

PEVNOSTNÁ KONTROLA MÝTNEHO MOSTA

doc. Ing. Oskar Ostertag, PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky
Technická univerzita, Strojnícka fakulta, Letná 9,
042 00 Košice
oskar.ostertag@tuke.sk

Ing. Ján Burák, PhD.

Katedra konštruovania, dopravy a logistiky
Technická univerzita, Strojnícka fakulta, Letná 9,
042 00 Košice
janburak@szm.sk

Abstract

In this contribution is presented strength analysis of tollgate. Strength analysis was realized by experimental and numerical methods. Extreme stress values on the tollgate beam were determinate using photoelasticity. Places of maximal stress values were determined by the Finite Element Method (FEM) on the model of real tollgate construction. For suitability of using methods was experimental and numerical stress values compared. In conclusion is recommendation for practice.

Key words: photoelastic method, FEM, tollgate

ÚVOD

Mýtny systém na Slovensku funguje na báze satelitnej technológie a jeho súčasťou je aj kontrola prevádzky motorových vozidiel. Kontrola sa vykonáva bezkontaktnými technickými prostriedkami. Mýtné brány súčasne slúžia aj na poskytovanie informácií prostredníctvom informačných tabúl. Teda mýtna brána musí spĺňať určité podmienky konštrukčného riešenia, ktorých neodmysliteľnou súčasťou sú informácie o maximálnom napätí v materiáli, resp. o jeho deformáciách. Tieto parametre sme sa rozhodli určiť fotoelasticimetrickou metódou. Je to metóda, ktorá vizualizáciou napätí umožňuje okamžite určiť miesto koncentrácie napätí. Za týmto účelom bol vytvorený model mýtnej brány z materiálu, ktorý je po zaťažení schopný dočasného dvojlomu svetla. Model mýtnej brány bol vytvorený z materiálu PS-1A. Jeho rozmery boli na základe modelovej podobnosti zmenšené [1]. Meranie sa vykonalo fotoelasticimetrom VISHAY model 030.

Charakteristika materiálu a zaťaženie reálnej konštrukcie a modelu

Pri vyšetrovaní konštrukcií pomocou modelových metód sa stretávame s problémom transformácie výsledkov získaných na modeli skutočnej konštrukcie. Pomery jednotlivých veličín vyšetrovaného objektu i jeho modelu musia byť konštantné a nezávislé od miesta a času. Fyzikálna podobnosť predpokladá aj geometrickú podobnosť. Rovnaké fyzikálne procesy predstavujú vzájomný

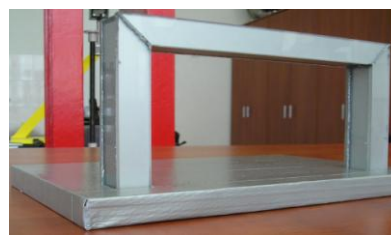
vzťah modelu a konštrukcie vyjadrené rovnakými matematickými rovnicami.

Modelovanie statických problémov si vyžaduje zachovávať geometrickú i fyzikálnu podobnosť. Na zhotovenie modelu sa používa materiál, ktorý sa od skutočnej konštrukcie odlišuje rozdielnymi charakteristikami a rozdielnou štruktúrou materiálu [4]. Charakteristiky materiálu skutočnej konštrukcie a modelu, ako aj zaťaženie sú uvedené v tab. 1. Model vyrobený z materiálu PS-1A je zobrazený na obr. 1, jeho skutočné rozmery sú na obr. 2. Oproti reálnej konštrukcii boli na základe modelovej podobnosti jeho rozmery zmenšené nasledovne.

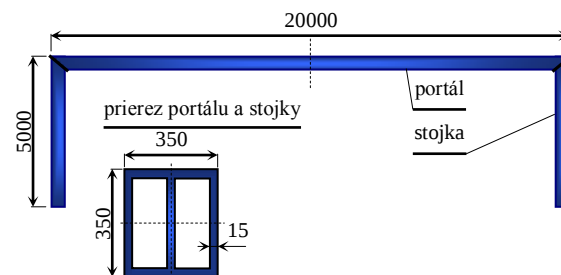
- Pôvodná výška 5000 mm je v modeli zmenšená na 100 mm, teda v mierke 1:50.
- Pôvodná šírka 20000 mm je v modeli zmenšená 200 mm, teda v mierke 1:100.
- Pôvodná hrúbka steny 15 mm je v modeli zmenšená na 3 mm, teda v mierke 1:100.
- Pôvodný prierez portálu 350 mm×350 mm je v modeli zmenšený na 17,5 mm×17,5 mm, teda v mierke 1:20.
- Pôvodné zaťaženie portálu 38 kN je v modeli zmenšené na 0,076 kN, teda v mierke 1:50.

Tab. 1 Charakteristika materiálu a zaťaženie reálnej konštrukcie a modelu

Materiál (reálny)	Youngov modul $E = 2 \cdot 10^5$ [MPa]	Poissonovo číslo $\mu = 0,3$	Dovolené napätie $\sigma_D = 7,1 \cdot 10^8$ [Pa]	Zaťaženie $F = 38$ [kN]
Materiál (model)	Youngov modul $E = 2,5 \cdot 10^3$ [MPa]	Poissonovo číslo $\mu = 0,38$	Pruhová konštanta $f_e = 0,755 \cdot 10^{-3}$	Zaťaženie $F = 0,076$ [kN]



Obr. 1 Model mýtneho mosta

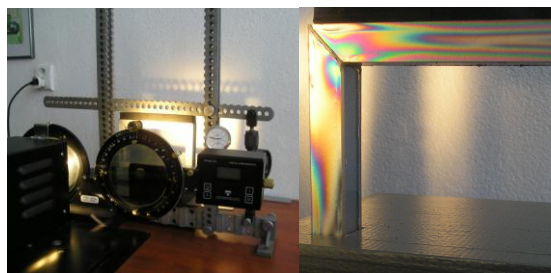


Obr. 2 Reálne rozmery mýtneho mosta

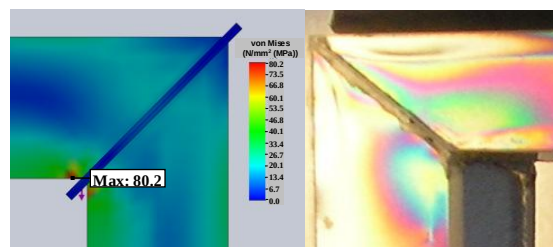
Experiment a porovnanie výsledkov

Spojitém zaťažením sme simulovali hmotnosť konštrukcie. Toto zaťaženie pôsobilo v rovine modelu. V tomto prípade išlo o rovinnú úlohu. Ďalším prípadom bolo zaťaženie od tlaku vetra maximálnej rýchlosti $v = 140$ km/hod na informačné panely s obsahom plochy $A = 6$ m². Toto zaťaženie pôsobilo kolmo na rovinu konštrukcie a bolo simulované spojitým zaťažením. V tomto prípade išlo o priestorové zaťaženie konštrukcie jednak od tlaku prúdiaceho média a jednak od vlastnej tiaže. Model vyrobený z materiálu, ktorý je po zaťažení schopný dočasného dvojlomu svetla, sme zaťažovali v stende zníženými silami oproti skutočným silám podľa zvolenej mierky. Veľkosť týchto síl sme odčítavali na indikátore síl. Na modeli sme simulovali zaťaženie vlastnou tiažou portálu. V druhom kroku boli pridané priečne sily, reprezentujúce tlak prúdiaceho média. Účinok týchto síl bol oproti vlastnej tiaži portálu zanedbateľný a na modeli sa prejavil takmer nebadateľnými zmenami. Z toho dôvodu sa prioritným stalo zaťaženie iba vlastnou tiažou.

Dočasný dvojlom svetla sa na zaťaženom modeli prejavil izochromatickými pruhmi, z ktorých sme štandardným postupom určili rozdiel hlavných napätí a z týchto údajov sme zvolenou metódou separovali veľkosť hlavných napätí σ_1 , σ_2 [5]. Miesto najväčších povrchových napätí sme identifikovali v prechodovej oblasti portálu a stojky. Namerané a separované hodnoty boli relatívne blízke hodnotám, určených numerickou cestou prostredníctvom FEM. Rozdiel predstavoval rozsah do 5%. Táto pomerne dobrá zhoda hovorí o správnej voľbe zvolených metód určenia napätosti konštrukcie. Na obr. 3 môžeme vidieť model pripravený k experimentu a farebné spektrum izochromatických pruhov, zobrazených na polovici symetrickej mýtnej brány. Detail kritického uzla je možné pozorovať na obr. 4, kde je súčasne k tomu priložený aj obrázok s priebehom napätí podľa von Misesa, určených pomocou FEM. V tab. 2 sú uvedené maximálne napätia reálnej konštrukcie a modelu. Napätia podľa vo Misesa reálnej konštrukcie boli určené pomocou FEM [2]. Napätia určené na modeli fotoelasticimetrickou cestou boli štandardným postupom prepočítané na reálnu konštrukciu.



Obr. 3 Model pripravený na experiment a izochromatické pruhy zaťaženého modelu



Obr. 4 Kritické miesto s napätiami podľa von Misesa reálnej konštrukcie a izochromatické pruhy modelu

Tab. 1 Maximálne napätia modelu a reálnej konštrukcie

Metóda určenia napätia	Napätie [MPa]	
	σ_1	σ_2
Meranie na modeli	-0,3	-13,3
Prepočítané na reálnu konštrukciu	-1,8	-83,2
Determinované numerickou metódou	-1,3	-84,5

Zhodnotenie

Veľkosť zisteného maximálneho napätia podľa von Misesa (80.2 MPa, vid'. obr. 4) poukazuje na ten fakt, že konštrukcia je značne predimenzovaná. Je to predovšetkým z dôvodu, že k svojmu účelu má slúžiť pomerne dlhé obdobie, a to do 30 rokov, v priebehu ktorého sa už môžu značne prejavíť korozívne účinky prostredia. Dôsledkom je zmenšenie priečnej prierezovej plochy konštrukcie s následným znížením jej pevnosti. Dôležitými aspektmi pri konštruovaní mýtnej brány nie sú len minimálna hmotnosť a dosiahnuté napätia, ale taktiež je tu podstatná aj použitá technológia celého výrobného procesu [3].

Literatúra

- [1] Bednár, J., a kol.: Experimentální pružnost. SNTL Praha 1970, 269 s.
- [2] Burák, J., Ostertag, O.: Základy projektovania konštrukčných prvkov pomocou metódy konečných prvkov. Elfa Košice 2010, 324 s., ISBN 978-80-8086-137-7.
- [3] Kováč, J., Ostertagová, E.: Využívanie morfológických modelov v projektovaní výrobných procesov a systémov. Transfer inovácií 11/2008, s. 234 – 237, SJF TU Košice 2008, ISSN 1337-7094.
- [4] Trebuňa, F., Šimčák, F.: Príručka experimentálnej mechaniky. TypoPress Košice 2007, s. 1526, ISBN 970-80-8073-816-7.
- [5] Trebuňa, F.: Princípy, postupy, prístroje v metóde PhotoStress. TypoPress Košice 2006, s. 360, ISBN 80-8073-670-7.

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektov VEGA 1/0265/10 podporovaného GA SR a IMTS:26220120060 podporovaného operačným programom ERDF.