



## VYHODNOCOVÁNÍ MĚŘENÍ NA MOSTĚ PŘES OPARENSKÉ ÚDOLÍ

Zpracovali: Ing. Vojtěch Kolínský, prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Most přes Oparenské údolí na dálnici D8 v Českém středohoří je tvořen dvěma téměř identickými obloukovými konstrukcemi. Rozpětí oblouků je 135 m (druhé největší rozpětí betonového obloukového mostu v České Republice). Oblouky jsou vetknuté do základových patek. Mostovka je předpjatá s dvoutrámovým průřezem a rozpětí polí se mění od 17 do 22 m. Na mostě bylo prováděno podrobné měření poměrných deformací oblouku během výstavby, geodetická měření a měření sil v dočasných závěsech. V současné době je nosná konstrukce hotova, ale chybí dokončení vozovky a příslušenství. Stavba je nyní zastavena a předpokládá se, že po jejím obnovení a uvedení mostu do provozu se bude v měření pokračovat.

Cílem výzkumu je vyhodnocení naměřených veličin a jejich porovnání s výsledky numerických výpočtů. Z porovnání pak vyplyne, jak jsou výstižné teoretické modely modelující působení zejména betonu při dlouhodobém zatížení.

Oblouk je železobetonový nepředpjatý, ale převážně tlačný, proto je vhodnou konstrukcí pro ověření materiálových modelů pro beton. Most byl stavěn pomocí metody letmé betonáže, konstrukce byla proto postupně zatěžována až do současného stavu, kdy je aplikována velká většina stálého zatížení.

### Oblast použití

Poznatky získané při řešení této výzkumné aktivity bude možné využít při projektování betonových konstrukcí náchylných na projevy reologických vlastností betonu (např. letmo betonované mosty) a dále při návrhu a následném vyhodnocování měření při dlouhodobém sledování betonových konstrukcí.

Reologické vlastnosti betonu (dotvarování a smršťování), jakožto faktor významně ovlivňující chování betonových konstrukcí, nejsou v betonovém inženýrství nijak novým fenoménem, přesto v této problematice stále můžeme najít poměrně mnoho nejasností.

Je to patrné například již při letmém pohledu na množství, vzájemnou nezávislost a komplikovanost

různých matematických modelů, které přetvárné chování betonu popisují. Vzhledem k masivnímu výzkumu a vývoji v oblasti „nových“ betonů (vysokohodnotné betony, vláknobeton, používání speciálních přísad a příměsí...) lze do budoucna očekávat při komplexním materiálovém modelování betonu ještě více faktorů a vstupních hodnot – tedy ještě komplikovanější modely. Samotná složitost modelů a s nimi spojených výpočtů by dnes, vzhledem k výkonu počítačů, nebyla až takovým problémem. Podstatně náročnější je ve fázi projektu získat všechny potřebné podklady o materiálu, který bude v konstrukci použit a o prostředí, jemuž bude vystaven. Z tohoto důvodu je důležité zabývat se otázkou, které faktory jsou pro výsledné chování betonových konstrukcí opravdu významné, kvantifikovat jak vliv jednotlivých parametrů v modelech dotvarování, tak i reologických změn materiálu jako celku.

Silnou motivací do zkoumání dotvarování bylo v posledních letech množství poruch (nadměrných průhybů), které byly zjištěny při užívání mostů u nás i v zahraničí. To vedlo ke snahám o přepočty konstrukcí, hledající příčiny těchto problémů a dále k tomu, že některé významné konstrukce jsou dnes během výstavby i v průběhu jejich životnosti podrobeny detailnějšímu sledování. Až na pár výjimek se ukázalo, že získat hodnověrné informace nutné pro detailní modelování a vyhodnocení měření je pro stavby staršího data v podstatě nemožné. Konkrétně jde o nedůsledně uchovávané údaje o použitých materiálech, tvaru konstrukce a hlavně jejím detailním způsobu výstavby.

Protože o výstavbě mostu přes Oparenské údolí máme poměrně detailní informace a konstrukce byla během stavby i po jejím dokončení podrobně sledována, zcela jistě se vyplatí provést podrobnou analýzu všech měření, která může pomoci výše uvedené otázky osvětlit.

### Metodika a postup řešení

Postup řešení sestává z několika základních kroků.

a) Vyhodnocení měření provedených na mostě během výstavby a později během budoucího provozu.

b) Vytvoření jednoúčelového programu a numerického modelu, který umožní variaci jednotlivých vstupních parametrů tak, aby bylo možné z měření identifikovat a kvantifikovat jednotlivé ovlivňující faktory a tak stanovit jejich význam pro výsledné deformace konstrukce.

c) Porovnání výsledků numerického modelu a měření na konstrukci a provedení inverzní analýzy.

d) Vyhodnocení vhodnosti měření a doporučení pro experimentální programy na dalších konstrukcích.

V roce 2013 byla věnována hlavní pozornost sestavování výpočetního programu a numerického modelu konstrukce oblouku. Ten umožňuje postupné modelování konstrukce při výstavbě i po dokončení. V programu musí být možné respektovat historii zatěžování, časový postup výstavby i experimentálního programu a snadno měnit jednotlivé materiálové modely betonu. Další důležitou funkcí je možnost parametrizovat jednotlivé vstupní hodnoty ve výpočtech dotvarování a smršťování a sledovat vliv jejich statistické nejistoty na výsledné chování mostu. Kvůli komplikovanosti postupu výstavby a značné složitosti konstrukce je s ohledem na rychlost výpočtu nutné provádět výpočet dotvarování v přírůstkové formě (vyjádření funkce dotvarování ve tvaru Dirichletovy řady).

Výpočetní jádro programu bylo vyvinuto a testováno prvním autorem tohoto příspěvku v rámci doktorského studia. Toto jádro však bylo nyní třeba upravit pro tento konkrétní příklad – modelování komplexní výstavby mostu přes Oparenské údolí.

Detaily o výpočtu dotvarování v přírůstkové formě a o výpočetním jádru programu je možné nalézt v článku [2].

## Výsledky

Protože je Oparenský most letmo betonovaný, tzn., vznikl postupným betonováním polovin oblouku ze dvou zárodků, bylo třeba do programu doplnit původně neobsaženou funkci, a to možnost spojení několika nezávislých konstrukcí. Dále bylo třeba pro věrné modelování výstavby mostu přes Oparenské údolí doplnit možnost z konstrukce pruty naopak odbírat (montážní táhla a pylon).

Vzhledem k informacím ze stavby se dalo očekávat, že poměrně velký vliv na deformace letmo betonované konzoly rozestavěného mostu měla teplota. V původním programu byla obsažena jen možnost zadat zatížení rovnoměrnou teplotou. Vzhledem ke tvaru a možnému efektu oslunění mostu byla doplněna možnost na prutech uvažovat zatížení nerovnoměrnou teplotou (lineárním teplotním spádem po výšce prvku).

Všechny tyto nové funkce bylo třeba po implementaci do softwaru ověřit. Verifikace byla provedena pomocí modelů v programu Scia Engineer.

Poslední provedenou novinkou byla implementace kompletního modelu dotvarování B3 [1]. Tento model obsahuje nejvíce vstupních parametrů a vzhledem k jeho komplexnosti se očekává největší shoda s realitou.

Po této přípravě již nyní bude možné přistoupit k postupnému modelování výstavby celého mostu a začít s analýzou měřených dat.

## Literatura

- [1] Bažant, Z. P. and Baweja, S.: Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures: Model B3. Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage-Structural Design Effects, 2000, 1–83.
- [2] Kolínský, V.: Analýza letmo betonovaných obloukových mostů se zaměřením na reologické vlastnosti betonu, Workshop doktorandů katedry betonových a zděných konstrukcí, Praha 24. 5. 2013, uveřejněno v digitální verzi sborníku.



Obr. 1 Výstavba oblouku mostu letmou betonáží