



Stavba oblouku Oparno, D8 Foto: Archiv Metrostav

Letmé betonování mostů

Unikátní technologie pro výstavbu mostních konstrukcí našla své uplatnění zejména pro stavby v nepřístupném terénu či s velkým rozpětím. Hlavní princip spočívá ve stavbě po částech (lamelách) do bedně pomocí betonážních vozíků.

Letmé betonování (Freivorbau, free cantilever method) našlo široké uplatnění po druhé světové válce, kdy bylo potřeba vybudovat mnoho mostů zničených válkou. Na vývoji se podíleli zejména U. Finsterwalder, M. E. Freyssinet, Y. Guyon a F. Dischinger. Bylo třeba vyřešit zejména kotvení a ztráty napětí v předpínací výztuži a vlivy smršťování a dotvarování betonu v závislosti na času a prostředí. Již v roce 1953 byl uveden do provozu most ve Wormsu s největším rozpětím 114 m, v Koblenzi (123 m, 1954) a o něco později most v Bendorfu (208 m, 1965). Výstavbu řady mostů si vyžádalo budování kapacitní dopravní infrastruktury pro rychle se rozvíjející silniční a železniční dopravu.

V Československu byl postaven v roce 1958 most na Veslařský ostrov v Praze jako zkušební objekt pro ověření technologie letmého betonování v našich podmínkách. Most má tři pole, rozpětí středního pole je 45 m. Nelze opomenout ani významný železniční letmo betonovaný most přes Vltavu v Praze-Holešovicích s rozpětím polí 5 x 73,3 m, uvedený do provozu v roce 1970.

Uspořádání letmo betonovaných mostů

První letmo betonované mosty byly staticky uspořádány tak, že ve středu polí byla umístěna pohyblivá ložiska. Tím se podstatně zjednodušil statický návrh, protože ve vnitřních polích vznikl

system dvou konzol. Na účinky smršťování a dotvarování betonu a teploty reagovaly svým pohybem vložená ložiska.

Častou variantou byl návrh krajních polí délky rovné polovině středního rozpětí, což vyplývá ze symetrické výstavby vahadla od pilíře. Správnou funkci ložisek na opěrách bylo nutno zajistit jejich přikotvením, protože při poloze vozidel v přilehlém vnitřním poli by v nich vznikaly tahové síly. Návrh předpětí byl jednoduchý, ve vnitřních polích to byla soustava konzol, v krajních polích bylo nutné doplnit předpětí konstrukce o kabely zachycující tahová napětí vznikající od zbytku stálého zatížení (vozovky, konstrukce chodníku a říms) a od dopravy. Příkladem takového uspořádání jsou mosty přes Vltavu a Otavu u Zvíkovského Podhradí, které mají shodné uspořádání polí s rozpětími 42 + 84 + 84 + 42 m. Mosty byly postaveny v letech 1959–1963 a jejich projektantem byl Ing. Dr. V. Možíš.



Most Velemyšleves
Foto: Lukáš Vráblík



Betonážní vozík mostu na Veslařský ostrov, Praha
Foto: SSŽ, n. p., Praha



Most na Veslařský ostrov v Praze
Foto: Helena Včelová

U mostů s výše uvedenou statickou soustavou se v průběhu času začaly projevovat trvalé průhyby. Současně s tím šel dál i badatelský vývoj z hlediska vlivu dotvarování a smršťování betonu, kterému se věnoval zejména prof. Z. P. Bažant. Většina těchto mostů musela být vzhledem k velkým trvalým průhybům rekonstruována, vložená ložiska byla odstraněna a pro změněné statické schéma konstrukce byly navrženy doplňkové, volně vedené kabely umístěné uvnitř komorového průřezu. Tak se také postupovalo při rekonstrukci přes Vltavu a Otavu u Zvíkovského Podhradí.

Příkladem mostu s nadměrnými průhyby byl most Korrer-Babelthuap, dokončený v roce 1977. Při rozpětí 240,8 m maximální výšce nosníku v patě 14,17 m byl výpočtem předpokládaný průhyb 0,53 až 0,65 m, avšak po osmnácti letech provozu dosáhl hodnoty 1,39 m a stále se zvětšoval. Bylo rozhodnuto o rekonstrukci dodatečným předpětím s odstraněním centrálního kloubu. Po třech měsících od rekonstrukce 26. září 1996 došlo k náhlému kolapsu mostu.



Betonážní vozík mostu Velemyšleves
Foto: Helena Včelová

Variantní konstrukce

Na základě teoretických rozborů a dlouhodobých sledování letmo betonovaných mostů byly upřesněny predikce dlouhodobého chování letmo betonovaných mostů a ustálilo se řešení bez kloubů v podobě spojitých nosníků (u mostů s nízkými pilíři) nebo rámových konstrukcí s náběhy. Přesto při návrhu a realizaci je třeba počítat s tím, že se konstrukce může chovat poněkud jinak, než se z hlediska průhybů předpokládalo, a že před spojením vahadel je bude nutné v omezeném rozsahu výškově rektifikovat. Problém nastává zejména u mostů s velkými náběhy a relativně tenkou konstrukcí uprostřed rozpětí oproti výšce konstrukce nad pilíři. Současně s tím je třeba volit rozumné nadvýšení konstrukce, zahrnující též přiměřený průhyb od zatížení dopravou.

Současně byla snaha prodloužit první pole mostu. K tomu posloužil buď nesympetricky uspořádaný zárodek pro osazení betonážních vozíků nebo prodloužení monolitickou částí u opěry, betonovanou na pevné skruži. Tím se odstranilo nepříjemné kotvení ložisek na svislou tahovou sílu a prodloužené první pole přispělo k vyváženému statickému návrhu celé



Most Ešima-Ohaši,
Japonsko Foto: archiv

konstrukce. U mostů uložených na ložiska (při nízkých pilířích) je třeba zajistit stabilitu vahadla při letmém betonování, nejčastěji pomocí dočasné provizorní podpěry.

Spíše výjimečné je letmé betonování jednostranné konzoly, které je možné jejím vetknutím do masivních nebo komorových opěr s případným pomocným podepřením při výstavbě. Příkladem je most přes Ohři v Karlových Varech-Drahovicích s rozpětím 70 m postavený v roce 1960. Všeobecně platí, že letmé betonování se používá pro rozpětí mostů nad 60 m, protože pro menší rozpětí polí jsou výhodnější jiné technologie.

Výjimečné konstrukční uspořádání má japonský most Ešima Ohaši (2004) s celkovou délkou 1446 m, který je v centrální části (54,25 + 150 + 250 + 150 + 54,25 m) tvořen rámovou konstrukcí letmo betonovanou s velkými náběhy. V hlavním poli má nosník výšku od 4,3 m do 15,5 m a má kloub uprostřed rozpětí. Most upoutá i velkým podélným spádem nivelety až 6,1 %.

Rychlost výstavby

Rychlost výstavby závisí na počtu betonovacích vozíků, délce betonované lamely a doby potřebné k výrobě-provedení jednoho taktu, která se ustálila většinou na jednotýdenním cyklu. Obvykle se používaly pouze dva vozíky pro symetrickou výstavbu vahadla, takže při délce lamely 3 m se postavilo 6 m mostu za týden (např. mosty ve Zvíkovském Podhradí). Naopak požadavek na rychlou výstavbu mostu na D0 přes Radošínské údolí si vynutil použití čtyř párů vozíků. Současná délka jedné lamely je až 6 m.

Volba příčného řezu

Příčný řez se navrhuje obvykle jednokomorový, u dálničních objektů se nejčastěji staví dvě nezávislé konstrukce vedle sebe. Na mostu na Veslařský ostrov byla použita dvourámová konstrukce doplněná o dolní desku v okolí pilíře a pro lávku pro chodce v Salcburku pak konstrukce pouze jednorámová. Jsou to však mosty malého rozpětí.



Most Argentobel
– betonování
poloviny oblouku
Foto: Vorspann-Technik

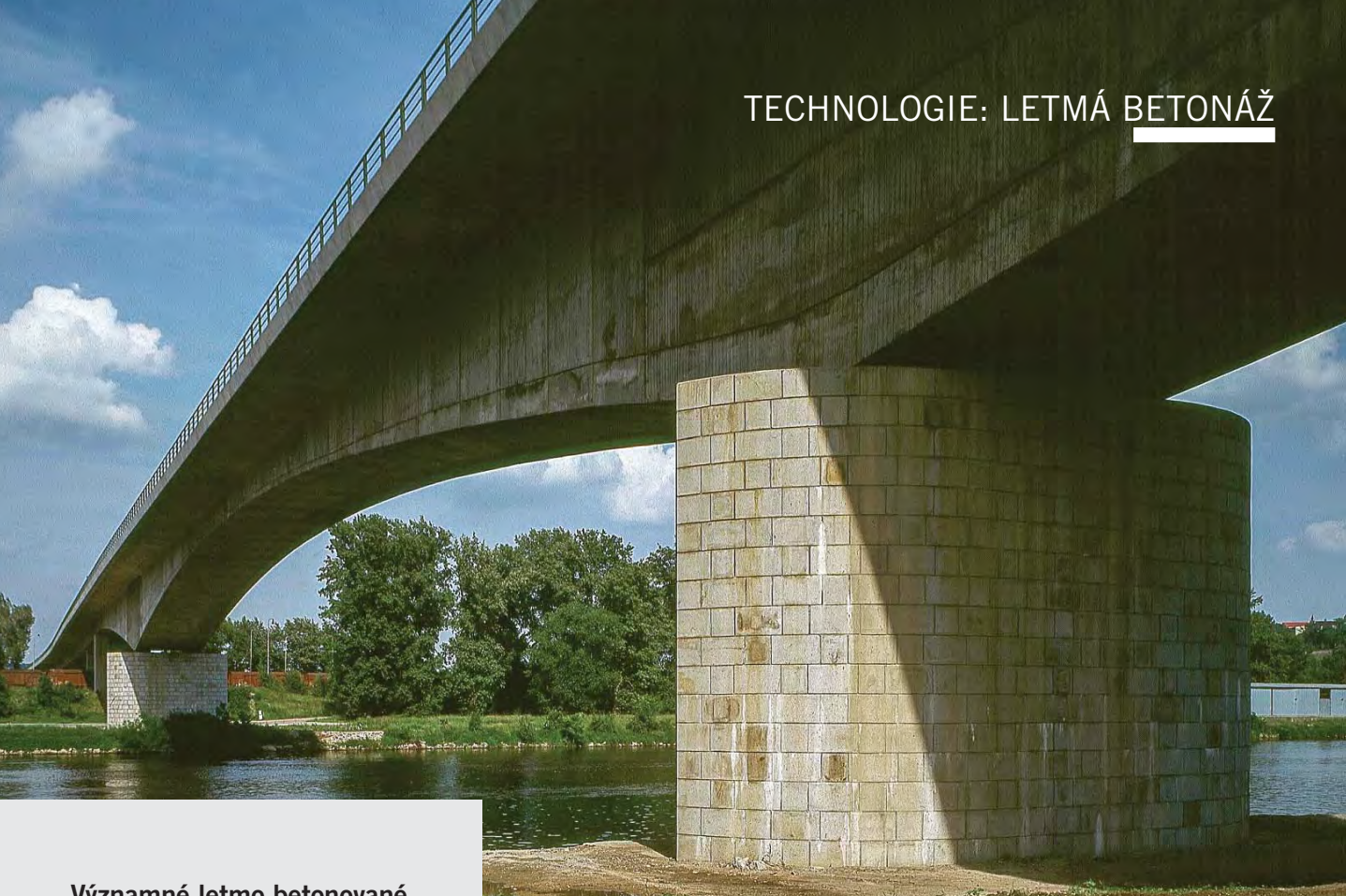


Most Raftsundet,
Norsko Foto: archiv

Průřez se navrhuje obvykle proměnné výšky s postupným zesilováním dolní desky i stěn směrem k podporám, což odpovídá konzolovému způsobu výstavby. Výjimkou je patrový most přes Nuselské údolí v Praze, který přenáší po dolní desce vozy metra, a tudíž bylo nezbytné zachovat průřezní výšku průřezu. Bylo navrženo zesílení stěn; dolní deska byla zesílena vně – skrytě za výstupky stěn průřezu. Pro mosty Kochertal a Eschachtal v Německu byl navržen jeden most pro oba směry dálnice. Základní průřez v šířce 13 m byl letmo betonován a k němu byly připojeny oboustranné, šikmými vzpěrami podepřené konzoly, takže bylo dosaženo konečné šířky mostu 31,0 m. Pro přesun betonovacích vozíků na další pilíř byl využit zvláštní ocelový nosník.

Uspořádání předpínací výztuže

První letmo betonované mosty byly předpínány kabely sestavenými z rovných patentovaných drátů průměru 7 mm. Významným zjednodušením na mostech u Zvíkova bylo umístění předpínacích kabelů do mělkého žlábků na horní desce průřezu a pouze v krátké délce v kotevní oblasti do trubek. Toto uspořádání usnadnilo osazování výztuže, ale hrozilo její mechanické poškození a koroze. Dnešní předpínací kabely jsou skládány ze sedmidrátových lan – pramenců, umístěných v trubkách – hadicích.



Významné letmo betonované trémové mosty

V České republice bylo postaveno v devadesátých letech minulého století na dálnicích a silnicích několik významných mostů s rozpětím přes 100 m:

- most v Mělníku přes Labe (1993) má rozpětí 72 + 146 + 72 m; byl postaven z betonu značky 400,
- most přes Vltavu u Vepřeka na D8 (1996) s rozpětím středního pole 125 m,
- most přes Ohři na D8 (1997) má největší rozpětí pole 137 m a je součástí přemostění o celkové délce 1,2 km,
- rámový most přes Úhlavku na D5 u Kladruhu (1997) má největší rozpětí pole 130 m.

Z novějších mostů uvedme:

- most přes údolí Hačky (2007) má čtyři pole 60 + 2 × 106 + 60 m; je to první půdorysně zakřivený most ČR,
- v České republice most s dosud největším rozpětím přes Labe v Prosmkách u Litoměřic (2009) má celkem sedm polí, z toho tři pole 90 + 151 + 102 m byla letmo betonovaná; požadovaná třída betonu byla C35/45,
- letmo betonovanou část přemostění údolí Berounky na D0 (2009) má šest polí s největším rozpětím 114 m,
- most na dálnici D3 přes rybník Koberný (2013) má rozpětí 109,5 m,
- přes údolí říčky Chomutovky ve Velemyšlevisi (2016) na silnici I/27 s největším rozpětím středního pole 120 m.

Příklady ze světa

Na konci minulého století bylo ve světě postaveno deset letmo betonovaných mostů s rozpětím 250 m a větším. V čele jsou tři letmo betonované norské mosty; Stolmasundet s rozpětím 301 m a Raftsund a Sandoy, oba s rozpětím 298 m. V části jejich největšího pole byl pro zmenšení tíhy konstrukce použit lehký beton. První využití lehkého betonu je známo z Francie na mostu přes řeku Oise z roku 1988.

Také stavba vysokorychlostních tratí vyžaduje mnoho mostních objektů, z nichž řada je stavěna letmým betonováním. Například na vysokorychlostní trati z Čchung-čchingu do Šanghaje je železniční viadukt Cai Jia Gou, který přechází dvě hluboká údolí. Hlavní pole mají rozpětí 144 m. Pilíře jsou vysoké až 139 m.

Na Slovensku byl v roce 2017 postaven u Trenčína přes Váh železniční most o sedmi polích celkové délky 340 m s rozpětím největšího pole 53 m.

Použití letmého betonování v jiných konstrukcích

Inovaci v oblasti výstavby obloukových mostů bylo využití letmého betonování oblouků s vyvšováním. Příkladem této stavební metody je most postavený

nedaleko hráze přehrady Hoover. Most převádí silnici přes kaňon řeky Colorado ve výšce 260 m nad hladinou řeky. Oblouk má rozpětí 323 m a vzepětí 84,5 m. Viadukt pro vysokorychlostní trať přes nádrž na řece Tajo ve Španělsku je dalším příkladem mostu postaveného stejnou metodou. Viadukt délky 1,5 km překračuje řeku obloukem s rozpětím 324 m.

V ČR byl takto postaven (2010) dálniční obloukový most přes Oparenské údolí s rozpětím 135 m. Každá polovina oblouku má čtrnáct lamel, jejichž největší délka byla 5,06 m. Oblouk má atypický průřez ve tvaru Π.

Zvláštním případem je postupná betonáž polovin oblouku v téměř svislé poloze za použití betonovacího vozíku a jejich následné sklopení. Tuto metodu poprvé použil v roce 1955 Riccardo Morandi při stavbě Lussia v Itálii. Podobně byl stavěn i oblouk mostu Argentobel v Německu s rozpětím 145 m. Letmo betonování se používá také při výstavbě mostovek zavěšených mostů. V ČR byla tato metoda poprvé použita při výstavbě mostu přes Jordán v Táboře s rozpětím hlavního pole 111 m.

▪ Text: Vladislav Hrdoušek,
Helena Včelová

▪ Foto: Archiv autorů

Most přes Labe v Mělníku
Foto: SMP, a. s.

JOURNAL

1/2018

LAFARGE CEMENT



LAFARGE
Building better cities™



člen skupiny
LafargeHolcim



Stavba oblouku Oparno, D8 Foto: Archiv Metrostav

Letmé betonování mostů

Unikátní technologie pro výstavbu mostních konstrukcí našla své uplatnění zejména pro stavby v nepřístupném terénu či s velkým rozpětím. Hlavní princip spočívá ve stavbě po částech (lamelách) do bedně pomocí betonážních vozíků.

Letmé betonování (Freivorbau, free cantilever method) našlo široké uplatnění po druhé světové válce, kdy bylo potřeba vybudovat mnoho mostů zničených válkou. Na vývoji se podíleli zejména U. Finsterwalder, M. E. Freyssinet, Y. Guyon a F. Dischinger. Bylo třeba vyřešit zejména kotvení a ztráty napětí v předpínací výztuži a vlivy smršťování a dotvarování betonu v závislosti na času a prostředí. Již v roce 1953 byl uveden do provozu most ve Wormsu s největším rozpětím 114 m, v Koblenzi (123 m, 1954) a o něco později most v Bendorfu (208 m, 1965). Výstavbu řady mostů si vyžádalo budování kapacitní dopravní infrastruktury pro rychle se rozvíjející silniční a železniční dopravu.

V Československu byl postaven v roce 1958 most na Veslařský ostrov v Praze jako zkušební objekt pro ověření technologie letmého betonování v našich podmínkách. Most má tři pole, rozpětí středního pole je 45 m. Nelze opomenout ani významný železniční letmo betonovaný most přes Vltavu v Praze-Holešovicích s rozpětím polí 5 x 73,3 m, uvedený do provozu v roce 1970.

Uspořádání letmo betonovaných mostů

První letmo betonované mosty byly staticky uspořádány tak, že ve středu polí byla umístěna pohyblivá ložiska. Tím se podstatně zjednodušil statický návrh, protože ve vnitřních polích vznikl

system dvou konzol. Na účinky smršťování a dotvarování betonu a teploty reagovaly svým pohybem vložená ložiska.

Častou variantou byl návrh krajních polí délky rovné polovině středního rozpětí, což vyplývá ze symetrické výstavby vahadla od pilíře. Správnou funkci ložisek na opěrách bylo nutno zajistit jejich přikotvením, protože při poloze vozidel v přilehlém vnitřním poli by v nich vznikaly tahové síly. Návrh předpětí byl jednoduchý, ve vnitřních polích to byla soustava konzol, v krajních polích bylo nutné doplnit předpětí konstrukce o kabely zachycující tahová napětí vznikající od zbytku stálého zatížení (vozovky, konstrukce chodníku a říms) a od dopravy. Příkladem takového uspořádání jsou mosty přes Vltavu a Otavu u Zvíkovského Podhradí, které mají shodné uspořádání polí s rozpětími 42 + 84 + 84 + 42 m. Mosty byly postaveny v letech 1959–1963 a jejich projektantem byl Ing. Dr. V. Možíš.