



METODA ZPŘESNĚNÍ VÝPOČTOVÉ ANALÝZY REOLOGICKÝCH JEVŮ MOSTŮ SE ZMĚNAMI STATICKÉHO SYSTÉMU

Zpracovali: Ing. Lukáš Kadlec, prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc., FEng., prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Metoda umožňuje získání úplného popisu skutečného prostorového chování betonových mostních konstrukcí při zahrnutí reologických jevů a změn statického systému. Jde zejména o účinky ochabnutí smykem, o smykové působení stěn komorových nosníků, vázané kroucení, deplanaci průřezů, distortní projevy, napjatost v singulárních oblastech, skutečné ztráty předpětí, atd. Metoda kombinuje běžné přístupy pro výpočet vývoje vnitřních sil a průhybů v důsledku změn statického systému během výstavby založené na nosníkové staticce a komerční programy, obvykle založené na MKP, pro výpočet prostorových deskostěnových konstrukcí.

Oblast použití

Využití nových poznatků získaných při řešení této výzkumné aktivity se předpokládá v oblasti koncepčního návrhu, statické analýzy a projektování předpjatých betonových mostů.

Metodika a postup řešení

V projektové praxi je v současnosti k dispozici programové vybavení pro výpočtové analýzy reologických jevů betonových mostů se změnami statického systému vycházející z předpokladů nosníkové statiky. Tyto programy jsou na velmi vysoké uživatelské úrovni, avšak – ze samotné povahy nosníkových předpokladů – mohou poskytnout pouze hodnoty integrálních vnitřních sil typu axiálních a posouvajících sil a ohybových momentů. Popis rozložení napětí po průřezu (včetně jevů typu ochabnutí smykem, rozložení napětí podél výšky stěn, roznosu soustředěných sil, namáhání singulárních oblastí, atd.) je mimo možnosti těchto přístupů.

S vývojem nároků na výstižnost statických analýz se však stále více projevuje potřeba vytvořit mnohem dokonalejší výpočetní nástroj pro spolehlivé stanovení skutečného působení prostorově působících mostních konstrukcí, samozřejmě v časovém vývoji, s respektováním změn statického

systému, s účinky dotvarování a smršťování, a to vše snadno dostupné pro běžnou projektovou praxi bez nutnosti vynakládat vysoké částky za specializované výpočetní programy. Pro tento účel je odvozen velmi jednoduchý postup využívající pouze dostupné a běžně používané programové vybavení.

Tento přístup k řešení je založen na principu obecné silové metody, kde podmíněčné vztahy, vyjadřující kompatibilitní a geometrické podmínky, mají tvar integrálních rovnic pro neznámé časově proměnné silové faktory.

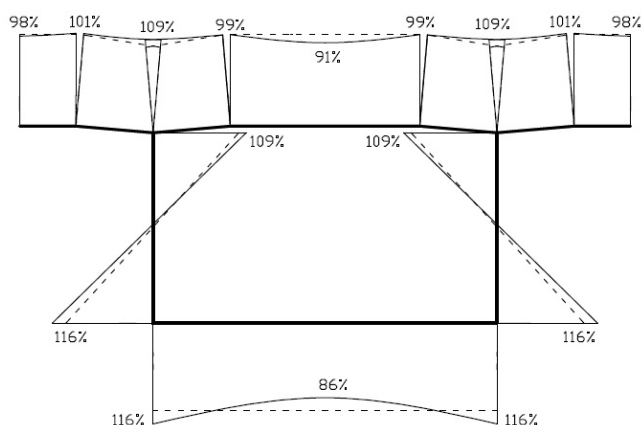
V souladu s principem silové metody se konstrukci ve skutečném tvarovém uspořádání, jako prostorový systém, odejme příslušný počet vnějších vazeb (charakteru reakcí) tak, aby vznikla 3D konstrukce, ale z hlediska podepření staticky určitá. Výpočet hodnot a časového vývoje staticky neurčitých veličin (např. pro most, jehož konečným statickým systémem je spojitý nosník, to mohou být velikosti reakcí ve vnitřních podporách), je proveden – ve smyslu dimenzionální redukce – běžnými rámovými výpočty s prutovými prvky. Takto se získá, pro předepsané časy $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k$, vývoj statických neurčitých veličin odpovídajících příslušné základní soustavě silové metody – ty jsou potom aplikovány jako zatížení 3D základní soustavy, společně s veškerým vnějším zatížením (tzn. včetně předpětí). Tím je získán úplný popis namáhání konstrukce ve sledovaném statickém systému odpovídajícímu postupu výstavby a nakonec finálnímu uspořádání mostní konstrukce.

Výsledky

Výsledky automaticky zahrnují složité jevy prostorového charakteru, které pro zjednodušený rámový přístup jsou zcela mimo jeho možnosti, a z principu je není schopen poskytnout. Jde např. o složité napěťové stavy v singulárních oblastech, o deplanaci průřezů, o distortní jevy, o projevy smykových deformací stěn a ochabnutí smykem v deskách komorových nosníků. Tak lze získat úplný popis namáhání konstrukce, skutečné rozložení napětí, pro různé složité kombinace zatěžovacích poloh, v jednotlivých fázích a v celé historii výstavby i

v konečném systému statického působení, s uvážením projevů dotvarování (popř. i smršťování) betonu.

Typickým problémem jehož řešení je použitím současných výpočetních prutových přístupů neproveditelné a které vytvořená metoda snadno umožňuje, je skutečné rozložení napětí v průřezu. Jako příklad (obr. 1) je dále ukázáno porovnání poměrných podélných normálových napětí zjištěných prutovým modelem za předpokladu zachování rovinnosti průřezu (100%, čárkovaná čára) a navrhovanou 3D metodou (plná čára) v průřezu vzdáleném 4,5 m od střední podpory spojitého nosníku.



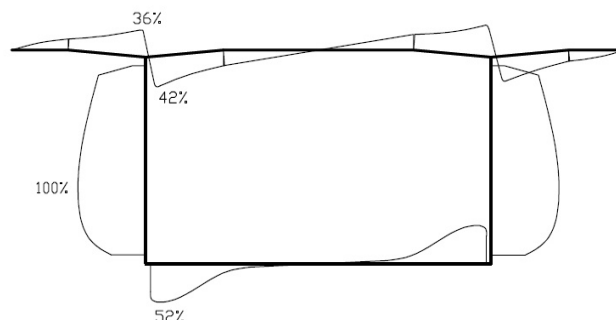
Obr. 1 Porovnání výsledků (v %) nosníkového výpočtu (zachování rovinnosti průřezu) a navrhované metody

Vliv smykového ochabnutí na rozložení podélných normálových napětí je nejvýraznější ve spodní desce průřezu – napětí na okrajích desky (v rozích průřezu) dosahuje 1,35 násobku hodnoty napětí ve středu šířky spodní desky, což je nepochybně velmi významné.

Pokud by předpětí bylo navrženo tak, aby v horní desce právě pokrylo napětí zjištěná elementárním výpočtem předpokládajícím rovinné rozložení normálových napětí po průřezu, nedosáhli bychom požadovanou plnou eliminaci tahových napětí v celém rozsahu horní desky průřezu – ve skutečnosti v horní desce (poblíž rohů průřezu) zůstávají oblasti s tahovým napětím dosahujícím významné hodnoty 9% celkových napětí od veskerého zatížení. Naopak uprostřed šířky desky

vzniká oproti výsledkům elementárnímu výpočtu napětí tlakové podobné intenzity.

Těž smyková napětí zjištěná 3D výpočtem vykazují oproti výsledkům elementárního výpočtu rozdíly jak v rozložení, tak i v hodnotách; dále je ukázán jejich skutečný charakter v průřezu 4,5 m vzdáleném od střední podpory (obr. 2).



Obr. 2 Průběh smykových napětí po průřezu vzdáleném 4.5 m od střední podpory

Záměrem bylo prezentovat metodu umožňující získání úplného popisu skutečného prostorového chování betonových mostních konstrukcí při zahrnutí reologických jevů a změn statického systému, a to za použití běžně dostupných výpočetních postupů a programů. Jde zejména o účinky ochabnutí smykem, o smykové působení stěn komorových nosníků, o deplanaci průřezů, napjatost v singulárních oblastech, atd.; zejména významné může být zjištění skutečných ztrát předpětí. Tyto faktory, které jsou elementárními metodami nekvantifikovatelné, mohou mít značný význam pro výstižný návrh mostních konstrukcí, zejména u konstrukcí složitějšího uspořádání, tenkostěnnějšího charakteru, a vyššího poměru šířky komory vzhledem k délce rozpětí.

Literatura

- [1] Kadlec, L., Křístek, V., Vitek, J.L.: Metoda zpřesnění výpočtové analýzy reologických jevů mostů se změnami statického systému, Sborník 20. Betonářské dny 2013, ČBS 2013