ANALÝZA SPÁR MEZI PREFABRIKOVANÝMI SEGMENTY ŠTÍHLÝCH MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ

ANALYSIS OF JOINTS BETWEEN PRECAST SEGMENTS OF SLENDER BRIDGE STRUCTURES

Marek Velešík^{*1}, Radim Nečas¹

^{*}velesik.m@fce.vutbr.cz

¹Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Česká republika

Abstrakt

U štíhlých mostních konstrukcí, jako jsou předpjaté pásy a visuté konstrukce, je mostovka často realizována prostřednictvím prefabrikovaných segmentů. Spáry mezi prefabrikovanými segmenty jsou však zdrojem diskontinuit a mohou být kritickým místem z hlediska životnosti těchto konstrukcí. Na základě toho byl navržen experiment, při kterém bylo detailněji vyšetřováno chování spár mezi prefabrikovanými segmenty v provozním stavu. Podrobnější zkoumání těchto konstrukčních detailů může zpřesnit přístupy k jejich modelování. Součástí práce je i studie vlivu zalomení střednice v softwaru Midas Civil.

Klíčová slova

Štíhlé mostní konstrukce, předpjaté pásy, prefabrikované segmenty, spáry, isolinie normálových napětí

Abstract

Slender bridge structures, such as stress ribbon bridges and suspension bridges, are frequently constructed by precast segments. However, the joints between the precast segments are a source of discontinuities and can be critical in terms of the service life of these structures. An experiment was therefore designed to investigate the behaviour of the joints between the precast segments in service state in more detail. A closer investigation of these structural details can refine approaches to numerical modelling of these structures. The thesis also includes a study of the effect of centreline kinking in Midas Civil software.

Key words

Slender structures, stress ribbon bridges, precast segments, joints, isolines of the normal stresses

1 ÚVOD

Potřeba experimentálního ověření spár mezi prefabrikovanými segmenty u štíhlých mostních konstrukcí vzešla z řady již realizovaných visutých konstrukcí i konstrukcí předpjatého pásu. Příkladem pak může být nedávno navržená konstrukce předpjatého pásu v Národním parku Tyresta ve Švédsku. U analýzy těchto prefabrikovaných konstrukcí prostřednictvím výpočetních softwarů vyvstává otázka, jak přistoupit k modelování styku mezi jednotlivými prefabrikáty. V tomto článku je dále podrobněji popsán experiment, jehož účelem je stanovit průběh trajektorie napětí v oblasti diskontinuity styku segmentů. Na základě poznatků bude možné definovat vhodný přístup k modelování studovaných konstrukčních detailů, jež mohou být stěžejní pro životnost prefabrikovaných štíhlých mostních konstrukcí. Bez jejich správného návrhu a následné analýzy nelze zaručit bezpečnost a předpokládaná životnost zmíněných konstrukcí.

2 POPIS KONSTRUKCE

Navržený předpjatý pás se nachází v národním parku Tyresta a překonává západní záliv jezera Albysjön, čímž vytváří přístupovou cestu do národního parku ze severu. Konstrukce lávky je tvořena monolitickými opěrami a mostovkou z prefabrikovaných segmentů s monolitickými náběhy do opěr - Obr. 1. Délka přemostění je 74,0 m, rozpětí hlavního pole s uvažováním teoretických podpěr je 75,0 m a celková délka mostu je 86,0 m. Průchozí

prostor lávky je 3,0 m. Maximální podélný sklon je u opěr 8,0 % a zmenšuje se směrem k nejnižšímu bodu v polovině rozpětí.

Konstrukce není tvořena samokotveným systémem a je tedy třeba zachytit značnou vodorovnou reakci. K tomu slouží skupina skalních kotví pod monolitickou opěrou, která přenáší horizontální složky od nosných a předpínacích lan do skalního podloží.

Obr. 1 Půdorys a podélný řez předpjatým pásem v NP Tyresta.

První dva krajní segmenty u opěr jsou betonovány in-situ s průběžnou podélnou betonářskou výztuží. Vnitřní segmenty jsou prefabrikované a jsou podírány nosnými kabely. Jejich šířka je 3,45 m a délka je 2,47 m - Obr. 2. Ozub v místě styku segmentů sloužící pro betonáž spár má výšku 30 mm a délku 25 mm. Celková šířka spáry mezi prefabrikovanými segmenty je 50 mm. V průřezu se kromě 2 nosných lan taktéž nachází finální předpínací lana, jež do mostovky vnášejí tlakovou rezervu.

Obr. 2 Příčný řez předpjatým pásem v NP Tyresta vedený a) prefabrikovaným segmentem, b) monolitickým náběhem.

3 trubky $\varnothing 20$ mm tvořící kabelové kanálky pro následné vedení předpětí. S ohledem na zaměření experimentu na sledování spáry je v podélném směru délka vzorku shodná s polovinou délky segmentu.

Vzorek je vyztužen betonářskou výztuží - Obr. 5, tak aby splňoval konstrukční zásady dle [4] a nedošlo k jeho porušení účinky štepných sil od předpětí. Předpětí je vnášeno do vzorku přes ocelovou kotevní desku prostřednictvím třech předpínacích lan Y1860S7-15.7 mm, tak aby ve spáře bylo vyvozeno tlakové napětí okolo 10,0 MPa. Pevnostní třída betonu segmentu je C30/37. Na spáru byl použit rychletuhnoucí beton C50 dle [5].

Obr. 5 Fotodokumentace výroby vzorků – armokoš, betonáž, zajištění separace předpětí ve spáře.

Průběh zkoušky a měřicí technika

Přibližně po 24 h po vybetonování spár mezi segmenty bylo pomocí napnutí předpínacího lana vyvozeno ve spáře tlakové napětí 1.0–2.0 MPa. Kontaktní napětí ve spáře zamezí vzniku trhlin mezi betonem segmentu a betonem spáry v důsledku smršťování. Po dosažení vyšších pevností betonu spáry (cca 1 týden) je vzorek předepnut na finální hodnoty, tak aby ve spáře bylo vyvozeno tlakové napětí mezi 10,0–12,0 MPa. Tím bude zkoumán stav odpovídající provoznímu stavu spáry na skutečné konstrukci.

Pro účely měření byly po výšce v místě spáry osazeny tři tenzometry typu LY41-50/120 - Obr. 6. Tyto lineární tenzometry jsou vhodné pro měření poměrných deformací v jednom směru. Mají nominální odpor 120 Ω , jejich měřicí mřížka je vyrobena z konstantanu a materiál nosiče je polyimid. K přichycení na očištěný a hladký povrch betonu bylo použito dvousložkové rychle vytvrzující lepidlo X60.

Obr. 6 Fotodokumentace zkoušení vzorků – zalití spáry, osazení měřičů a předpínání vzorku.

4 GLOBÁLNÍ ANALÝZA PŘEDPJATÉHO PÁSU

Jedním z hlavních cílů experimentu je stanovení trajektorie napětí a stanovit, zda při analýze v místě spáry zalomení střednice prutu či nikoliv - Obr. 7. V globálním modelu zalomení střednice způsobuje výraznou skokovou změnu napjatosti v průřezu a tím výrazně zesložituje návrh, kdy bývá zpravidla požadováno, aby ve spáře v charakteristické kombinaci nevznikalo tahové napětí, popřípadě byla ve spáře tlaková rezerva. Očekává se, že pro variantu 2 nebude zalomení střednice zdaleka tak výrazné jako předurčuje geometrie segmentu a spáry, ale autorem článku nebyla nalezena experimentální studie, která by to prokazovala.

Obr. 7 Změna střednice nosné konstrukce v podélném směru a) střednice prutu odpovídající variantě 1, b) střednice prutu odpovídající variantě 2 a 3.

Pro názornost byl vytvořen globální výpočtový model konstrukce předpjatého pásu, kde je srovnáván vliv zalomení střednice. Výpočtový model je vytvořen v prostředí softwaru Midas Civil pro předpjatý pás obdobného rozpětí a vzezření jako je konstrukce v národním parku Tyresta. Rozpětí konstrukce ve studii bylo uvažováno 70,0 m, vzezření 1,5 m a délka segmentů je prodloužena na 3,5 m zejména pro lepší čitelnost zobrazovaných výsledků v grafech. První model znázorňuje mostovku bez změny střednice o konstantní výšce 0,30 m. Druhý model reprezentuje konstantní mostovku výšky 0,30 m s výškou spáry 0,25 m. Střednice tedy v místě spáry skáče o 0,025 m směrem vzhůru. Třetí model znázorňuje mostovku výšky 0,20 m s žebry v místě spáry výšky 0,30 m a spáru s výškou 0,25 m. Střednice tedy v místě spáry opět skáče o 0,025 m, ale směrem dolů. Čtvrtý model znázorňuje chování modelu 3, ve kterém nedochází ke skoku střednice v místě žebra (ve spáře je skok uvažován). Model vychází z předpokladu, že by isolinie napětí procházely skrze žebro, aniž by zatekly do jeho spodní části.

Hlavní namáhání spár je zatížení od předpětí finálních lan. Druh namáhání se následně odvíjí od polohy finálních lan vzhledem k těžišti spáry. V grafu - Obr. 8 lze vidět, že při zalomení střednice dochází ke skokovým změnám ohybových momentů a jejich hodnoty dosahují 140 kNm při změně střednice pouze 0,025 m. To je způsobeno značnou předpínací silou, která zajišťuje tlakovou rezervu v průřezu.

V grafu - Obr. 9 je pak znázorněn průběh napětí na horních a dolních vláknech pro jednotlivé modely. Ve všech modelech je navrženo shodné finální předpětí. Lze vidět, že v modelu 1 máme tlakovou rezervu 4,0 MPa. U modelů 2 a 3, lze naopak vidět, že s takovýmto návrhem jen těsně nedochází ke vzniku tahových napětí už ve výchozím stavu. Takovouto názornou analýzou můžeme vidět vliv různých přístupů modelování a jaký vliv může mít odlišný přístup na bezpečnost a ekonomickou stránku návrhu.

Obr. 9 Studie vlivu zalomení střednice – průběh efektivních napětí a) horní vlákna, b) dolní vlákna.

5 ZÁVĚR

Visuté konstrukce a konstrukce předpjatých pásů jsou díky své vysoké technické a architektonické úrovni v současné době často upřednostňovány před konvenčními variantami přemostění. Ovšem díky své složitosti je třeba provést geometricky nelineární analýzu s velkými deformacemi. Z provedené studie je patrné, že modelování střednice a její případné zalomení výrazně ovlivňuje návrh z hlediska zajištění požadavků na tlakovou rezervu ve spáře. Při dosavadních návrzích bylo nutné brát zřetel na tvar spáry vůči tvaru segmentu a konzervativně vyšetřovat i vliv zalomení střednice na rozdělení napětí. Vhodným návrhem by mohlo být shodování těžiště spáry a těžiště segmentu tak, aby k zalomení střednice nedocházelo, což ale nemusí být vždy proveditelné. Navrhnutý experiment bude sloužit k ověření trajektorie napětí, která nám odhalí, zda při analýze zalomovat střednici v místě spár, či nikoliv.

Poděkování

Článek vznikl za finanční podpory projektů FAST-S-21-7409 a FAST-J-21-7299.

Použitá zdroje

- [1] STRÁSKÝ, Jiří. Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges. London: Thomas Telford, 2005. ISBN 07277-3282-X
- [2] NEČAS, R., Segmentové konstrukce se spřaženou deskou. Návrh, výroba a zkouška modelu, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí, Brno, 2006.
- [3] KOLÁČEK, J., Analýza půdorysně zakřivených zavěšených a visutých lávek. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Stavební fakulta, Ústav betonových a zděných konstrukcí, Brno, 2012
- [4] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 (731201) Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019
- [5] ČSN EN 13813 (722481) Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky, Praha, Český normalizační institut, 2003