



ESTIMATION OF MAXIMUM SERVICE LOADING OF ROADWAY MASONRY ARCH BRIDGES WITH EMBANKMENT

M. Drahorád*, M. Posch*, P. Řeřicha*

Summary: This work is focused on development and verification of a "simple" and credible method for evaluation of maximum service loading of masonry arch bridges with embankment. Method is based on a simple software, which is usually used to design structures.

1. Úvod

Zděné klenbové mosty jsou jednou z nejstarších používaných forem trvalých mostních konstrukcí na světě. Vzhledem k relativně vysoké jednoduchosti provádění a dostupnosti základního materiálu byly tyto konstrukce prováděny ve velkém počtu až do konce první poloviny minulého století. Na komunikační síti v ČR je tak odhadem 10 000 zděných klenbových mostních objektů v různém stavebním stavu.

Vzhledem k takto vysokému počtu zděných klenbových mostů na silniční síti je zřejmý význam jejich používání a hospodaření s nimi. V první řadě je při užívání důležité maximální provozní zatížení konstrukce, resp. její zatížitelnost, která rozhoduje o použitelnosti příslušné konstrukce při současném provozu.

Tento příspěvek se zabývá vyvinutím a ověřením jednoduché a v praxi snadno použitelné metody výpočtu maximálního provozního zatížení zděných klenbových mostů. Předpoklady, na kterých je práce založena vycházejí z ustanovení platných normových předpisů soustavy ČSN, resp. ČSN EN. Tyto předpoklady jsou dále rozvinuty a upřesněny.

Pro určení vnitřních sil na konstrukci se používá jednoduchého a v praxi rozšířeného výpočetního softwaru IDA NEXIS 32 (v.3.65).

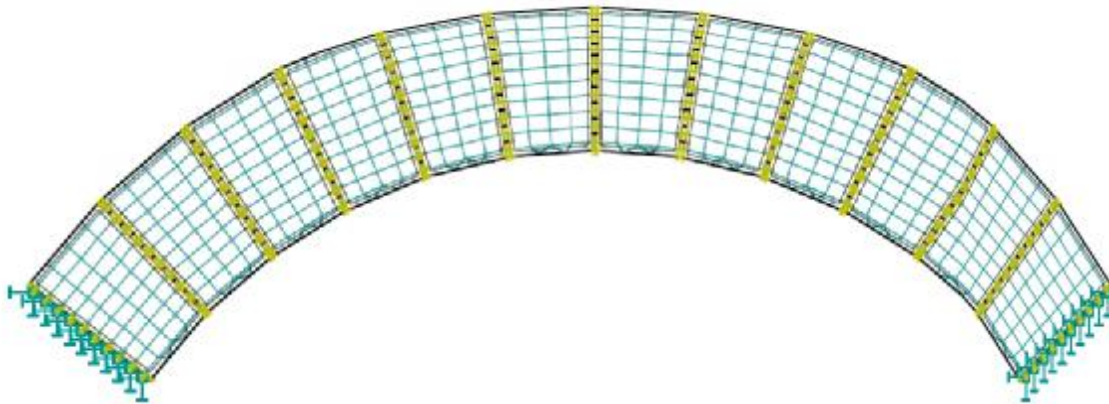
Příspěvek se zabývá určením maximálního provozního zatížení pro klenbové mosty s rozpětím max.10m, protože větší konstrukce jsou již značně neobvyklé a ve zkoumaném souboru mostů se prakticky nevyskytují.

2. Geometrie modelu

Geometrie modelu je uvažována podle skutečných rozměrů konstrukce. Maximální rozpětí analyzované konstrukce musí být pouze menší nebo rovno 10 metrům, což představuje cca 95% zděných klenbových mostních konstrukcí v ČR. Tento předpoklad výpočtu vychází ze zatížení konstrukce (viz. Odstavec 3).

Model klenby je sestaven z prutových a stěnových prvků v programovém balíku IDA NEXIS 32. Stěnovými prvky jsou modelovány jednotlivé kameny klenby, resp. jejich skupiny, prutovými prvky jsou potom modelovány maltové spoje. Geometrie modelu plně respektuje skutečný tvar podélného řezu konstrukce.

* Prof. Ing. Petr Řeřicha, DrSc., Ing. Michal Drahorád, Ing. Marek Posch : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební; Thákuřova 7; 166 29 Praha 6; tel.: +420 224 354 472, e-mail: michal.drahorad@fsv.cvut.cz



Obr. 1 – Geometrie výpočetního modelu konstrukce

Nadnásyp konstrukce není v modelu uvažován, protože jeho působení (statické přitížení klenby) je nahrazeno silovým zatížením. Funkce nadnásypu coby „médiu“ roznášejícího zatížení z horního povrchu vozovky do horního líce klenbové konstrukce je zohledněna roznosem zatížení – viz. odstavec 5.

3. Materiály

Materiály modelu jsou uvažovány ve shodě s možnostmi použitého výpočetního nástroje (softwaru). V modelu jsou použity standardní materiály používané v projekční praxi, tedy materiály lineárně pružné, případně s omezením elastického chování v tahu.

Při definici materiálových charakteristik je uvažována skutečnost, že maximální provozní zatížení je takové, které nezpůsobuje v konstrukci kumulaci poškození žádné nosné části konstrukce. To znamená, že může být na konstrukci aplikováno „nekonečněkrát“ aniž by došlo k jejímu poškození vlivem tohoto zatížení.

V případě kamenů klenby je použit jako materiál použit beton (kvality C30/37), který vlastnostmi odpovídá běžně používaným druhům kamene. Jedná se o materiál lineárně pružný se symetrickým chováním v tlaku i v tahu. Vzhledem k tomu, že konstrukce je rozdělena soustavou spár mezi jednotlivými kamennými bloky (klenáky), kde dochází k „oslabení“ průřezu tak i ke vzniku trhlin, se ve výpočtu předpokládá, že v tělese klenáku nedojde k tahovému porušení konstrukce. Pokud by k tomuto porušení přeci jen došlo, zahrnuje by se toto porušení do výpočtu definicí nové spáry mezi bloky. S ohledem na uvedené skutečnosti je tedy použití lineárně pružného materiálu opodstatněné a možné.

V případě malty je definován materiál s lineárně pružným chováním v tlaku a vyloučeným tahovým namáháním. Takovýto materiál odpovídá svými vlastnostmi chování malty v konstrukci při zatížení běžným provozem, viz. výše.

4. Zatížení

Určení maximálního účinku a polohy zatížení je v případě mostních konstrukcí často nejsložitější a nejpracnější úloha. Vzhledem ke složitosti vlastního výpočtu maximálního provozního zatížení, resp. únosnosti, zděných klenbových konstrukcí je v modelu uvažováno

pouze jediné seskupení zatížení vozidla (Seskupení SI – viz. ČSN 73 6203) v nejnepříznivější poloze.

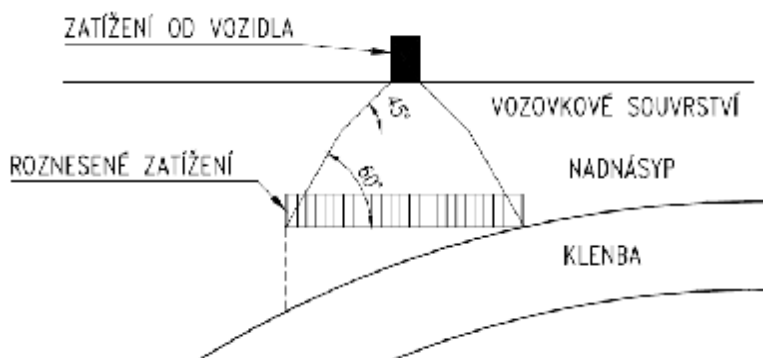
Zatížení modelů je uvažováno seskupením zatížení I (podle ČSN 73 6203). Toto seskupení je dále idealizováno jednou silou, která představuje zadní nápravu vozidla. Nápravová síla je pak umístěna do $\frac{1}{4}$ rozpětí konstrukce, kde se předpokládá maximální účinek. V případě běžných kleneb, tj. pro rozpětí do cca 10m, platí tento předpoklad beze zbytku.

Dále je předpokládán roznos zatížení prostředím náspu (dle odstavce 5). Samotné roznesené zatížení je potom aplikováno jako rovnoměrné spojité zatížení na horní líc zděné klenbové konstrukce. Při roznášení zatížení se navíc uvažuje maximální roznos zatížení na $\frac{1}{2}$ délky klenby tak, aby nebyla klenba přitížena za svislou osou symetrie na stranu, kde zatížení není. Tato podmínka vychází z polohy výslednice rovnoměrného zatížení, která musí souhlasit s polohou výslednice síly působící na horní povrchu vozovky.

5. Roznášení zatížení náspem

Roznášení nahodilého zatížení v náspu je jednou z rozhodujících vlastností modelu, která určuje zatížení vlastního nosného prvku celého mostu – klenby. Roznos zatížení tak zásadně ovlivňuje distribuci zatížení na konstrukci a tím i únosnost klenby jako takové.

Výpočetní metoda uvažuje roznos zatížení v souladu s normovými předpisy (ČSN 73 6203 – Zatížení mostů) pod úhlem 45° v konstrukci vozovky (asfalto-betonový kryt) a 30° v materiálu zásypu. Tato metoda umožňuje převedení tělesa náspu na pasivní prvek konstrukce a tím odpadne jeho složité modelování. Roznášení se uvažuje do horního líce zdiva klenby.



Obr. 2 – Roznášení zatížení tělesem nadnásypu

6. Maximální provozní zatížení klenbové konstrukce

Maximální provozní zatížení zděné klenbové konstrukce je omezeno podmínkami použitelnosti konstrukce, které specifikují příslušné normové předpisy. Maximální provozní zatížení se stanoví pro klenbový pas šířky 1m.

V modelu byly, vzhledem k výpočtu mezního stavu použitelnosti, definovány následující podmínky pro stanovení maximálního provozního zatížení :

- maximální napětí v maltě nesmí překročit hodnotu maximálního „dovoleného“ namáhání materiálu (v praktických posudcích udává toto napětí diagnostický průzkum a zkoušky odebraných vzorků materiálu)
- maximální šířka trhliny v maltě nesmí překročit 2/3 výšky průřezu. Toto omezení bylo stanoveno rozbořem statického působení konstrukce při experimentálních zkouškách realizovaných na FSv a má za cíl vyloučit porušení konstrukce vznikem plastických kloubů.
- maximální hlavní napětí v tahu v materiálu kamenů klenby nesmí překročit maximální „dovolenou“ hodnotu (pro zdivo je tato hodnota stanovena v TP 144 , a to hodnotou 0,3 MPa).

7. Výpočet zatížitelnosti

Ze získaných hodnot maximálního provozního zatížení konstrukce se určí zatížitelnost, a to s ohledem na možnosti roznášení zatížení v příčném směru. V určení zatížitelnosti hraje zásadní roli rozmístění kol jednotlivých náprav zatěžovacího vozidla (seskupení zatížení) ve směru příčném. Posouzením maximálních roznosů zatížení v podélném a příčném směru mostu se určí maximální plocha zatížení aplikovatelná na konstrukci a z ní potom vlastní hodnota zatížitelnosti konstrukce.

Vzhledem k závislosti zatížitelnosti na konkrétním uspořádání mostní konstrukce (šířka vozovky a chodníků, vyložení chodníkových konzol, atd.), nebyla hodnota zatížitelnosti vyšetřována. Pro porovnání výsledků byla stanovena pouze hodnota maximální kolové síly připadající na klenbový pás šířky 1m. Tato hodnota byla porovnána s výsledky nelineárního řešení dané problematiky, které bylo provedeno na katedře mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze.

7. Výsledky

Vypočtené hodnoty maximálních zatížení na jedno kolo zadní nápravy seskupení I dle ČSN 73 6203 jsou uvedeny v tabulce 1. V tabulce 2 jsou potom výsledky získané popsáním modelem porovnány s výsledky nelineární analýzy identických konstrukcí pomocí programového balíku ADINA.

Tab.1 – Maximální provozní zatížení zděných klenbových konstrukcí (geometrie je popsána jako rozpětí – vzepětí - tloušťka klenby) a jeho porovnání s lineárním výpočtem

Klenba	Nadnásyp [mm]	Lineární			Nelineární			Porovnání
		Max.zatížení [kN/m]	Délka [m]	Max. Síla na 1bm	Max.zatížení [kN/m]	Délka [m]	Max. Síla na 1bm	
2-0,5-0,15	125	4.858	0.626	3.041	46.634	0.626	29.193	9.60
	185	5.228	0.740	3.868	47.795	0.740	35.368	9.14
	250	5.837	0.858	5.008	56.033	0.858	48.076	9.60

2-0,5-0,3	250	52.804	0.714	37.702	117.677	0.714	84.022	2.23
	375	52.020	1.000	52.020	204.926	1.000	204.926	3.94
	500	60.229	1.000	60.229	241.829	1.000	241.829	4.02
4-1,0-0,3	250	23.062	0.852	19.649	43.873	0.852	37.380	1.90
	375	24.116	1.058	25.514	45.898	1.058	48.560	1.90
	500	20.425	1.268	25.899	45.957	1.268	58.273	2.25
4-1,0-0,5	250	57.138	0.864	49.367	135.153	0.864	116.772	2.37
	375	59.701	1.068	63.760	139.301	1.068	148.774	2.33
	500	63.232	1.278	80.810	156.121	1.278	199.523	2.47
4-1.5-0.3	250	0.000	0.882	0.000	59.431	0.882	52.418	-
	375	0.000	1.080	0.000	57.808	1.080	62.432	-
	500	0.000	1.284	0.000	62.712	1.284	80.523	-
8-2.0-0.6	500	41.881	1.546	64.748	139.604	1.546	215.827	3.33
	750	47.136	1.950	91.915	139.051	1.950	271.149	2.95
	1000	51.342	2.366	121.475	135.323	2.366	320.174	2.64

Tab.2 – Porovnání maximálního provozního zatížení s nelineárním řešením programovým balíkem ADINA

Klenba	Nadnásyp [mm]	ADINA [kN]	IDA NEXIS [kN]	Poměr
2-0,5-0,15	125	300.0	29.2	10.28
	185	310.0	35.4	8.76
	250	320.0	48.1	6.66
2-0,5-0,3	250	500.0	84.0	5.95
	375	510.0	204.9	2.49
	500	600.0	241.8	2.48
4-1,0-0,3	250	400.0	37.4	10.70
	375	410.0	48.6	8.44
	500	430.0	58.3	7.38
4-1,0-0,5	250	450.0	116.8	3.85
	375	550.0	148.8	3.70
	500	550.0	199.5	2.76
4-1.5-0.3	250	250.0	52.4	4.77
	375	280.0	62.4	4.48
	500	350.0	80.5	4.35
8-2.0-0.6	500	250.0	215.8	1.16
	750	300.0	271.1	1.11
	1000	400.0	320.2	1.25

8. Porovnání výsledků

Porovnáním výsledků je patrné, že model „ADINA“ dává v případech malých rozpětí výsledky řádově vyšší. Toto je způsobeno zejména uvažovaným způsobem roznosu zatížení. V případě modelu „ADINA“ je totiž roznášení zatížení řízeno zejména tuhostí vozovky a její interakcí s materiálem zásypu. Roznos zatížení tak dosahuje větších hodnot než v případě zjednodušeného modelu a zároveň není rovnoměrný, nýbrž proměnný.

Roznesené zatížení v modelu „ADINA“ pak může působit i na „druhé“ straně klenby a příznivě tak ovlivnit rozložení vnitřních sil. Se vzrůstajícím rozpětím potom tento jev pomalu mizí, až u klenb o rozpětí 8m vymizí zcela. Dalším faktorem přispívajícím k větší únosnosti modelu „ADINA“ je částečná plastifikace průřezu a z toho plynoucí přerozdělení napětí a vnitřních sil v konstrukci.

10. Poděkování

Z výsledků v Tab.1 a Tab.2 je patrné, že použitím výpočtu podle uvedené metodiky je možné dosáhnout značně vyšších zatížitelností konstrukce než použitím standardních postupů používaných v praxi. Na druhou stranu je metodika a sestavený model natolik jednoduchý, že umožňuje výpočet pomocí běžných, v praxi používaných výpočetních programů.

10. Poděkování

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 1F55A/005/120

Projekt byl realizován za podpory interního grantu ČVUT číslo CTU0601711.

11. Literatura

Kukaň, V. – Drahorád, M. : Statistické vyhodnocení stávajících zděných klenbových mostů na silnicích I., II. a III. třídy, *Sborník mezinárodní konference Sanace 2006*, SSBK 2006

Drahorád M. - Posch M. - Stanovení maximálního provozního zatížení zděných klenbových mostů pozemních komunikací s přesypávkou, *Sborník Mezinárodní Konference Modelování v Mechanice 2007*, VŠB TU Ostrava, 2007

Posch M. - Drahorád M. - Metoda určení mezní zatížitelnosti zděných klenbových mostů, *Sborník Mezinárodní Konference Modelování v Mechanice 2007*, VŠB TU Ostrava, 2007

Dvorský, T.: Zděné klenbové přesypané mosty, *[práce ke státní doktorské zkoušce]*, Praha, ČVUT, Stavební fakulta 2005.

Kukaň, V. : Zatížitelnost mostů pozemních komunikací, *Technické podmínky - TP 149*, Min. dopravy ČR, OPK čj.24179/01-123, Zpráva ČVUT Stavební fakulta, Praha 2001

Drahorád, M. – Kukaň, V.: Stanovení maximálního provozního zatížení zděných klenbových mostů pozemních komunikací s přesypávkou, *Závěrečná zpráva grantu CTU0601711*, ČVUT v Praze, únor 2007

Stavební fakulta ČVUT Praha, Pontex, s.r.o. Praha : TP144 – Doporučení pro navrhování nových a posuzování stávajících betonových mostů PK, *Ministerstvo dopravy a spojů ČR*, Odbor pozemních komunikací, Praha, říjen 2000