



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague
Faculty of Civil Engineering

Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

**Moderní technologie výstavby ocelových
mostů**

**Modern technologies for the erection of steel
bridges**

Summary

Today's economic situation in the bridge building industry is creating extremely high pressure on the efficiency of the bridge building technologies. That is why the optimal erection solution is very important. The bridge erection costs have usually high impact on total efficiency of the construction.

It means that the erection techniques have to be carefully selected, designed and verified. Not only for above mentioned reasons, but also to reduce the erection complications and related risks. It is well known, that erection phase is the most dangerous part of the bridge life.

Proper erection solution has also significant impact for the whole society, such as reduction of the traffic interruption losses, reduction of the pollution and noise.

The paper describes the possible erection techniques and shows their practical application together with effective combination of different techniques on important practical examples.

Souhrn

Současné ekonomické podmínky v oblasti stavebnictví znamenají mimořádně vysoký tlak na celkovou efektivitu výstavby mostů. O to větší význam při provádění ocelových mostů má správná volba optimální technologie montáže. Velmi často právě náklady na montáž předurčují celkový ekonomický výsledek stavby.

Proto je nezbytné věnovat těmto technologiím náležitou pozornost, a to nejen z výše uvedených důvodů, ale i s ohledem na optimalizaci nákladů na montážní přípravky a souvisejícím rizikům, které, jak historie ukazuje, jsou v této fázi nejvyšší z celé životnosti mostu.

Volba správné technologie má i významný celospolečenský dopad, jak v minimalizaci nákladů na objízdné trasy, tak související znečištění životního prostředí hlukem a exhalacemi.

Práce popisuje dostupné moderní technologie montáže a ukazuje jejich praktické využití a efektivní kombinaci na významných a netradičních příkladech z praxe.

Klíčová slova:

Ocel, mosty, montáž, výsun, zaplavení

Key words:

Steel, bridges, erection, launching, floating

Obsah

1. ÚVOD	5
2. OBECNĚ	5
2.1. METODY VÝSTAVBY OCELOVÝCH MOSTŮ	5
2.1.1. <i>Bloková montáž</i>	6
2.1.2. <i>Letmá montáž</i>	6
2.1.3. <i>Podélný výsun</i>	7
2.1.4. <i>Příčný výsun</i>	7
2.1.5. <i>Speciální metody</i>	8
2.2. VOLBA TECHNOLOGIE MONTÁŽE.....	9
2.3. EKONOMICKÝ VÝZNAM VOLBY TECHNOLOGIE MONTÁŽE	9
2.4. ROZDĚLENÍ S OHLEDEM NA CHARAKTER MOSTU.....	10
3. APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ VÝSTAVBY	10
3.1. ZAPLAVENÍ MOSTU APOLLO V BRATISLAVĚ.....	10
3.1.1. <i>Fáze 1 – Přesun mostu z PÍŽMO bárky na soulodí</i>	12
3.1.2. <i>Fáze 2 – Zaplavení mostu přes Dunaj</i>	12
3.1.3. <i>Fáze 3 – Přesun mostu ze soulodí na definitivní pilíř 10</i>	13
3.1.4. <i>Statický výpočet</i>	14
3.1.5. <i>Návrh montáže a skutečnost</i>	14
3.2. VÝSUN MOSTU PŘES RADBUZU	15
3.3. VÝSTAVBA MOSTU PŘES OHŘÍ NA R6 NOVÉ SEDLO – SOKOLOV.....	18
3.4. MONTÁŽ MOSTU BERLÍN – PANKOW	20
4. ZÁVĚR	22
5. LITERATURA	22
AUTOR A CV	23

1. Úvod

Výstavba každého mostu je již od počátku provázena myšlenkami nejen na to, jak by měla vypadat konstrukce po dokončení, ale současně jak by mohla probíhat její výstavba. Konfigurace terénu, nutnost zajištění silničního či železničního provozu, požadavky na ochranu životního prostředí a vodních toků, omezení dané okolní zástavbou a infrastrukturou – to vše omezuje a předurčuje technické řešení mostní konstrukce i způsob její výstavby.

Výstavba mostu se skládá z celé řady stavebních procesů, přičemž v případě ocelových mostů je jedním z nejvýznamnějších montáž ocelové nosné konstrukce. Technologie montáže se v průběhu let dramaticky vyvíjely, jak s ohledem na vývoj nových postupů a technologií (hydraulická zařízení, vývoj nových materiálů s nízkým součinitelem tření, možnosti elektronické kontroly montáže, vývoj nových ocelí a technologií svařování), tak i s ohledem na nárůst nákladů na lidskou práci. Zatímco dříve montáž historických nýtovaných konstrukcí probíhala z velké části přímo na staveništi z menších snadno přepravitelných montážních dílů, dnes kladené požadavky na kvalitu výroby a povrchové ochrany přesouvají tento proces z velké části do mostáren s cílem provést maximum prací zde, v dobře kontrolovatelných podmínkách. Snahou je zvětšovat rozměry montážních dílů a optimalizovat proces přepravy a následně i proces montáže na staveništi. Tím lze docílit větší rychlosti výstavby, redukovat dopady na okolní prostředí, na omezení dopravy a současně redukovat i rizika při montáži.

Tento vývoj se odráží ve volbě samotné technologie montáže ocelové nosné konstrukce. Její volba je podmíněna jednak možnostmi montážní organizace, jednak výše uvedenými omezeními. Cílem je aplikace takové technologie, která umožní mostní konstrukci smontovat bezpečně, ekonomicky efektivně a rychle. Tyto požadavky vedou k optimalizaci stávajících technologií ale i vývoji a hledání nových. V této práci jsou některé z moderních a zajímavých technologií ukázány na praktických příkladech.

2. Obecně

2.1. Metody výstavby ocelových mostů

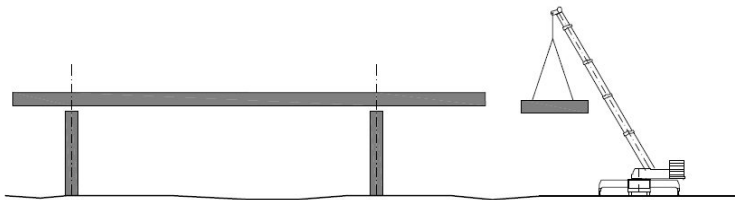
Paleta způsobů montáže ocelových mostů je velmi pestrá, nejčastěji se ale rozeznávají následující metody [1]:

- Blokovaná montáž
- Letmá montáž

- Podélný výsun
- Příčný výsun
- Speciální metody (zaplavení, otočení, sklopení aj.)

2.1.1. Bloková montáž

Bloková montáž je charakterizována přepravou dílců na staveniště a následným osazením do definitivní polohy, a to většinou za pomoci kolových, pásových nebo plovoucích jeřábů. Možnosti této metody jsou zejména definovány kapacitou dostupných jeřábů a možnostmi jejich umístění. Jedná se o technologii, ideální pro mosty malých rozpětí v případě přístupu techniky k mostnímu objektu a je většinou metodou „první volby“, ekonomicky nejvýhodnější, viz obr. 1. V případě menších mostů je možné montovat konstrukci vcelku.

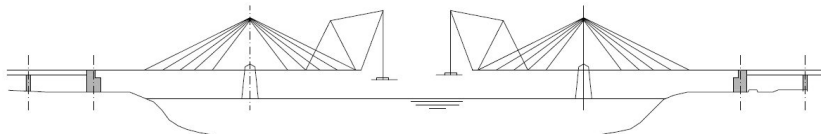


Obr. 1 Princip blokové montáže

Tato technologie může mít celou řadu podskupin, v závislosti na použití zdvihací techniky, velikosti dílců, způsobu jejich ztužení a ukládání.

2.1.2. Letmá montáž

Technologie letmé montáže spočívá v postupné montáži dílců zařízením, které letmým způsobem postupuje vpřed, viz obr. 2. Je velmi podobná principu oblíbené letmé montáže, používané pro segmentové předpjaté mosty. V případě ocelových mostů je používána zejména pro mosty zavěšené a visuté, jak je patrné z obrázku 2.

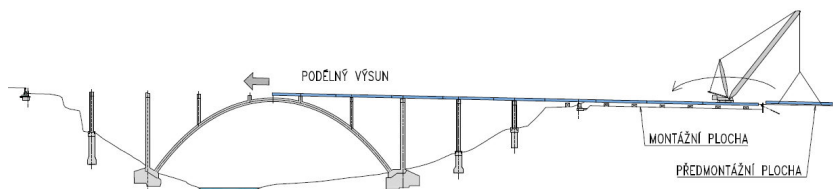


Obr. 2 Princip letmé montáže

Pro jiné konstrukce její výhody již nejsou příliš významné, mnohem efektivnějším způsobem je technologie podélného výsunu.

2.1.3. Podélný výsun

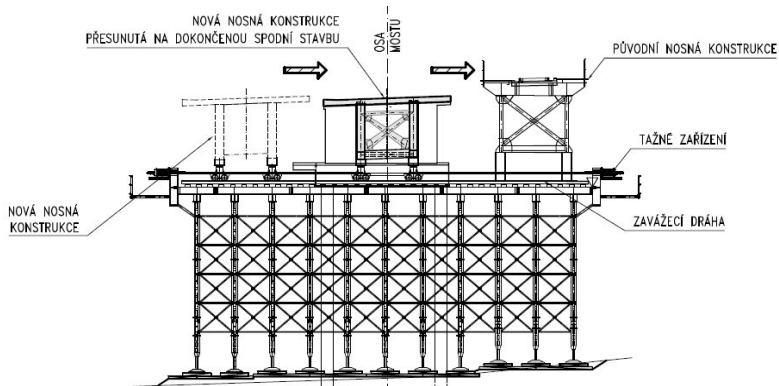
Technologie podélného výsunu spočívá v montáži mostní konstrukce za opěrou, kde je soustředěno veškeré technologické vybavení. Po dokončení části mostu je pak tato částečně vysunuta do mostního otvoru na výsuvných ložiscích (kluzná ložiska – PTFE, MSM, případně výsuvné kolové a válečkové podvozky), viz obr. 3. Po zajištění stability a polohy konstrukce je pak připojena další část konstrukce a opět vysunuta. Takto lze montovat i velmi dlouhé mostní konstrukce. Nezbytností je osazení výsuvných ložisek na všechny podpěry, popřípadě i na pomocné konstrukce, dostatečná únosnost hlavního nosníku na namáhání na první podpoře, tlačné či tažné zařízení, vodící prvky, dostatečná únosnost spodní stavby na zatížení od tření a prostorové ztužení konstrukce. Výhodou je zejména koncentrace svařovací a montážní techniky na jednom místě za opěrou na úrovni terénu s použitím pouze menších jeřábů, ekonomická efektivita, relativní jednoduchost a minimální dopad na území pod mostem. Nevýhodou je obtížná aplikace na konstrukce složitě půdorysně či výškově zakřivené či s proměnnou výškou, potřeba specifického vybavení a zatížení spodní stavby od výsunu (zejména významné u vysokých pilířů) [2]. S ohledem na návrh nosné konstrukce je zejména dominantní kombinace ohybu, smyku a bodového zatížení v oblasti nad prvním výsuvným ložiskem. Toto namáhání může významně ovlivnit dimenze nosné konstrukce.



Obr. 3 Princip podélného výsunu

2.1.4. Příčný výsun

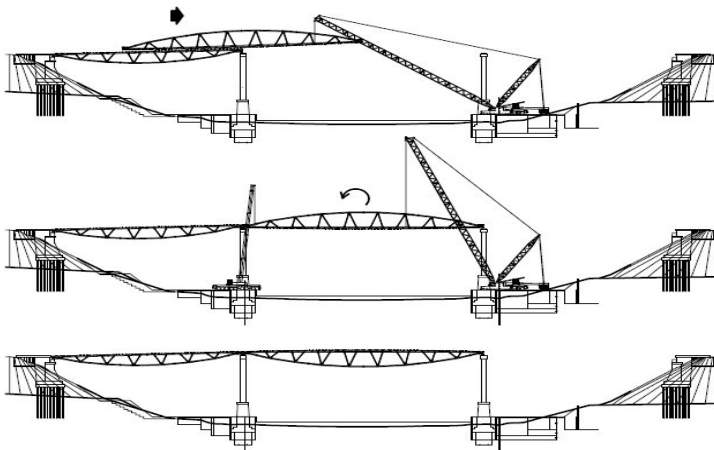
Příčný výsun spočívá v montáži mostní konstrukce vedle stávajícího přemostění a následného zasunutí do otvoru, většinou na připravené zavazecí dráze. Tato technologie je výhodná zejména pro frekventované komunikace nebo železniční mosty, neboť umožňuje minimalizovat dobu výluky. Charakterem je pak podobná výsunu podélnému. Výluka je pak využita pro zejména pro výstavbu spodní stavby. Příklad příčného výsunu je ukázán na obr. 4.



Obr. 4 Princip podélného výsunu

2.1.5. Speciální metody

Kromě předchozích metod existuje celá řada dalších technologií, které jsou poměrně specifické pro danou mostní konstrukci. Jedná se například o využití technologie zaplavování pomocí lodí či pontonů, výhodné pro mosty na velkých řekách, jezerech či na moři, nebo speciální hydraulické podvozky. Konstrukce lze rovněž otáčet podle podélné osy, jak je vidět na obr. 5.



Obr. 5 Příklad rotace mostní konstrukce přes řeku Nemunas v Litvě [3]

V tomto případě byla v projektu navržena montáž mostní konstrukce s proměnnou výškou dolního pasu podélným výsunem v obrácené poloze do definitivní polohy, čímž došlo k využití přímosti horního pasu. Následně

došlo k otočení podle podélné osy přímo na mostních pilířích. Využit lze i výhodně rotaci podle příčné a svislé osy.

2.2. Volba technologie montáže

Volba optimální metody montáže závisí na celé řadě značně proměnných faktorů. Nejčastěji se uvádí zejména následující faktory [7]:

- parametry staveniště a jeho omezení
- poloha mostárny, kde je prováděna výroba a protikorozní ochrana
- přístupové komunikace na staveništi
- dostupnost potřebného vybavení pro montáž v dané lokalitě
- subdodavatelé speciálních prací (hydraulické zdvihy, jeřáby atd.)
- požadavky ochrany životního prostředí
- dostupnost pracovní síly včetně specializovaných profesí
- rizika při provádění.

Volba výsledné metody pak musí vzniknout ve velmi úzké spolupráci projektanta mostu, montážní organizace a projektanta montáže.

2.3. Ekonomický význam volby technologie montáže

Náklady na dodání ocelové mostní konstrukce se často v praxi vztahují na jeden kilogram vyrobené konstrukce. Tyto náklady lze pak rozdělit na jednotlivé dílčí činnosti, tak jak je uvedeno na základě dlouhodobých statistik v tab. 1 [6] pro dvě mezní varianty – běžnou a náročnou konstrukci.

<i>Položka</i>	<i>Běžná konstrukce</i>		<i>Výrobně a montážně náročná konstrukce</i>	
	<i>Náklady [%]</i>	<i>Náklady na 1kg oceli [Kč]</i>	<i>Náklady [%]</i>	<i>Náklady na 1kg oceli [Kč]</i>
Materiál	34	18,0	17	25,0
Výroba	38	20,0	40	60,0
Protikorozní ochrana	11	6,0	7	10,0
Montáž	15	8,0	33	50,0
Doprava	1	0,5	2	3,0
Dokumentace	1	0,5	2	3,0
Celkem	100	53,0	100	151,0

Tab. 1 Náklady na zhotovení 1kg mostní konstrukce

Běžnou konstrukcí se rozumí ocelový trámový most, např. spřažený ocelobetonový most s plnostěnnými nosníky tvaru I, montovaný standardní jeřábovou technikou z úrovně terénu. Náročnou konstrukcí je například příhradová konstrukce s montáží ve stísněných poměrech při kombinaci více technologií, vhodným představitelem je železniční most přes Radbuzu (viz obr. 12 a 14). Je patrné, že náklady na montáž mohou tvořit i třetinu celkových nákladů na dodání ocelové mostní konstrukce. Je třeba zdůraznit, že tato položka je na rozdíl od ostatních významným způsobem ovlivnitelná.

2.4. Rozdělení s ohledem na charakter mostu

Aplikaci technologie montáže lze rovněž charakterizovat pomocí charakteru a rozpětí mostní konstrukce.

Pro běžné mosty o rozpětí několika desítek metrů je nejčastěji používána bloková technologie montáže pomocí jeřábů. Jedná se o technologicky běžnou činnost.

Analýza a optimalizace technologie montáže je v našich podmínkách nejzajímavější v oblasti mostů středních rozpětí, tj. desítek až stovek metrů. Zde se jedná o konstrukce, kde již bloková montáž mobilními jeřáby nebývá často využitelná a je třeba hledat technologie zajišťující časově a nákladově efektivní výstavbu mostu, případně jejich kombinaci.

Co se týče mimořádných mostů mimořádně velkých rozpětí, tak se jedná zejména o konstrukce významné v celosvětovém měřítku, jako jsou mosty visuté, zavěšené nebo obloukové o rozpětí stovek metrů či přesahující kilometrové rozpět. Technologie zde používané jsou zcela specifické dané mostní konstrukci, vyvíjené na míru dané situaci. Tyto konstrukce jsou v našich podmínkách ojedinělé.

3. Aplikace moderních technologií výstavby

V této kapitole jsou uvedeny některé moderní způsoby montáže významných ocelových mostů, použitých v našich podmínkách, na kterých se autor práce podílel. Tyto příklady jsou zajímavé buď efektivní kombinací více technologií, nebo využitím změněné koncepce montáže, která umožnila výrazné zjednodušení či zefektivnění výstavby. Tyto příklady dokumentují rozmanitost montážních postupů a širokou paletu technických možností, které lze využít.

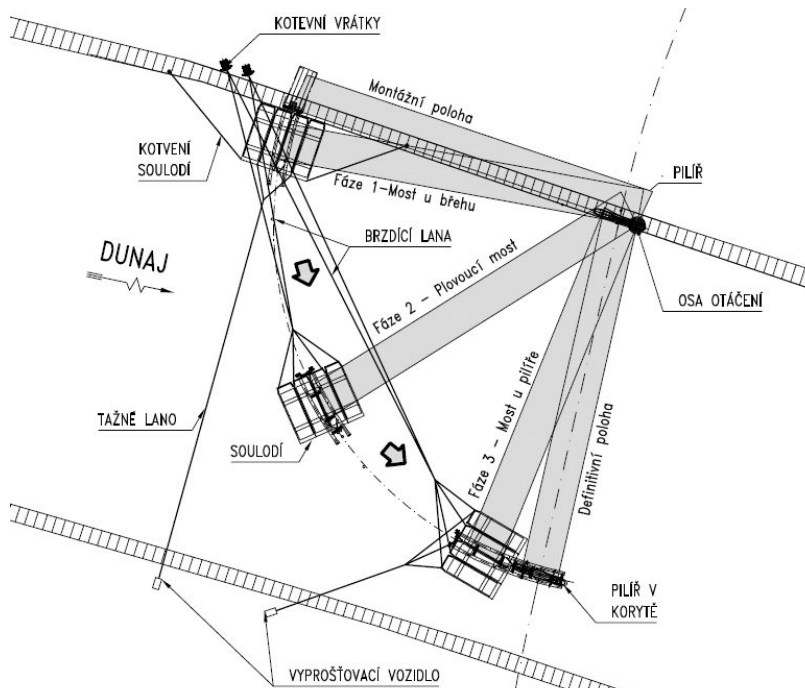
3.1. Zaplavení mostu Apollo v Bratislavě

Most Apollo je pátý most přes Dunaj v Bratislavě a převádí silniční dopravu mezi levobřežní částí města Nivy a pravobřežní Petržalkou. Ocelová mostní konstrukce je spojitá o šesti polích celkové délky 517,5 m s dominantním

hlavním polem charakteru síťového oblouku přes koryto řeky o rozpětí 231 m.

V hlavním poli je oblouková konstrukce s dolní mostovkou. Most má dva oblouky umístěné v šikmých rovinách, na kterých jsou pomocí síťových závěsů zavěšeny trámy mostovky. Mostovka je ocelová ortotropní. Hlavní mostní pole bylo montováno na předmontážní plošině na levém břehu a do definitivní polohy nad řekou bylo přemístěno otočením okolo levobřežního ložiska. Druhý konec mostní konstrukce byl podepřen na soulodí. Aby celý manévr otáčení mohl být bezpečně realizovatelný, bylo nutno vyprojektovat, vyrobit a postavit řadu pomocných konstrukcí [4].

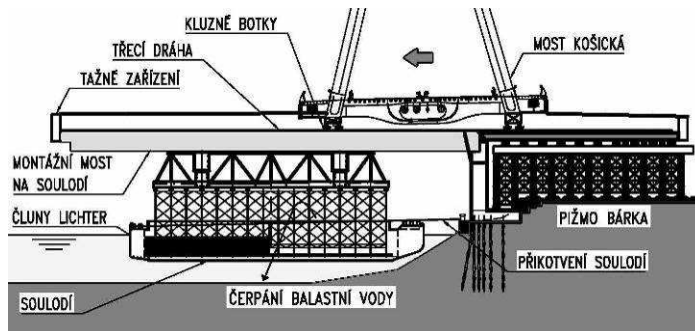
Základním předpokladem pro úspěšné zaplavení mostní ocelové konstrukce bylo zajištění konstantní výšky hladiny Dunaje a příznivé klimatické podmínky (rychlost větru do 10 m/s). První podmínku zajišťovalo vodní dílo Gabčíkovo, které bylo schopno po plánovanou dobu zaplavování předepsanou výšku hladiny udržet. Po dobu zaplavování byl na několik dnů přerušen lodní provoz. Postup montáže se skládal celkem ze tří fází, v nichž se postupně měnilo chování konstrukce i její statický systém (obr. 6).



Obr. 6 Schéma zaplavení mostu Apollo

3.1.1. Fáze 1 – Přesun mostu z PIŽMO bárky na soulodí

Práce začala zdvihem mostní konstrukce nad montážní bárku na břehu o 1 m a připlavením celého soulodí k provizornímu pilíři. Všechny vertikální pohyby soulodí byly prováděny přičerpáváním a odčerpáváním balastní vody v soulodí. Po spojení nosníků montážního mostu s provizorním pilířem byla zkompletována zasouvací dráha. Ta byla tvořena z kluzných desek, lubrikovaných silikonovou vazelinou. Na konzolách montážního mostu byly instalovány hydraulické lanové zvedáky a lana, která sloužila pro posun mostu. Při přesunu mostní konstrukce na soulodí se postupně zvětšovalo jeho zatížení, které bylo vyvažováno postupným vyčerpáváním balastní vody z jednotlivých komor podle předem vypočteného režimu (obr. 7).



Obr. 7 Přesun mostu z PIŽMO bárky na soulodí

3.1.2. Fáze 2 – Zaplavení mostu přes Dunaj

Bezprostředně před samotným zaplavováním došlo k uvolnění montážního mostu na soulodí od provizorního pilíře pomocí postupného odčerpání balastní vody. Tím se celé soulodí uvolnilo, viz obr. 8, a po dokončení přípravných prací mohlo dojít k zaplavování. První impuls pro pohyb soulodí na vodě zajistilo tažné lano vyprošťovacího vozidla z pravého břehu řeky, v další fázi se předpokládalo, že tuto funkci přebere proud řeky. Vzhledem k nedostatečné hnací síle proudu vody bylo využito tažné lano vyprošťovacího vozidla a v závěru i dva remorkéry, každý o tlačné síle 10 t. Pohyb soulodí byl jištěn brzdnými lany dvou mohutných vrátků ukotvených na levém břehu.

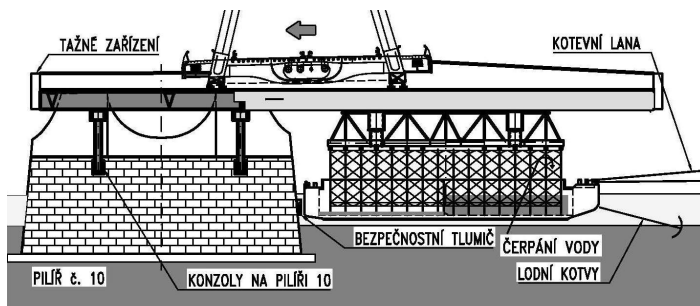


Obr. 8 Most po přesunu na soulodí, vpravo definitivní pilíř

Při přistávacím manévru soulodí k definitivnímu pilíři v řece bylo zapojeno do činnosti ještě napínací lano z pravého břehu. Konečný kontakt soulodí s pilířem byl řízen pomocí dvojice remorkérů, které vzhledem k nízké rychlosti proudu byly schopny zajistit stabilní polohu pro spojení soulodí s ložiskem v čele definitivního pilíře.

3.1.3. Fáze 3 – Přesun mostu ze soulodí na definitivní pilíř 10

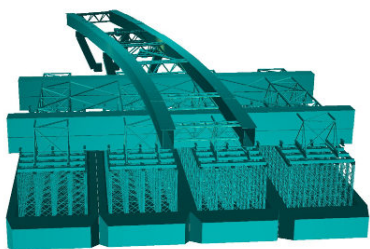
Po spojení montážních mostů na soulodí a na definitivním pilíři byla zkompletována zasouvací dráha a instalována lanová táhla, kotvená do konzol připevněných na koncích nosníků montážního mostu. Následně se odstranila fixace mostní konstrukce k pomocným konstrukcím na soulodí a začal přesun mostu na pilíř do finální polohy, viz obr. 9. Vyvažování soulodí vzhledem k jeho plynule se zmenšujícímu zatížení bylo prováděno stejným způsobem jako u břehu. Manévr skončil podepřením mostní nosné konstrukce na lisy, umístěné pod koncovým příčnickem. Závěrem byl most spuštěn na definitivní ložiska.



Obr. 9 Přesun mostu ze soulodí na pilíř č. 10

3.1.4. Statický výpočet

Návrh všech pomocných konstrukcí byl poměrně komplikovaný, neboť vzhledem k výjimečnosti celé operace nebylo možno čerpat ze zkušeností s podobným způsobem montáže. Ve výpočtu bylo uvažováno s celou řadou vlivů a zatížení, jako jsou například vítr, tlak vodního proudu, nerovnoměrné rozdělení zatížení, třecí síly a teplotní změny. Zároveň byl prověřován vliv geometrické nelinearity na chování soulodí a provedena i dynamická analýza. Byla vytvořena celá řada složitých modelů, které modelovaly jednotlivé konstrukce v různých montážních fázích. Vybrané konstrukční detaily byly posouzeny pomocí prostorových deskostěnových modelů. Neobvyklým problémem byl zejména návrh a modelování pilíře na soulodí a jeho spolupůsobení s ostatními konstrukcemi. Pro celé soulodí a všechny fáze jeho působení byl vytvořen jeden prostorový deskostěnový model (obr. 10), v němž byly změny statického systému zohledněny pomocí tzv. vyloučení prvků a podpor z činnosti. Pro neobvyklé uložení soulodí na vodě byla zvolena analogie pružného podepření, kde dno soulodí bylo uloženo na pružné podloží o tuhosti 10 kN/m^3 , což odpovídá reakci při zatlačování tělesa do kapaliny. V jednotlivých fázích byl zadáván odpovídající vztlak a tíha balastní vody.



Obr. 10 Render výpočetního modelu soulodí a realita

3.1.5. Návrh montáže a skutečnost

Při přesunu bylo běžně dosahováno počátečního součinitele tření 4,5%, který po rozjezdu klesal na cca 3,8%. Určitou překážkou byly problémy při uvolňování půdorysně zakřivených nosníků montážního mostu na soulodí z ložisek na provizorním pilíři. Vlastní otáčení mostu bylo prováděno za stavu velmi nízké rychlosti vody v Dunaji s malou unášecí silou. Proto bylo nutno zapojit tažnou sílu vyprošťovacího tanku umístěného na pravém břehu řeky nejen v počáteční fázi, ale po celou dobu otáčení. Po spojení konstrukcí zavázcích nosníků na soulodí se zavázcími nosníky na definitivním pilíři došlo k neočekávanému zvětšení potíží s kluznými

deskami, které se deformovaly a jednotlivé vrstvy se vzájemně oddělovaly. Překonání těchto potíží se nepodařilo zvládnout v čase určeném pro vlastní zaplavování. Nehledě k tomu byla plavba na Dunaji se sníženou rychlostí v místě mostu obnovena. Požadovanou výšku hladiny vody se po prodloužené době nedařilo udržet a bylo nutno tuto výškovou disharmonii vyrovnávat odčerpáváním balastové vody ze soulodí. Nakonec byly potíže s kluznými sendvičovými deskami překonány a nosná ocelová konstrukce hlavního mostního pole byla přesunuta ze soulodí na definitivní pilíř. V době odpojování soulodí od definitivního pilíře začala nečekaně stoupat hladina vody rychlostí až cca 0,2 m/hod a zároveň stoupala i rychlost proudění vody z 0,8 m/s na 3.6 m/s. V této chvíli bylo soulodí odpojeno od horizontálního ložiska na definitivním pilíři a pomocí tří remorkérů zaplaveno k levému břehu, zakotveno a připraveno k následné demontáži. Tím manévř zaplavování skončil.

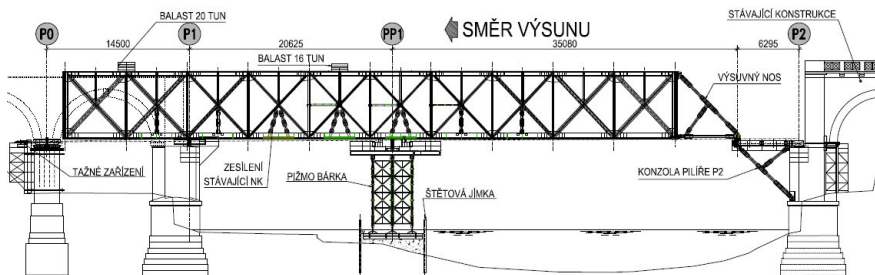
3.2. Výsun mostu přes Radbuzu

Druhým příkladem je popis montážních prací mostu přes řeku Radbuzu v Plzni. Pro jeho výstavbu bylo nutno provést řadu zajímavých a netradičních operací a konstrukcí, a to ve značně stísněných podmínkách [5].

Původní železniční most z roku 1877 se skládal ze dvou samostatných jednokolejných ocelových příhradových nýtovaných konstrukcí o rozpětí 61.09 m na kamenné spodní stavbě. V rámci výstavby byl tento most demontován a spodní stavba odstraněna.

Na jeho místě byl vybudován nový tříkolejný železniční most o třech polích rozpětí 26,35 + 63,40 + 26,35 m. Nosnou konstrukci středního nejdelšího pole tvoří ocelová příhradová konstrukce s horní mostovkou se spřaženou železobetonovou deskou. Spodní stavbu tvoří opěry a pilíře ze železobetonu.

Původní dokumentace uvažovala pro demontáž původního mostu i montáž nového mostu využití čtyř věží Pižmo, osazených do koryta řeky a použití věžového jeřábu. Tato technologie znamenala zakládání v korytě řeky a velké množství montážních prací a styků na staveništi. V rámci montážní dokumentace byla tato technologie změněna na použití metody podélného výsunu s využitím pouze jedné Pižmo bárky (obr. 11). Práce navíc musely probíhat ve stísněném prostoru mezi sousedními mosty.



Obr. 11 Přehledný výkres demontáže

Pro zajištění stability stávající ocelové konstrukce (SOK) při výsunu byl použit jednak výsuvný nos, dále konzola upevněná na stávající spodní stavbu. Původně tažený dolní pas byl při výsunu namáhán značnou tlakovou silou a lokálním ohybovým momentem, proto musela být celá konstrukce zesílena vzpěrami, viz obr. 11. Bylo nutno uvažovat i jeho oslabení korozí nýtů.

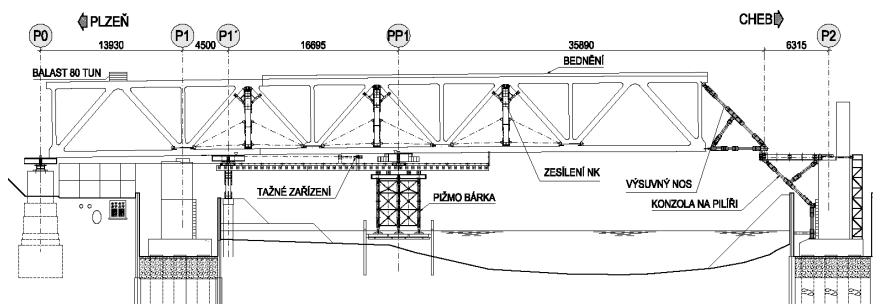


Obr. 12 Odstrojená původní nosná konstrukce při výsunu

Komplikací při výsunu též bylo, že dolní pas nýtovaný a nebylo možné po něm přímo vysouvat. Z toho důvodu byly na dolní pas přivařeny tzv. lamely, které vyrovnávaly jednak nýtové hlavy, jednak různé tloušťky pásnice dolního pasu. Samotný výsun pak probíhal na výsuvných stolicích, osazených kluzným materiálem a bočním vedením. Při výsunu na částečně zkorodovaném povrchu, lubrikovaném mazlavým mýdlem, nepřekročil součinitel tření 10%.

Veškerá manipulace byla prováděna tak, aby podepření konstrukce bylo ve všech fázích staticky určité. Podepření na více místech bylo vyloučeno s ohledem na riziko nerovnoměrného rozdělení reakcí a následného rizika přetížení prvků (obr. 12).

Montáž nové ocelové konstrukce byla provedena opět podélným výsunem. Nepříznivý účinek na stabilitu mělo osazené bednění, které zvyšovalo celkovou hmotnost vysouvané konstrukce na cca 840 t. Samotný výsun probíhal s využitím hydraulických lanových zvedáků na kluzných stolicích (obr. 13 a 14).



Obr. 13 Přehledný výkres montáže



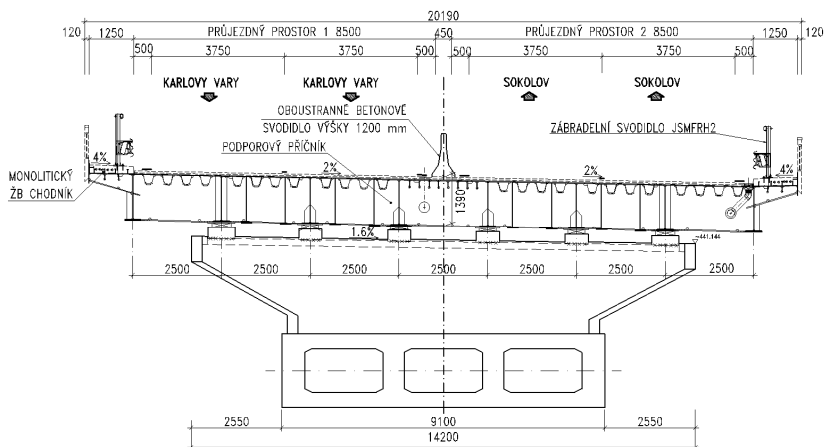
Obr. 14 Pohled na NOK při výsunu

Celá akce znamenala významnou úsporu pomocných konstrukcí a byla mimořádná i vysokým využitím únosnosti většiny prvků.

3.3. Výstavba mostu přes Ohři na R6 Nové Sedlo – Sokolov

Třetím příkladem je rozšíření stávající dvoupruhové komunikace na čtyřpruhovou na mostě přes Ohři. Byla navržena nová lehká ocelová trémová konstrukce s ortotropní mostovkou na stávající konstrukci železobetonového obloukového mostu, viz obr. 15. Současně s výstavbou nového mostu bylo nutno zesílit stávající železobetonové pilíře a zlepšit základové poměry oblouku horninovou injektáží. Byla použita technologie montáže nové ocelové konstrukce (OK) podélným výsunem [7].

Rekonstrukce mostu probíhala za úplné uzavírky po dobu 12 měsíců. Při realizaci došlo k řadě úprav v technologiích výstavby mostu. Původně byla technologie demolice a montáže mostu uvažována s použitím zavážecího zařízení, pomocí něhož se měly vyjímat jednotlivé betonové nosníky a osazovat dílce nové OK. Tato technologie ale časově nevyhovovala, neboť demolicí původního a výstavbu nového mostu bylo nutno zajistit s ohledem na místní klimatické podmínky kratší době. Demontáž byla provedena pomocí mobilních jeřábů a montáž nové OK v celém příčném řezu podélným výsunem.



Obr. 15 Příčný řez rozšířenou mostovkou pro čtyřpruhovou komunikaci

Pro montáž nové OK byla na sokolovské straně vybudována montážní jáma délky 97m a šířky 23 m, ve které probíhala montáž po polovinách jednotlivých polí. Na ni navazovala předmontážní plošina délky 93 m, kde

probíhala předmontáž dalších polí z montážních dílců (obr. 16). Předmontované části o velikosti poloviny jednoho pole a hmotnosti cca 120 t se z předmontážního roštu do montážní jámy přesouvaly pomocí pásového jeřábu. Montážní jáma i předmontážní rošt byly svými rozměry schopny umožnit montáž tří polí najednou. Montážní jáma byla vybavena výsuvnými bloky s kluznými ocelovými deskami, obdobné kluzné desky byly osazeny i na opěry a na pilíře.



Obr. 16 Pohled na montážní plochu

Ocelová konstrukce byla vysouvána pomocí čtyř dvojic závitových tyčí. Ty byly uchyceny k tlačným příčnům na konci ocelové konstrukce a probíhaly pod ní až k opěře, na které byly osazeny tažné konzoly s hydraulickými válci. Celá ocelová konstrukce byla při výsunu příčně vedena v montážní jámě a na pilířích. Hydraulické klapky, osazené na čele vysouváné konstrukce, eliminovaly průhyb konstrukce před najetím na pilíř, viz obr. 17. V průběhu výsunu probíhalo nepřetržité geodetické sledování konstrukce. Po ukončení výsunu se na mostě provedla bezešvá hydroizolace, byla položena vozovka a provedeno zbývající vybavení mostu.



Obr. 17 Klapka pro eliminaci průhybu a tlačný příčník

Uvedený příklad ukazuje velmi efektivní organizaci montáže, která umožnila současnou práci více týmů s výsledným urychlením výstavby mostu. Současně je zajímavá aplikace poměrně jednoduchého mechanismu pro eliminaci průhybu konce NK.

3.4. Montáž mostu Berlín – Pankow

Čtvrtým příkladem je montáž mostní konstrukce na dálničním okruhu okolo Berlína, který křížuje poblíž výjezdu Pankow trať jednokolejné regionální dráhy. Dálnice zde byla rozšiřována ze dvou na tři jízdní pruhy v každé směru. Proto bylo potřeba postavit novou mostní konstrukce. Výrobu a montáž zajišťovala firma MCE Slaný [8], [9].

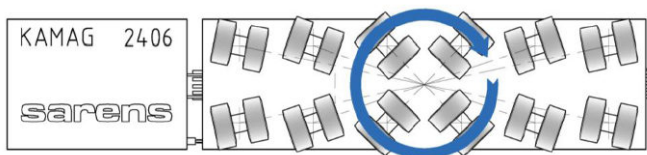
Ocelová konstrukce je tvořena hlavními nosníky tvaru I s dolní mostovkou. Hlavní nosníky jsou vysoké 2,45 m a jejich vzdálenost je 5,8 m. Ortotropní mostovka má podélné výztuhy a příčníky tvaru obráceného T s roztečí 2,44 m. Příčníky nad šikmým pilířem jsou s ohledem na jeho šikmost tvořeny uzavřeným komorovým profilem.



Obr. 18 Pohled na přemísťovanou NK na hydraulických podvozcích

Celá mostní konstrukce byla nejprve smontována na předmontážní plošině. Tato montáž probíhala za plného provozu na dálnici, bez nutnosti omezení provozu. Most byl zkompletován včetně veškerého vybavení.

Zavážení mostní konstrukce do otvoru prováděla firma Sarens s využitím speciálních podvozků. Nasazeny byly dva podvozky, každý sestávající ze tří šestiosých jednotek (obr. 18 a 19). Tyto podvozky umožňují provádět celou řadu operací, jako je pojezd v libovolném směru, otáčení v libovolném poloměru či na místě, nezávislé ovládání každé nápravy a jejího zdvihu pro vyrovnání nerovností v rozmezí až do 500mm.



Obr. 19 Ukázka nastavení podvozku při rotaci [10]

V průběhu výluky na trati o celkové délce 54 hod. najely podvozky nejprve pod stávající mostní konstrukcí a převezly ji na opěry předem připravené v uzavřeném dálničním pruhu. Potom přejezly pod nový most, zdvihly jej o 400 mm a zavezly do definitivní polohy. Nakonec odvezly původní most na uvolněnou předmontážní plochu.

Uvedený postup montáže ukazuje, že použití speciálních hydraulických podvozků i přes vysoké náklady na jejich pronájem je velmi efektivním a rychlým způsobem montáže mostní konstrukce. Bez jejich použití

by montáž konstrukce znamenala výrazně vyšší omezení provozu jak na železniční trati, tak na dálnici.

4. Závěr

Na uvedených příkladech byly ukázány některé možnosti aplikace moderních technologií montáže ocelových mostů, a to jak pro mosty středních, tak větších rozpětí. Je patrné, že návrh montáže ocelové mostní konstrukce je zcela specifickou oblastí, vyžadující potřebné zkušenosti projektanta i zhotovitele. Jde o činnost, kterou je možné dosáhnout velké efektivity výstavby, naopak při nevhodném návrhu může dojít k vysokým finančním nebo časovým ztrátám.

5. Literatura

- [1] *BCSA Guide to the Erection of Steel Bridges*. 2005. 108 p. ISBN 85073 046 5.
- [2] Rosignoli, M. *Bridge Launching*. 1st ed. Thomas Telford, 2002. 342 p. ISBN 0727731467
- [3] Ryjáček, P., Očadlík, P.: Alytus bridge assembly report. Prague, 2013
- [4] Korbelář, J., Očadlík, P., Ryjáček, P., Schindler, J., Citta, M., Kovalík, M., Malý, Z. Erection and floating of the “Košická” Bridge in Bratislava. In: *6th International Symposium on Steel Bridges, Prague 31. May – 2. June 2006*. 2003, p. 86–95. ISBN 8023971689.
- [5] Kovář, K., Očadlík, P., Ryjáček, P., Vovesný, M.: Výroba a montáž pole 2 mostu přes Radbuzu v Plzni. In: *Konference Železniční mosty a tunely 2013*, bez ISBN, Praha, 2013
- [6] Kovář, K.: Statistiky nákladů na výrobu a montáž ocelových mostů, Bilfinger MCE Slaný s.r.o.
- [7] Korbelář, J., Kroupar, M., Ryjáček, P., Schindler, J.: Steel superstructure saves concrete arch bridge over the River Ohře, Czech Republic. *Steel Construction*, 2013, vol. 6, p. 158–162. ISSN 1867-0520.
- [8] Allcons Industry a VPÚ DECO PRAHA a.s.: Realizační a výrobní dokumentace mostu Berlín – Pankow. 2012.
- [9] Tomiček, K., Tatiček, J. Nové přemostění dálničního okruhu okolo Berlína. *KONSTRUKCE*, 2012, vol. 6, ISSN 1213-8762.
- [10] Sarens Group: SPMT Kamag 2400 ST. Product brochure. Sarens group. <http://www.sarens.com/media/catalog/data/Transport.html> (accessed Jan 02, 2014).

Autor a CV

Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

e-mail: pavel.ryjacek@fsv.cvut.cz

datum a místo narození: 20. února 1977, Plzeň

Vzdělání:

2000-2003 Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Katedra ocelových konstrukcí, doktorské studium. Téma „Půdorysně zakřivené ocelobetonové spřažené mosty“ Udělen titul “Ph.D.”

3.1.-31.5. 2002 Studijní stáž na City university, London, United Kingdom

1995-2000 Fakulta stavební, ČVUT v Praze. Magisterské studium, obor „Konstrukce a dopravní stavby“ Diplomová práce: “Ocelový most přes Vltavu v Praze – Suchdole. Udělen titul “Ing.”

Zaměstnání:

1.9.2012 až současnost Odborný asistent na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí ČVUT v Praze, fakulta stavební, Thákurova 7, Praha 6

1.9.2008 až současnost Vedoucí projektant – skupina ocelových konstrukcí a mostů.

28.11.2006 Udělena autorizace v oboru mosty a inženýrské konstrukce.

1.7.2003-30.8.2008 VPÚ DECO PRAHA a.s. Projektant ocelových konstrukcí a mostů.

1998-2003 Pontex s.r.o., zaměstnán na částečný úvazek
Projektant ocelových konstrukcí - statické výpočty ocelových a ocelobetonových konstrukcí a mostů, tvorba výkresové dokumentace ve stupních DÚR až RDS.

Pedagogická činnost:

Přednášky:

- OM1 - Ocelové mosty 1
- YOM2 - Ocelové mosty 2
- OCM3 - Ocelové mosty 3

- YZNM - Základy navrhování mostů
- STB - Steel bridges

Dále vedení diplomových a bakalářských prací, vedení projektů, cvičení.

Člen pedagogické rady bakalářského a magisterského studijního oboru
Konstrukce a dopravní stavby

Oblasti výzkumu:

- Ocelové mosty
- Interakce bezстыkové koleje a mostu
- Progresivní mostovky železničních mostů
- Kompozitní FRP konstrukce a materiály
- Využití modální analýzy pro hodnocení konstrukcí
- Spoluřešitel grantu Ministerstva dopravy "Využití modální analýzy pro hodnocení mostních konstrukcí" v letech 2000-2003
- Spoluřešitel grantu Ministerstva dopravy "Vliv únavy na únosnost těžké mostové soupravy" v letech 2000-2003
- Řešitel interního grantu ČVUT „Půdorysně zakřivené ocelobetonové mosty“ v roce 2002
- Spoluřešitel projektu CESTI - Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu, WP3: Mosty – efektivnější konstrukce s vyšší spolehlivostí a delší životností
- Začlenění do akce COST Action TU 1207 - Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction

Členství v organizacích a komisích:

- Člen Bridge committee ECCS (European Convention for Constructional Steelwork)
- Autorizovaný inženýr v oboru Mosty a inženýrské konstrukce, ČKAIT
- Oprávnění pro provádění hlavních prohlídek mostů pozemních komunikací

Ocenění

- ECCS 2012 - European Award for Steel Bridges: Certificate of Merit - Locket Bridge on R6 road in Nové Sedlo (Czech Republic)

- Česká dopravní stavba 2010, cena předsedy ČSS. Sklopný silniční most České Vrbné
- Cena ČKAIT 2010. Rekonstrukce mostu přes Ohři na stavbě silnice R6 – Nové Sedlo Sokolov
- Česká dopravní stavba 2010, cena za stavební detail: Rekonstrukce železničního mostu Kolín
- Cenu za dopravní infrastrukturu v soutěži Stavba roku Středočeského kraje 2012. Rekonstrukce železničního mostu Kolín

Vybrané publikace:

- Lubas, A., Rotter, T., Ryjáček, P., Némec, J., Chvojan, J., Kepka, M. Ověření únavové životnosti mostního provizoria TMS. In. *Ocelové konstrukce a mosty 2003. Praha, 17.-20.9.2003.* 2003, p. 201–206. ISBN 80-01-02747-3.
- Ryjáček, P., Rotter, T. Půdorysně zakřivené spřažené ocelobetonové mosty. *Stavební Obzor*, 2003, vol. 9, p. 261–265. ISSN 1210-4027.
- Korbelař, J., Očadlík, P., Ryjáček, P., Schindler, J., Citta, M., Kovalík, M., Malý, Z. Erection and floating of the “Košícká” Bridge in Bratislava, In. *6th International Symposium on Steel Bridges, Prague 31. May – 2. June 2006.* 2003, p. 86–95. ISBN 8023971689.
- Václav Mach, Vít Hoznour, Pavel Ryjáček: Kočíci oči. *KONSTRUKCE*. 2005, roč. 2005, č. 3, p. 23-24. ISSN 1803-8433
- Korbelař, J., Očadlík, P., Ryjáček, P., Schindler, J., Veverková, J., Malý, Z., Citta, M. Zaplavování mostu Košícká v Bratislavě. *Stavební Obzor*, 2005, vol. 1, ISSN 1210-4027.
- Polák, M., Plachý, T., Rotter, T., Ryjáček, P.: Study of Dynamic Behavior of Two Road Bridges and their Numerical Models. In. *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2005, Paris, 4.9.2005 - 7.9.2005.* ISBN 90-5966-033-1 WoS: 000239450102023
- Ryjáček, P., Kotas, P. A new pedestrian bridge in Prague – Barrantov 7th international conference on steel bridges, Guimaraes, p. 567-572. ISBN: 92-9147-000-88 Portugal 2008
- Ryjáček, P., Kolínský, V., Očadlík, P.: Nový sklopný silniční most v Českém Vrbném. 16. mezinárodní sympozium Mosty 2011, p. 303-308, ISBN 978-80-86604-52-7 Brno 2011.

- Schindler, J., Ryjáček, P., Očadlík, P., Henzl, J.: Železniční most přes Labe v Kolíně. 16. mezinárodní symposium Mosty 2011, p. 434-439, ISBN 978-80-86604-52-7, Brno 2011.
- Korbelař, J., Ryjáček, P., Schindler, J., Kulhavý, M., Kroupar M., Rozsypálek, Z.: Rozšířený obloukový most přes Ohři u Lokte – od dubna 2011 již v provozu. Silnice a železnice 2011, roč. 2011, č. 2, s. 16-18. ISSN 1801-822X
- Ryjáček, P.: Pohyblivý most v přístavu České Vrbné. Stavebnictví 05/2011 Stavebnictví. 2011, roč. 2011, č. 5, s. 42-45. ISSN 1802-2030
- Korbelař, J., Ryjáček, P., Schindler, J., Kroupar M.: Rozšířený obloukový most přes Ohři u Lokte před dokončením. Stavebnictví. 2011, roč. 2011, č. 5, s. 60 - 63. ISSN 1802-2030
- Korbelař, J., Kroupar, M., Ryjáček, P. and Schindler, J.: Steel superstructure saves concrete arch bridge over the River Ohře, Czech Republic. Steel Construction, (2013) vol. 6, p.158–162, ISSN: 1867-0520
- Корбелар, Я., Круппар, М., Риячек, П., Шиндлер, И.: Реконструкция арочного моста через реку Огрже, Чешская Республика "Мостостроение мира" № 2/2013 p. 20-24
- Korbelař, J., Kroupar, M., Ryjáček, P., Schindler, J.: Reconstruction of an arch bridge across Ohře River, Locket, Czech republic "Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures", IABSE Conference Rotterdam, p. 584-585, ISBN 978-3-85748-123-9, The Netherlands, May 6-8, 2013
- Ryjáček, P., Schindler, J.: Havárie provizoria MS v Chrastavě, příčiny a poučení. Silnice železnice. 2013, roč. 2013, č. 1, s. 1-3. ISSN 1801-822X
- Ryjáček, P., Vokáč, M.: Dlouhodobý monitoring bezстыkové koleje na železničním mostě v Kolíně. Stavebnictví 7/8/2013, roč. 2013, č. 8, s. 40-45
- Kovář, K., Očadlík, P, Ryjáček, P., Vovesný, M., Výroba a montáž pole 2 mostu přes Radbuzu v Plzni. In: Konference Železniční mosty a tunely 2013, bez ISBN, Praha, 2013
- Ryjáček, P., Vokáč, M.: Zhodnocení výsledků z dlouhodobého monitoringu bezстыkové koleje na mostě v Kolíně. In: 18. mezinárodní symposium Mosty 2013, ISBN: 978-80-86604-60- 2, Brno 2013

- Očadlík, P., Kolínský, V., Ryjáček, P.: The design and experimental verification of a bascule bridge in the river port České Vrbné. Bridges In Danube Basin, Timisoara – Belgrade 4-5. October 2013, International konference. 2013.
- Ryjáček, P., Vokáč, M.: Monitoring of steel railway bridge and continuous welded rail. METNET Annual Seminar, Luleå, Sweden, 22-23 October 2013.