 3 Deformation of the bridge structure:
a) elevation, b) plan, classical
bearings, d) inverted bearing

noduché průřezy umožňují řádné probetonování i návrh dostatečného krytí betonářské a předpínací výtzuže. Tlačená část prvků je vyztužena betonářskou výtzuží řádně ovinutou (confined) příčnou výtzuží zajišťující plastickou přetvárnost prvků.

Při návrhu konstrukcí bylo potřeba zohlednit následující účinky od poddolování:

- svislé deformace podpěr
- naklonění podpěr
- vodorovné posuny podpěr.

Svislé deformace podpěr

Svislé deformace podpěr jsou dány polohou mostu v poklesové kotlině. Je samozřejmé, že střed poklesové kotliny se může v čase pohybovat a most tak může postupně sledovat jak konkávní, tak i konvexní křivost. V našem případě bylo nutno navrhnout konstrukce pro poklesy podpěr odpovídající poloměru křivosti velikosti od 190 do 350 km (obr. 3a). Při uvážení zmenšené tuhosti konstrukcí vlivem vzniku trhlin jsou účinky poměrně jednoduše dimenzovatelné.

Naklonění podpěr

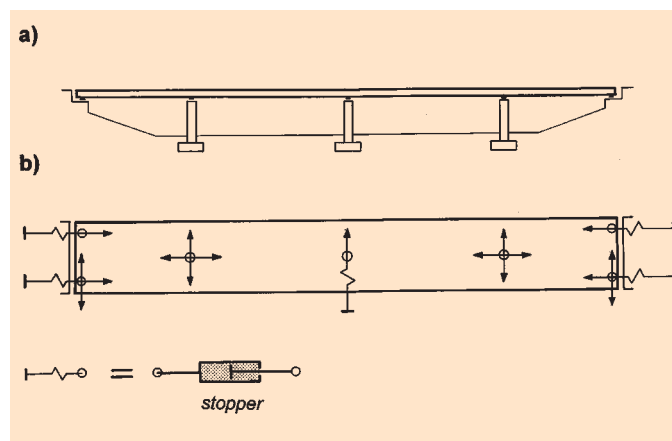
Protože s ohledem na případnou výškovou rektifikaci jsou všechny mosty uloženy na ložiscích, podélné naklonění podpěr nevyvolává přídatná namáhání nosné konstrukce. Ovšem, vlivem naklonění podpěr svislá reakce způsobuje jejich ohybové namáhání.

Naopak, příčné naklonění může vyvolat zkroucení konstrukce, které může vyvolat podstatné zvětšení normálových i smykových napětí. Je vhodné si uvědomit, že poměrně zkroucení (podíl příčné naklonění podpěr k jejich vzdálenosti) se s délkou mostu zmenšuje. Aby statické účinky od vzájemného zkroucení podpěr byly v rozumných mezích, volí se torzně poddajný konstrukční systém. Ten může být tvořen:

- nosnou konstrukcí otevřeného deformovatelného průřezu, který sleduje de-

Obr. 4 Deformace mostní konstrukce –
příčné natočení základů

Fig. 4 Deformation of the bridge structure
– transverse rotation of the footings



Obr. 5 Uložení konstrukce liniového
charakteru

Fig. 5 Bearings's arrangement of the
straight structure

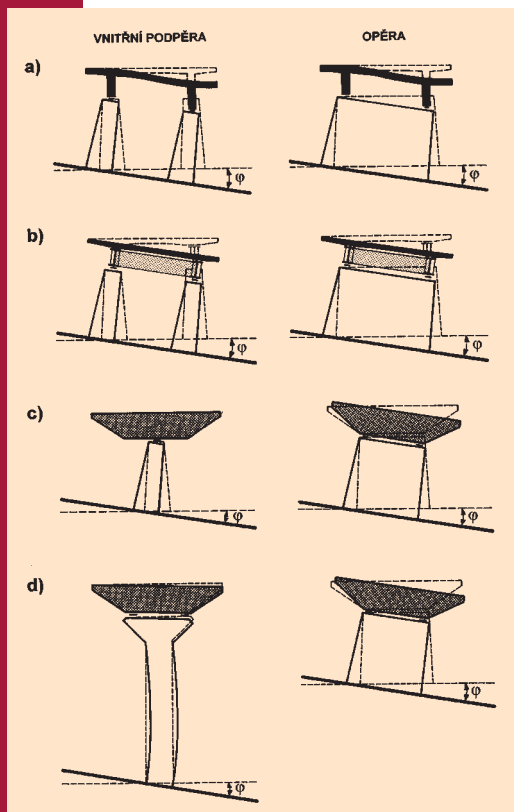
formaci podpěr svoji příčnou deformací (obr. 4a). Tuto konstrukci lze snadno vytvořit ze dvou nebo více trámů vzájemně spojených mostovkovou deskou, u ocelových konstrukcí například úzkými komorovými nosníky spojenými mostovkovou deskou,

- nosnou konstrukcí otevřeného, torzně měkkého průřezu, u kterého rozdílné zkroucení podpěr vyvolá malé přídatné napětí (obr. 4b). Tuto konstrukci běžně tvoří ocelové I nosníky vzájemně spojené mostovkovou deskou a podporovými příčníky,
- konstrukcí podepřenou na vnitřních podpěrách bodově a vetknutou v kroucení v krajních podpěrách (obr. 4c). Tento systém využívá skutečnosti, že poměrné zkroucení vyvolané poddolováním se s délkou přemostění zmenšuje,
- příčně měkkou podpěrou (obr. 4d). Poddajnost vysoké podpěry pak umožňuje využít i torzně tuhé komorové nosníky.

Je zřejmé, že jednotlivé systémy mohou být vzájemně kombinovány tak, aby vzniklo optimální uspořádání řešící problém daného přemostění. Při návrhu mostů popisovaného úseku dálnice byly použity všechny popsané přístupy a to jak u betonových, tak i u ocelobetonových mostů.

Vodorovné posuny podpěr

Jen ve speciálním případě, kdy přímý most prochází středem poklesové kotliny, sledují vodorovné posuny podélnou osu mostu. Obecně situovaný most musí umožnit nejen podélné, ale příčné posu-



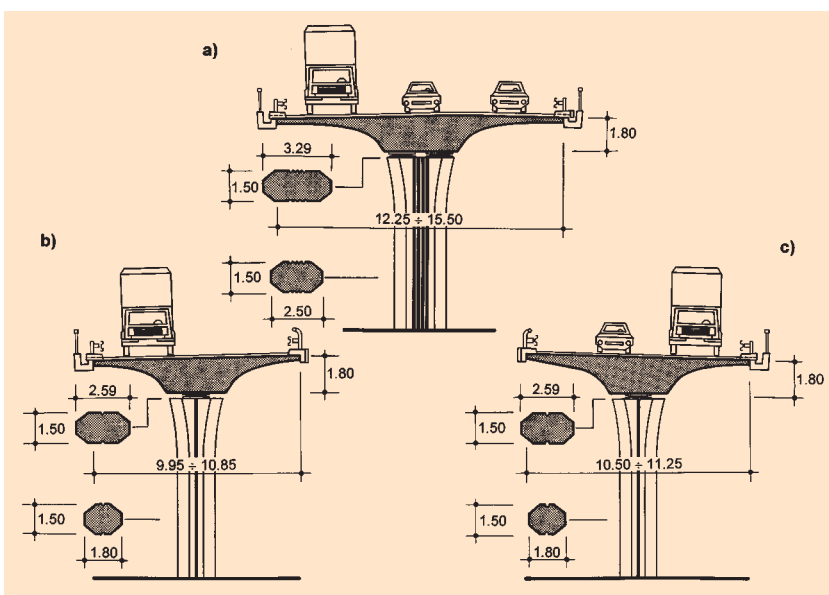
ny (obr. 3b). Uložení konstrukce musí umožnit poměrně velké vodorovné pohyby. Proto při klasickém uložení musíme zajistit, aby reakce z ložiska byla vždy bezpečně přenesena do nosníku. Tomu musíme uzpůsobit tvar příčníků, popřípadě podporových výztuh (obr. 3c). Chceme-li, aby nosná konstrukce byla namáhána vždy ve stejném místě, musíme ložisko otočit (obr. 3d). Ovšem, potom je spodní stavba namáhána excentricky.

Jak bylo uvedeno, most v obecné poloze musí umožnit podélné a příčné vodorovné posuny. U mostů převážně liniového charakteru bylo řešení nalezeno v kombinaci uložení konstrukce na jednosměrných a všesměrných ložiscích doplněných tak zvanými stoppery (shock transition units). Tato zařízení, často navrhovaná u mostů stavěných v seismických oblastech, umožňují pohyb konstrukce od dlouhodobých změn a zároveň zamezují pohyb od náhlých změn jako jsou boční rázy a brzdící síly a dynamická složka větru.

Z obr. 5 je zřejmé, že střední příčné posuvné ložisko zajišťuje spolu s podélnými stoppery situovanými na krajních opěrách stabilitu konstrukce v podélné směru, podélně posuvná krajní ložiska spolu s příčným stopperem střední podpěry zajišťují

Obr. 8 Křižovatka Rudná – příčné řezy mostem 204: a) most na rondelu, b) odbočující rampa, c) pokračování rondelu

Fig. 8 Junction Rudna – cross sections of the bridge 204: a) bridge on the roundel, b) turning ramp, roundel continuation



Obr. 6 Uložení půdorysně zakřivené konstrukce s odbočujícími rampami – most 223

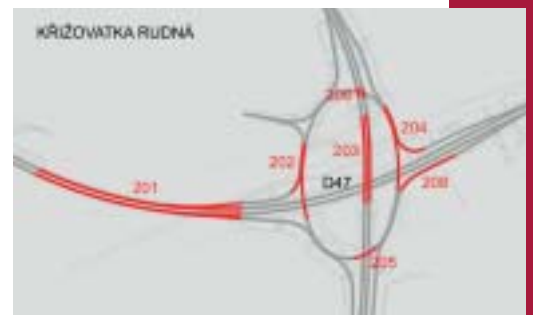
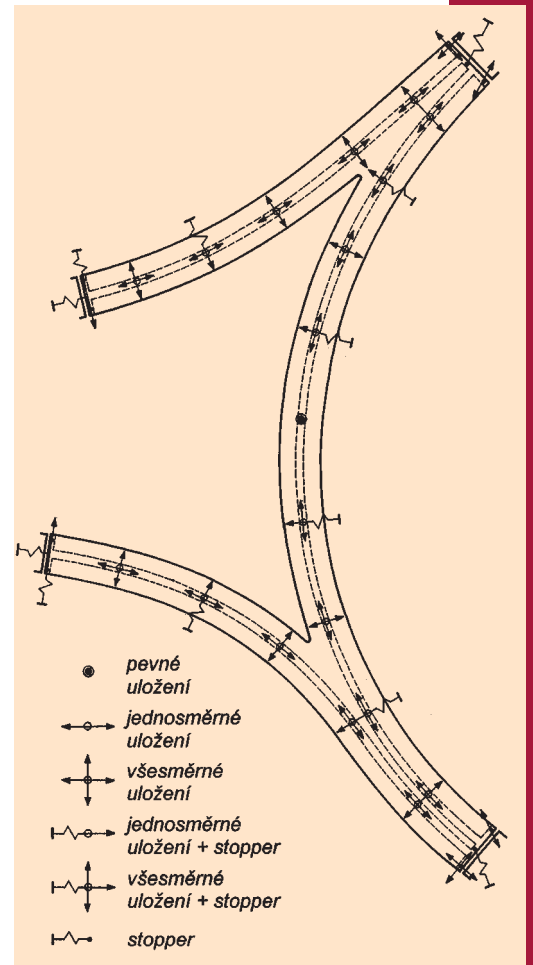
Fig. 6 Bearings's arrangement of the curved structure with turning ramps – Bridge 223

stabilitu konstrukce v příčném směru mostu. Stoppery tak umožňují přenést vodorovné statické účinky na více podpěr a současně zajišťují vícenásobnou bezpečnost (redundancy) konstrukce. Podpěry pak přenáší přibližně stejné statické účinky a proto mohou mít stejné rozměry.

Je samozřejmé, že příčné stoppery jsou umísťovány do konstrukci jen tehdy, dosahují-li příčné posuny od poddolování značných hodnot. Je potřeba uvážit, že stoppery nezachycují statickou složku větru. Při návrhu je nutno porovnat možné namáhání konstrukce od větru a od případného příčného posunu podpěr od poddolování a následně rozhodnout, jaké uložení je optimální. Proto u některých konstrukcí bylo na vnitřních podpěrách zvoleno klasické uložení na příčné neposuvných ložiscích.

Poněkud složitější je situace u půdorysně zakřivených mostů a u mostů s odbočujícími a připojujícími se rampami půdorysného tvaru písmene Y a nebo Δ . Návrh uložení vycházel u každého mostu z podrobného posouzení účinku objemových změn (vliv teploty, dotvarování a smršťování betonu), odstředivých a brzdících sil,

Obr. 7 Křižovatka Rudná – situace Fig. 7 Junction Rudna – plan



statické a dynamické složky větru a vlivu poddolování. Tyto účinky mají mnohdy protichůdný charakter, a proto návrh uložení u každého mostu vychází z místních podmínek přemostění. Jako příklad řešení je uvedeno uspořádání ložisek a stopperů mostu D223 (obr. 6). Toto uspořádání vzniklo na základě podrobné analýzy řady možných řešení tak, aby namáhání konstrukce bylo minimální.

BETONOVÉ MOSTY

Mosty s rozpětím do 40 m jsou tvořeny deskovými, jednorámovými a nebo vícetámovými konstrukcemi vzájemně spojenými mostovkovou deskou. Velikostí i slo-

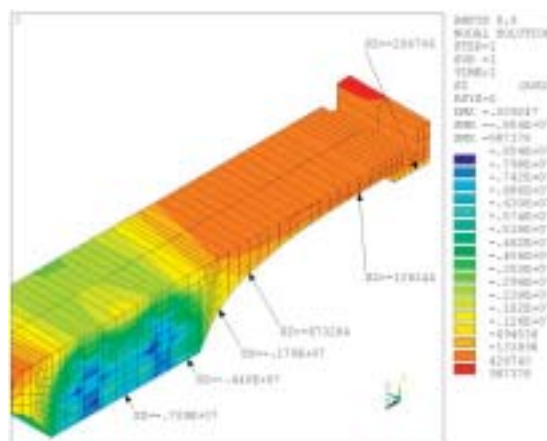


Obr. 9 Křižovatka Rudná – vizualizace ramp mostu 204

Fig. 9 Junction Rudna – visual representation of the Bridge 204

Obr. 10 Křižovatka Rudná – napětí od předpětí ve spáře mezi postupně betonovanými úseky

Fig. 10 Junction Rudna – stresses due to prestress at a joint between progressively cast segments



žitostí řešení se vyznačují především mosty křižovatek Rudná a Místecká.

Mosty křižovatky Rudná

Křižovatka Rudná (obr. 7), která navazuje na most Rudná (objekt 201), vyžaduje stavbu pěti nových mostů (objekty 202, 203, 204, 205 a 208) délek od 84 do 252 m. Jejich šířky jsou od 9,95 do 15,5 m. Mosty 202 a 204 mají odbočující rampy. Všechny mosty jsou půdorysně zakřivené, minimální poloměr ramp je 50 m. Rozpětí polí je od 17,8 do 37,63 m.

Všechny mosty mají jednotné architektonické a konstrukční řešení. Jsou tvořeny páteřním nosníkem s velmi vyloženými konzolami. U dvou mostů, u kterých se z hlavních mostů oddělují odbočovací

rampy, má páteřní nosník i vnější konzoly proměnnou šířku navrženou tak, aby při minimální spotřebě betonu bylo rozšíření plynulé a všechny pohledové hrany tvořily hladké plynulé křivky (obr. 8). Tvar konstrukce byl prostorově vizualizován a výsledné řešení vzniklo z porovnání řady variant (obr. 9).

Mosty jsou podepřeny štíhlými stojkami, které plynule navazují na křivku vnějšího obrysu konzol. Nosník je na stojkách podepřen buď dvojicí nebo jediným ložiskem. Účinky od poddolování jsou redukovány příčnou poddajností stojek a bodovým podepřením ramp. Uložení konstrukcí vychází z koncepce popsané v obr. 6.

Mosty jsou stavěny postupně po polích, polovina přepínací výztuže je spojována ve spáře situované ve vzdálenosti 6 až 8 m od podpěr. Mosty byly ověřeny podrobnými výpočty konstrukcí modelovaných prostorovými pruty uvažujícími skutečné okrajové podmínky. Příčná výztuž

a výztuž spár mezi postupně betonovanými úseky byla určena na základě analýzy výseku konstrukce o třech polích modelovaného prostorovou konstrukcí sestavenou z prostorových prvků (obr. 10).

Mosty křižovatky Místecká

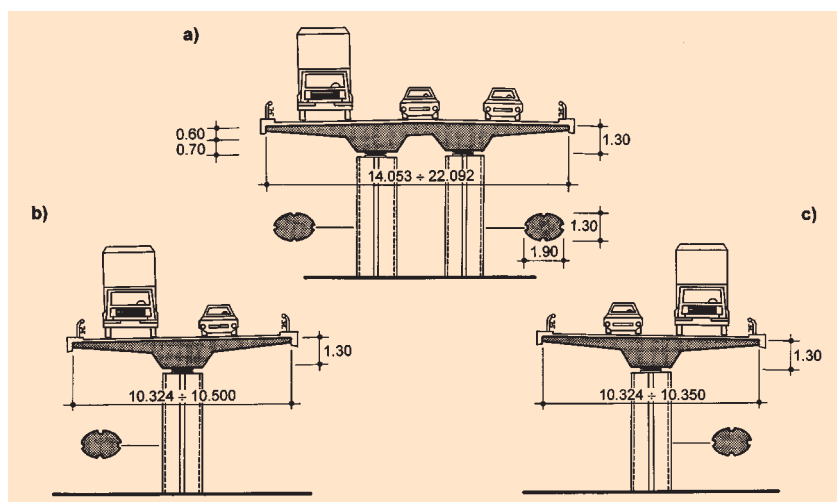
Křižovatka Místecká tvoří kruhový objezd (obr. 11) vyžaduje stavbu čtyř nových mostů (objekty 223, 225, 228, 229) délek od 115,27 do 239,67 m a šířek od 9,52 do 22,092 m. Hlavní most (objekt 224), který kříží v ose celou křižovatku, bude stavěn později. Mosty 223 a 225 mají odbočující rampy. Most 225 má půdorysný tvar písmene Y, most 223 má tvar blízký se řeckému písmenu Δ. Mostní konstrukce jsou tvořeny dvěma nosníky vzájemně spojenými mostovkovou deskou proměnné šířky (obr. 12). V místě, kde se mosty rozdvíhají, mění se konstrukce na jednotrámovou. Rozpětí mostů je od 16,002 do 27,544 m. Minimální poloměr půdorysného zakřivení je 100 m.

Také u těchto konstrukcí bylo výsledné prostorové vizualizace (obr.13 a 14) a konstrukční řešení na základě podrobné prostorové statické analýzy konstrukcí.



Obr. 11 Křižovatka Místecká – situace

Fig. 11 Junction Mistecka – plan



OCELOBETONOVÉ MOSTY

Konstrukce rozpětí větších než 40 m jsou navrženy jako ocelobetonové [2], [3]. Pro rozpětí do 70 m jako trémové, pro větší rozpětí jako komorové. Konstrukce jsou navrženy tak, aby umožnily postupnou be-

Obr. 12 Křižovatka Místecká – příčné řezy mostem : a) most na rondelu, b) odbočující rampa, c) pokračování rondelu

Fig. 12 Junction Mistecka – visual representation of the Bridge 223

tonáž spřažené ocelobetonové desky do bednění zavěšeného a podporovaného betonářskými vozíky pojížděcími po horní přírubě ocelové konstrukce (obr. 15).

Trémové mosty

Trémové konstrukce běžných šířek jsou tvořeny dvěma robustními ocelovými I nosníky spřaženými s betonovou mostovkou. V místě, kde se mosty rozšiřují, jsou mezi krajní nosníky vkládány další I nosníky. Tyto nosníky začínají v místě, kde je v konstrukci od zatížení stálého nulový ohybový moment. Ocelové nosníky jsou vyztuženy vnitřními výztuhami situovanými na jejich vnitřní stěně a podporovými výztuhami přenášejícími zatížení z ložisek do stěn. Nad podporami jsou situovány podporové příčnické tužující konstrukce.

Příčně předepnutá spřažená deska má významnou statickou funkci (obr. 16). Deska nejen spolupůsobí s podélnými nosníky v podélném směru, ale také zajišťuje roznos zatížení a spolupůsobení nosníků. Podrobnými výpočty bylo prokázáno, že klasické spojení nosníků nízkými příčnickými nepřispívá významně ke spolupůsobení nosníků a nezvyšuje ani stabilitu

Obr. 13 Křižovatka Místecká – vizualizace mostu 225

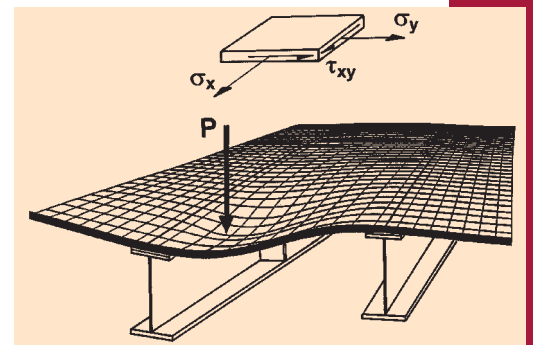
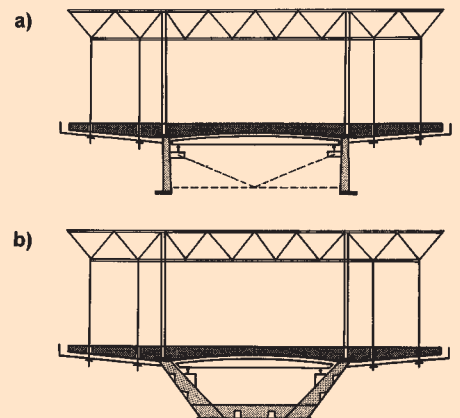
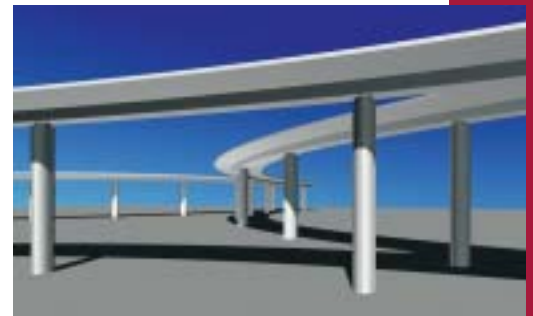
Fig. 13 Junction Mistecka – visual representation of the Bridge 225

Obr. 14 Křižovatka Místecká – vizualizace mostu 223

Fig. 14 Junction Mistecka – visual representation of the Bridge 223

půdorysně zakřivené ocelové konstrukce. Proto toto spojení bylo eliminováno a stabilita nosníků je zajištěna komorovými výztuhami [4].

Vlivem smršťování a dotvarování betonu vzniká v čase nad podporami spojitých nosníků ve spřažené desce tah velikosti až 4 MPa. Proto někteří projektanti navrhují výškovou rektifikaci nosníků prováděnou během betonáže desky s cílem vytvořit tlakové napětí v betonové desce nad podpěrou. Podrobnou časově závislou analýzou trémových konstrukcí bylo prokázáno, že výšková rektifikace je účinná jen v době zahájení provozu, vlivem dotvarování a smršťování betonu však časem vymizí [5], [6]. Při analýze byla konstrukce modelována rovnoběžnými pruty situovanými v těžištích ocelového nosníku, betonové desky a betonářské výztuže (obr. 17), [7].



Obr. 15 Příčné řezy a betonáž spřažené betonové desky: a) trémový nosník, b) komorový nosník

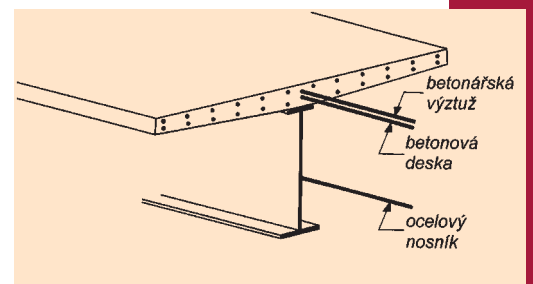
Fig. 15 Cross sections and casting of a composite concrete slab: a) plate girder, b) box girder

Obr. 16 Statická funkce trémové konstrukce

Fig. 16 Static function of the plate girder structure

Obr. 17 Modelování trémové konstrukce

Fig. 17 Modelling of the plate girder structure



Literatura:

- [1] ČSN 730030 – Navrhování objektů na poddolovaném území. Praha 1991
- [2] Stráský J., Jüttner V.: Composite Bridges Built in the Area Influenced by a Mining Subsidence, Proc. of the fib Symposium, Avignon, France 2004
- [3] První dálniční most přes Odru. Presentace nového technického řešení, Sb. přednášek, ODS – Dopravní stavby Ostrava, a. s.
- [4] Svoboda P.: Prostorové chování ocelobetonových konstrukcí. Pojednání k tématu disertační práce, VUT-FAST Brno 2003
- [5] Svadbík P.: Problémy betonové mostovky spřažených ocelobetonových mostů, Disertační práce, VUT-FAST Brno 2002
- [6] Novotný P.: Vybrané problémy spřažených konstrukcí, Disertační práce, VUT-FAST Brno 2004.
- [7] Strásky J., Navrátil J., Suský S.: Applications of Time-Dependent Analysis in the Design of Hybrid Bridge Structures, PCI JOURNAL, July – August 2001

Dokončení článku v příštím čísle časopisu

Prof. Ing. Jiří Stráský, CSc., P. E.

VUT- stavební fakulta

Veveří 95, 662 37 Brno

tel.: 541 147 845, fax: 549 250 218

e-mail: j.strasky@usa.net

Ing. Petr Čihák

e-mail: p.cihak@shpbrno.cz

Ing. Vilém Jüttner

e-mail: v.juttner@shpbrno.cz

všichni: STRÁSKÝ, HUSTÝ A PARTNERI, s. r. o.

Bohunická 50, P.B.641, 639 41 Brno

tel.: 547 212 085, fax: 547 212 574