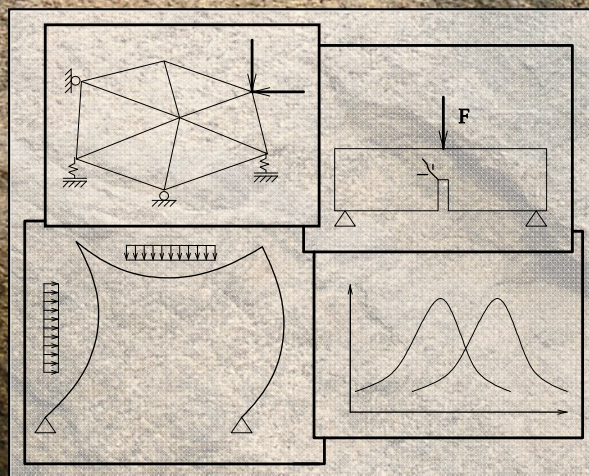


MEZINÁRODNÍ KONFERENCE  
MODELOVÁNÍ V MECHANICE



SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

18. – 19. KVĚTNA 2010

---

Název publikace: Sborník příspěvků vědecké konference  
Modelování v mechanice 2010  
Vydala: VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky  
Autor: Kolektiv autorů  
Datum vydání: květen 2010

Plné znění příspěvků obsahuje CD-ROM (ISBN 978-80-248-2234-1)

Recenzenti příspěvků publikovaných ve sborníku konference:

Brožovský Jiří  
Janas Petr  
Kološ Ivan  
Konečný Petr  
Krejsa Martin  
Michalcová Vladimíra

---

## OBSAH

<b>Konečný Petr, Ghosh Pratantu, Tikalsky Paul</b>	
Vliv ochrany výztuže na riziko vzniku koroze ŽB mostovky vystavené působení chloridů . . . . .	1
<b>Krejsa Martin, Tomica Vladimír</b>	
Pravděpodobnostní přístup k šíření povrchových únavových trhlin v návaznosti na vytvoření plochy oslabení . . . . .	3
<b>Sýkora Miroslav, Holický Milan</b>	
Globální součinitele odolnosti pro železobetonové konstrukce . . . . .	5
<b>Sýkora Miroslav, Holický Milan</b>	
Zásady hodnocení robustnosti . . . . .	7
<b>Veselý Václav, Grochalová Eva</b>	
Numerická studie vlivu okrajových podmínek na průběh zkoušky WST pro určování lomových parametrů cementových kompozitů . . . . .	9
<b>Malík Josef</b>	
Vliv hlavního kabelu na stabilitu visutých mostů . . . . .	11
<b>Novotná Eva, Šejnoha Jiří</b>	
Zlepšení kvality malých datových souborů na základě doplňujících informací . . . . .	13
<b>Blaheta Radim, Kohut Roman, Starý Jiří</b>	
Analýza geokompozitních materiálů . . . . .	15
<b>Martinická Ivana, Melcer Jozef</b>	
Vzájomné porovnanie 2D a 3D výpočtových modelov vozidiel . . . . .	17
<b>Moravčík Milan</b>	
Experimentálne overovanie dynamického chovania trate pri prejazde vlakov . . . . .	19
<b>Králik Juraj, Hukel Dušan</b>	
Nelineárna analýza interakcie oceľovej výstelky a železobetónovej steny šachty lokalizácie havárie za extrémneho pôsobenia tlaku a teploty . . . . .	21
<b>Teplý Břetislav</b>	
Stanovení povrchové koncentrace chloridů kombinací inverzní analýzy 1D modelu a laboratorních zkoušek . . . . .	23
<b>Kormaníková Eva</b>	
Optimization of laminate plate subjected to maximum strain criterion . . . . .	25
<b>Kotrasová Kamila</b>	
The hydrodynamic effects on container developed during an earthquake . . . . .	27
<b>Pohl Karel</b>	
Výpočet odezvy konstrukcí na účinky silného seizmického zatížení . . . . .	29
<b>Králik Juraj, Králik Juraj ml.</b>	
Deterministic and Probabilistic Analysis of the Seismic Resistance of the Steel Bridge Structure . . . . .	31
<b>Králik Juraj, Rozsár Peter</b>	
Deterministická a pravdepodobnostná analýza odolnosti železobetónového rámu s výplňovým murivom vystaveného explózií . . . . .	33
<b>Baláž Ivan, Koleková Yvonna</b>	
Vzperná odolnosť pri strate stability ohybom prúťových konštrukcií s jednotnou globálnou a lokálnou začiatočnou imperfekciou . . . . .	35

<b>Řoutil Ladislav, Eliáš Jan, Veselý Václav, Keršner Zbyněk, Tihlařík Petr, Knězek Josef</b> Vliv orientace vláken cementového kompozitu v důsledku extruze na hodnoty lomově-mechanických parametrů . . . . .	37
<b>Bedáň Jan, Jansa Radim, Štafa Michal, Šimonová Hana, Frantík Petr, Keršner Zbyněk</b> Vyhodnocení lomových testů vzorků z extrudovaného cementového kompozitu s ocelovými vlákny s využitím programu SimBeFraM . . . . .	39
<b>Ficker Tomáš</b> Modely lomových povrchů cementových materiálů . . . . .	41
<b>Seitl Stanislav, Klusák Jan, Řoutil Ladislav</b> Numerická studie vlivu šířky drážky pro aplikaci zatížení na chování iniciační trhliny v tělese pro WST . . . . .	43
<b>Nagyová Monika, Ravinger Ján</b> Prút namáhaný tlakom – Experiment . . . . .	45
<b>Plášek Jan, Kytýr Jiří, Gratza Roman</b> Studie statického chování korugovaného potrubí . . . . .	47
<b>Rokoš Ondřej, Máca Jiří</b> Modelování konstrukcí tribun . . . . .	49
<b>Zídek Rostislav, Brdečko Luděk</b> Alternativní řešení deformací železobetonových prutových konstrukcí . . . . .	51
<b>Psočný Martin, Ravinger Ján</b> Plochý oblúk ako stropný panel . . . . .	53
<b>Pail Tomáš, Štafa Michal, Frantík Petr</b> Bazény přitažlivosti newtonovy metody při statickém řešení vzpěru prutu . . . . .	55
<b>Frantík Petr</b> Dynamická simulace ztráty stability bezstykové koleje . . . . .	57
<b>Randýsková Lenka, Janas Petr</b> Numerické geometricky nelineární řešení soustavy kruhových oblouků pomocí obecné deformační metody . . . . .	59
<b>Michalcová Vladimíra, Blejchař Tomáš</b> Simulace proudění v mezní vrstvě atmosféry v okolí uhelné skládky . . . . .	61
<b>Lausová Lenka</b> Únosnost centricky tlačенých sloupů za požáru . . . . .	63
<b>Mikolášek David</b> Modelování části mostovky . . . . .	65
<b>Kmet' Stanislav, Tomko Michal, Demjan Ivo</b> Experimentálna diagnostika, modelovanie a statické posúdenie aktuálneho stavu nosnej ocelovej konštrukcie poškodenej účinkami požiaru . . . . .	67
<b>Podešva Jiří</b> Příspěvek ke zjišťování vnitřních statických účinků nosníku . . . . .	69
<b>Markopoulos Alexandros, Janas Petr, Podešva Jiří</b> Náhradní ohybová tuhost profilu P-28 se zahrnutím osové síly . . . . .	71
<b>Sucharda Oldřich</b> Výpočet a analýza stavebních konstrukcí metodou konečných prvků . . . . .	73
<b>Sucharda Oldřich, Valihrač Jakub</b> Modelování rotační skořepiny konečnými prvky pro pravděpodobnostní výpočet . . . . .	75

# VLIV OCHRANY VÝZTUŽE NA RIZIKO VZNIKU KOROZE ŽB MOSTOVKY VYSTAVENÉ PŮSOBENÍ CHLORIDŮ

## THE EFFECT OF THE REINFORCEMENT PROTECTION ON THE ONSET OF CORROSION OF THE RC BRIDGE DECK EXPOSED TO CHLORIDES

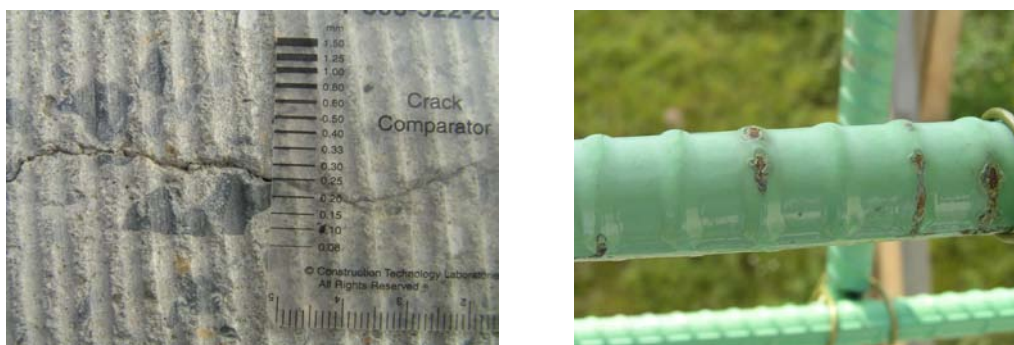
Petr Konečný<sup>1</sup>, Pratenu Ghosh<sup>2</sup>, Paul Tikalsky<sup>3</sup>

### Abstract

This paper presents an approach to investigate the strategies of reinforcement protection on the chloride ingress into the bridge decks with crack. A finite element diffusion model in conjunction with a probabilistic method called Simulation-Based Reliability Assessment (SBRA) is used to address the inherited randomness of input variables. Description of distribution of High Performance Concrete (HPC) diffusion coefficients is computed from fundamental electrochemistry. This study shows the variability and sensitivity on estimation of the time to onset of corrosion using Monte Carlo technique.

### 1 Úvod

Jedním z nejzávažnějších namáhání železobetonových mostovek je koroze ocelové výztuže vyvolaná působením posypových solí. Působení chloridy vyvolané koroze vede ke snížení životnosti konstrukce v důsledku defektů krytí a poklesu únosnosti konstrukce.



Obr. 1: Trhlina na nové mostovce, která byla zbroušena (vlevo) a poškozený epoxidový povlak výztuže (vpravo).

V příspěvku je užito pravděpodobnostního MKP modelu pro odhad rizika vzniku koroze. Model je zaměřen na 2D penetraci chloridů železobetonovou mostovku při zohlednění rozptylu vstupních veličin s ohledem na interakci trhliny v mostovce a metody ochrany výztuže (ochrana epoxidovým povlakem a pozinkovaná výztuž, nechráněná výztuž). Užitý MKP model [1] využívající pravděpodobnostní metodu SBRA [2] navazuje na 1D modelování problému v práci [3].

<sup>1</sup> Petr Konečný, Ing., Ph.D., VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, petr.konecny@vsb.cz;

<sup>2</sup> Pratenu Ghosh, MAsC., University of Utah, Civil and Environmental Engineering Department, pratanutg@gmail.com;

<sup>3</sup> Paul J. Tikalsky, Ph.D., P.E., FACI, Chair and Professor of Civil and Environmental Engineering at The University of Utah, p.tikalsky@utah.edu;

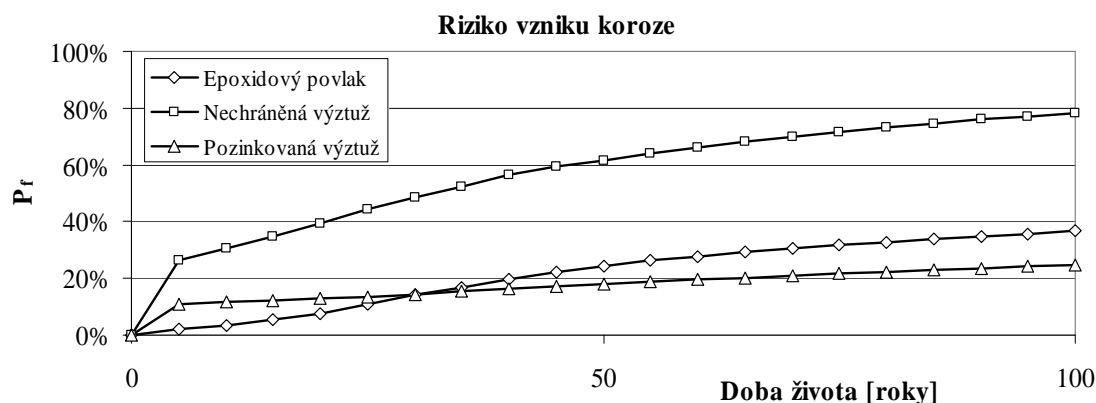
## 2 Degradace vyvolaná působením chloridů

Závažnost pronikání chloridů je možno zhodnotit porovnáním chloridového prahu  $C_{th}$  (hodnoty při které započne koroze) s koncentrací v nejexponovanějších místech výztuže. Chloridový práh závisí na druhu, přípravě ocelové výztuže a složení betonu. Koncentrace chloridů je odhadována stochastickým 2D modelem s ohledem na náhodnou interakci mezi efektem trhliny a možnými poruchami epoxidového povlaku výztuže železobetonu.

Časově závislou pravděpodobnostní analýzu si je možno představit jako porovnání náhodných realizací koncentrace chloridů  $C_t$  a chloridového prahu  $C_{th}$ . Chování systému je vyhodnoceno formou pravděpodobnosti překročení chloridového prahu (iniciace koroze) pro určitou dobu života  $P_{f,t}$ .

$$P_{f,t} = P(C_{th} - C_t < 0) \quad (1)$$

Výsledné pravděpodobnosti vzniku koroze jsou zobrazeny na Obr. 2.



Obr. 2: Pravděpodobnost iniciace koroze  $P_{f,t}$

## 3 Diskuse a závěry

Výztuže chráněné epoxidovým povlakem a pozinkováním v simulovaném případě železobetonové mostovky s trhlinou vystavené působení chloridů vykazovaly dle očekávání nižší riziko vzniku koroze než nechráněná výztuž. V prvních dvou dekádách života mostovky by bylo riziko koroze u epoxidem chráněné výztuže nižší než u pozinkování, a to vzhledem k výraznějšímu vlivu interakce mezi epoxidovou ochranou a trhlinou v betonu.

## Literatura

- [1] KONEČNÝ, P. (2007) *Reliability Of Reinforced Concrete Bridge Decks With Respect To Ingress Of Chlorides*, Doctoral thesis, Faculty of Civil Engineering, VŠB – Technical University Ostrava.
- [2] MAREK, P., GUŠTAR, M. and ANAGNOS, T., *Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995.
- [3] TIKALSKY, P., J., PUSTKA, D., MAREK, P., “Statistical Variations in Chloride Diffusion in Concrete”, *ACI Structural Journal*, vol. 102, is. 3, 2005, pp:481-486.

# PRAVDĚPODOBNOSTNÍ PŘÍSTUP K ŠÍŘENÍ POVRCHOVÝCH ÚNAVOVÝCH TRHLIN V NÁVAZNOSTI NA VYTVOŘENÍ PLOCHY OSLABENÍ

## PROBABILISTIC APPROACH TO PROPAGATION OF SURFACE CRACKS AND CREATION OF WEAKENED AREAS

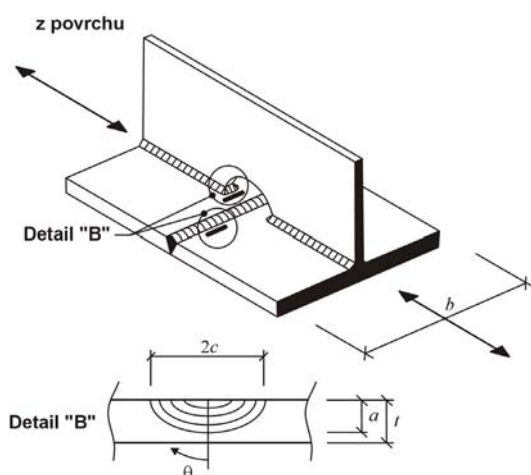
Martin Krejsa<sup>1</sup>, Vladimír Tomica<sup>2</sup>

### Abstract

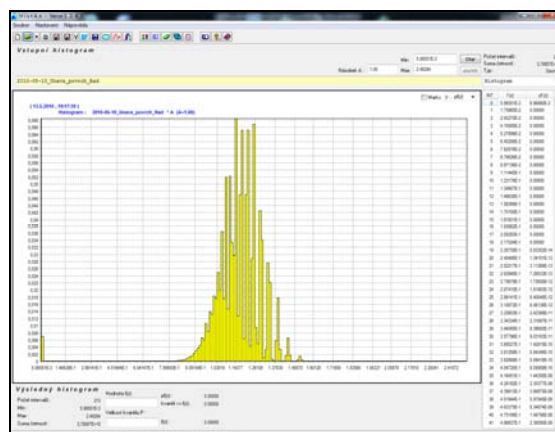
The acceptable fatigue crack size in steel structures and bridges indicates deducible degradation of elements in the load-carrying structure that is designed to resist cyclic effects of loads within the limit state of the load-carrying capacity.

### 1 Úvod

Článek je zaměřen na únavové poškození stavebních ocelových konstrukcí a mostů z hlediska šíření únavových trhlin z povrchu (obr.1) a navazuje na [1], kde byla zpracována obecná metodika pravděpodobnostního posouzení pásnice spřaženého ocelobetonového mostu se zaměřením na šíření únavových trhlin z okraje.



Obr. 1: Charakteristické případy šíření trhliny z povrchu



Obr. 2: Histogram odolnosti konstrukce  $R(a_d)$

### 2 Metodika pravděpodobnostního výpočtu šíření únavové trhliny

Funkce spolehlivosti, jejíž analýzou je možno získat pravděpodobnost poruchy  $P_f$ , je definována:

$$P_f = P(G_{fail}(Z) < 0) = P(R(a_2) < S) \tag{1}$$

kde  $Z$  je vektor náhodných fyzikálních vlastností – mechanických vlastností materiálu, geometrie konstrukce, účinků zatížení a také rozměrů únavové trhliny.

<sup>1</sup> Martin Krejsa, Ing., Ph.D., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, Ludvíka Poděště 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, tel: +420 596 991 303, e-mail: [martin.krejsa@vsb.cz](mailto:martin.krejsa@vsb.cz)

<sup>2</sup> Vladimír Tomica, Prof. Ing., CSc., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Poděště 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, tel: +420 596 991 357, e-mail: [vladimir.tomica@vsb.cz](mailto:vladimir.tomica@vsb.cz)

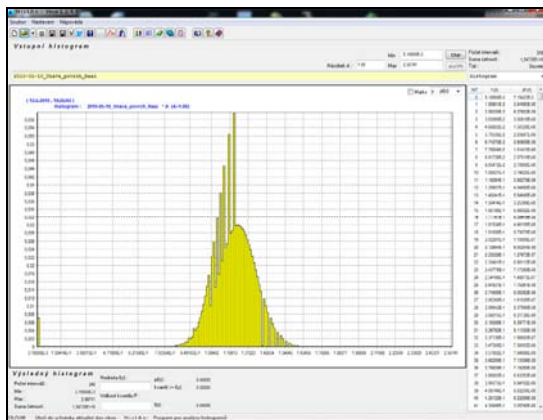
Byly odvozeny postupy pro získání odolnosti konstrukce, která byla pravděpodobnostně určena s využitím metody POPV [2]. Pro výpočet odolnosti  $R(a_d)$  je nutné zadat velikost inicializační  $a_0$  a zjistitelné (*detectable*) únavové trhliny  $a_d$ , neboť velikost únavové trhliny  $a$  se v daném případě pohybuje v rozmezí  $a_0$  až  $a_d$ . Výsledný histogram odolnosti  $R(a_d)$  je zobrazen na obr.2. Na základě vztahu:

$$\sigma_{\max} \cdot \frac{b_f t_f}{b_f t_f - \frac{1}{2} \pi a \left( \frac{0,3027}{t_f} \cdot a^2 + 1,0202 \cdot a + 0,00699 \cdot t_f \right)} \leq f_y \quad (2)$$

byla určena velikost přípustné (*acceptable*) únavové trhliny  $a_{ac}$ , která je charakterizovaná jako rozměr, který na průřezích a prvcích ocelových konstrukcí a mostů, navržených na kombinace extrémních účinků zatížení, může být vlivem jejich postupné degradace dosažen při dodržení podmínek požadované spolehlivosti na konci návrhové doby života konstrukce.

Pro přímé explicitní vyjádření velikosti přípustného rozměru trhliny  $a_{ac}$  z (2) bylo využito numerického iteračního postupu. Při něm bylo nutno brát v úvahu omezení dané hodnotami:  $2 \cdot c \leq 0,8 \cdot b_f$  a  $a \leq 0,8 \cdot t_f$  (viz obr.1).

Výsledný histogram odolnosti  $R(a_{ac})$  je pak zobrazen na obr.3.



Obr. 3: Histogram odolnosti konstrukce  $R(a_{ac})$



Obr. 4: Histogram  $G_{fail}$  po 111 letech provozu konstrukce

Další veličinou vstupující do výpočtu je akumulace účinku zatížení  $S$  pro celkový počet rozkmitů špiček napětí v prvku, která se stanovuje pro každý rok provozu konstrukce.

### 3 Závěr

S využitím vztahu (1) je pak možno získat pro každý rok provozu konstrukce histogram funkce spolehlivosti  $G_{fail}$  a pravděpodobnost poruchy  $P_f$  (viz obr.4), která při zadání požadované spolehlivosti  $P_d$  umožňuje stanovit dobu první prohlídky na mostě.

### Poděkování

*Projekt byl realizován za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.*

### Literatura

- [1] KREJSA, M., TOMICA, V. Využití metody PDPV k pravděpodobnostnímu výpočtu šíření únavových trhlin. In *Modelování v mechanice 2008*. Ostrava, 2008. pp 1-2 a text na CD (9 p). ISBN 978-80-248-1705-7.
- [2] *ProbCalc software a metoda POPV* [on-line]. <<http://www.fast.vsb.cz/popv>>.



# GLOBALNÍ SOUČINITELE ODOLNOSTI PRO ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

GLOBAL RESISTANCE FACTORS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Miroslav Sýkora<sup>1</sup>, Milan Holický<sup>2</sup>

## Abstract

The concept of the global resistance factors may enable non-linear and dynamic analysis and significantly simplify reliability verification of reinforced concrete structures. Presented theoretical procedures for determining the global resistance factors are based on the principles of EN 1990 and EN 1992-1-1 together with the probabilistic theory of structural reliability. It appears that the global resistance factors depend generally on the type of concrete members and on the reinforcement ratio.

## 1 Úvod

ČSN EN 1990 umožňuje stanovit návrhovou odolnost prostřednictvím charakteristické hodnoty a globálního součinitele odolnosti. Tento postup však může selhávat u konstrukcí dynamicky zatížených nebo s výrazně nelineárním chováním, kdy je potřebné vycházet z průměrných hodnot základních veličin. V příspěvku se odvozují globální součinitele odolnosti s využitím pravděpodobnostního postupu, který zajišťuje splnění požadavků na spolehlivost. Uplatnění postupu ilustrují příklady ohýbaného nosníku a krátkého sloupu. Globální součinitele odolnosti jsou odvozeny pro tři alternativy, kdy se odolnost odvodí z:

- 1) průměrných hodnot základních veličin (globální součinitel  $\gamma^*_{M}$ ),
- 2) charakteristických hodnot základních veličin ( $\gamma_M$ ),
- 3) průměru meze kluzu výztuže a redukované pevnosti betonu v tlaku podle ČSN EN 1992-2 ( $\gamma^*_{M,EN}$ ).

První postup lze využít pro nelineární nebo dynamické výpočty. Druhý postup může být s výhodou uplatněn, pokud jsou k dispozici výsledky ověření mezního stavu použitelnosti založeném na charakteristických hodnotách.

Třetí postup by měl umožnit použití stejných globálních součinitelů pro různé způsoby porušení. Tento postup je však v rozporu se základní myšlenkou nelineárních nebo dynamických výpočtů modelovat konstrukce nejlepším možným způsobem na základě průměrných hodnot. Výpočet založený na významně redukované pevnosti betonu může vést k nesprávnému způsobu porušení.

## 2 Globální součinitele odolnosti pro deterministické výpočty

V praktických aplikacích se průměrná a charakteristická hodnota stanoví deterministickým výpočtem:

---

<sup>1</sup> Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Oddělení spolehlivosti konstrukcí, Šolínova 7, 16608 Praha 6, miroslav.sykora@klok.cvut.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing. Milan Holický, Ph.D., DrSc., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Oddělení spolehlivosti konstrukcí, Šolínova 7, 16608 Praha 6, milan.holicky@klok.cvut.cz

$$m_R = R(\mu_X), \quad r_k = R(x_k) \quad (1)$$

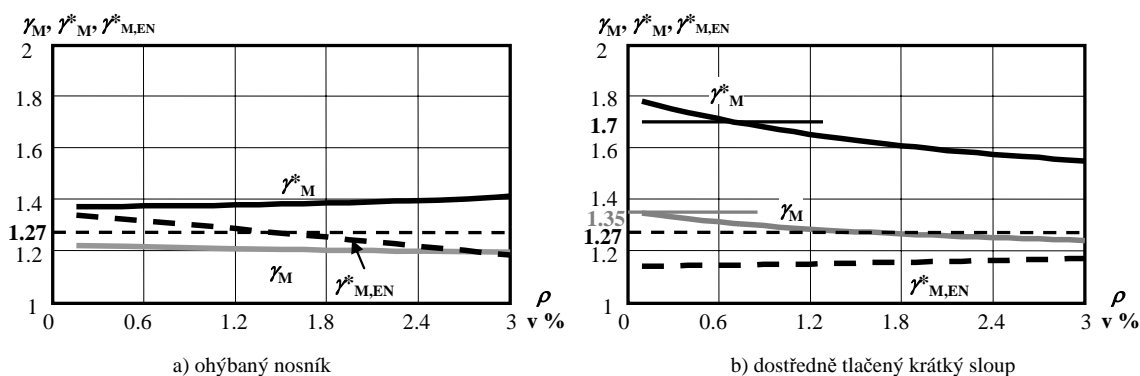
Teoretická návrhová hodnota, definovaná pravděpodobnostním vztahem  $P(R \leq r_{d,t}) \approx 0.0012$ , se pak odhadne prostřednictvím globálního součinitele:

$$\gamma_M = r_k / r_{d,t}; \quad \gamma_{M}^* = m_R / r_{d,t}; \quad \gamma_{M,EN}^* = r_{EN} / r_{d,t} \quad (2)$$

kde  $r_{EN} = R(f_{ym}, f_{cm}, \dots)$  je odolnost stanovená podle třetího postupu.  $f_{ym}$  značí průměr meze kluzu výztuže odhadnutý jako 1.1-násobek charakteristické hodnoty a  $f_{cm} \approx 0.85f_{ck}$  je redukovaná hodnota pevnosti betonu pro dílčí součinitele  $\gamma_s = 1.15$  a  $\gamma_c = 1.5$ . V tomto případě se použije globální součinitel odolnosti 1.27.

### 3 Numerické příklady

Uplatnění obecného postupu se ukazuje na příkladech ohýbaného nosníku a dostředně tlačného krátkého sloupu. Obr. 1 ukazuje závislost globálních součinitelů odolnosti  $\gamma_M$ ,  $\gamma_{M}^*$  a  $\gamma_{M,EN}^*$  na stupni vyztužení  $\rho$  pro ohýbaný nosník (1a) a krátký sloup (1b).



Obr. 1: Globální součinitele odolnosti  $\gamma_M$ ,  $\gamma_{M}^*$  a  $\gamma_{M,EN}^*$  v závislosti na stupni vyztužení  $\rho$

### 4 Závěr

Pokud se deterministickým výpočtem stanoví průměr  $m_R$  nebo charakteristická hodnota odolnosti  $r_k$ , je možné odhadnout teoretickou návrhovou hodnotu odolnosti železobetonových prvků  $r_{d,t}$  prostřednictvím globálních součinitelů odolnosti  $\gamma_{M}^*$  (pro průměr) nebo  $\gamma_M$  (pro charakteristickou hodnotu). Při stanovení těchto součinitelů je potřebné uvážit typ prvku (nosník, deska, sloup), druh namáhání (ohyb, smyk, tlak) a stupeň vyztužení. Pro směrnou hodnotu indexu spolehlivosti 3.8 je v prvním přiblížení možné použít následující odhady:  $\gamma_M \approx 1.2$  a  $\gamma_{M}^* \approx 1.4$  pro ohýbané nosníky a  $\gamma_M \approx 1.35$  a  $\gamma_{M}^* \approx 1.7$  pro tlačné sloupy.

Pro postup podle ČSN EN 1992-2 klesá globální součinitel se stupněm vyztužení ohýbaného nosníku z 1.4 na 1.2, pro krátký sloup na stupni vyztužení nezávisí a nabývá přibližně hodnoty 1.15. Doporučená hodnota 1.27 je konzervativní pro tlačné sloupy a ohýbané nosníky se stupněm vyztužení vyšším než 1 %; pro slabě vyztužené nosníky je na straně nebezpečné. Další výzkum by se měl zaměřit především na stanovení modelových nejistot pro nelineární analýzu založenou na metodě konečných prvků.

### Poděkování

*Příspěvek byl vypracován v Kloknerově ústavu, ČVUT v Praze, v rámci řešení projektu GA103/08/1527 Globální formát posuzování bezpečnosti železobetonových konstrukcí.*

# ZÁSADY HODNOCENÍ ROBUSTNOSTI

## BASIS OF ASSESSMENT OF ROBUSTNESS

Miroslav Sýkora<sup>1</sup>, Milan Holický<sup>2</sup>

### Abstract

Recent developments of high-performance materials, construction technologies and methods of structural analysis enable to design increasingly complex and slender structures. Such structures are often vulnerable and their robustness is becoming an important issue. Submitted paper summarises available findings concerning the assessment of structural robustness. Crucial task is to propose a definition of robustness.

### 1 Úvod

Rozvoj materiálů a technologií ve stavebnictví a pokročilé metody analýzy konstrukcí umožňují navrhovat složité a štíhlé konstrukce, které mohou být citlivé na účinky extrémních zatížení. Ve většině případů nelze u konstrukcí vystavených extrémním zatížením zamezit vzniku poruchy. U dostatečně robustních konstrukcí však mohou být následky poruch významně omezeny. I přes pokroky v teorii konstrukcí a stavebních technologiích je robustnost konstrukcí stále předmětem intenzivního výzkumu. Požadavky na robustnost a metody hodnocení v současných normativních předpisech jsou příliš obecné a nedostatečné pro praktické účely. Proto se v rámci evropské akce COST TU0601 rozvíjí metody hodnocení robustnosti. Článek založený na podkladových materiálech akce COST shrnuje dostupné poznatky o hodnocení robustnosti.

### 2 Definice robustnosti

ČSN EN 1991-1-7 definuje robustnost jako „schopnost konstrukce odolat nepříznivým jevům jako požár, výbuch, náraz nebo následek lidské chyby, aniž by nastalo porušení nepřiměřené původní příčině“. Odborné diskuze naznačují, že problematika hodnocení robustnosti je komplikovaná a robustnost je vnímána různými způsoby.

Obr. 1 znázorňuje základní kroky hodnocení robustnosti:

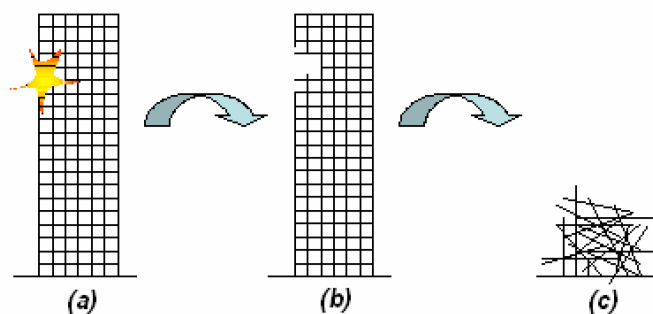
- a) Identifikace a modelování extrémních zatížení.
- b) Hodnocení stavu porušení konstrukce - lokální porucha (přímé následky).
- c) Hodnocení chování porušené konstrukce - progresivní kolaps v důsledku lokální poruchy; nepřímé následky, které mohou zahrnovat společenské, ekonomické, ekologické, psychologické (ztráta důvěry) a další následky.

Požadavky na robustnost souvisejí především s kroky b) a c), tj. zaměřují se na zamezení vzniku progresivního kolapsu z lokální poruchy.

---

<sup>1</sup> Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Oddělení spolehlivosti konstrukcí, Šolínova 7, 16608 Praha 6, miroslav.sykora@klok.cvut.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing. Milan Holický, Ph.D., DrSc., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Oddělení spolehlivosti konstrukcí, Šolínova 7, 16608 Praha 6, milan.holicky@klok.cvut.cz



Obr. 1: Základní kroky hodnocení robustnosti podle ČSN EN 1991-1-7

### 3 Zásady hodnocení

Hodnocení robustnosti zpravidla začíná stanovením vhodných modelů extrémních zatížení. Po působení zatížení mohou prvky zůstat buď v nepoškozeném stavu, nebo mohou být poškozeny. Stavy poškození mohou vést buď k progresivnímu kolapsu, nebo poškozená konstrukce může zatížení přenést.

Modelování zatížení zahrnuje rozbor pravděpodobnostních charakteristik extrémních i obvyklých zatížení. Potenciální nebezpečí mohou být neznámá nebo nepředvídatelná; známá, avšak nerozpoznaná nebo zanedbaná; nebo uvažovaná a zahrnutá v návrhu.

Hodnocení robustnosti vyžaduje použití modelů vhodných pro popis chování konstrukce při různých scénářích poškození a pro odhad pravděpodobnosti progresivního kolapsu. Tyto modely by měly být schopné postihnout chování částečně poškozené konstrukce, vznik velkých trhlin, plastické a nadměrné deformace, řetězkového působení, membránové působení, dynamické účinky atd.

### 4 Zásady pro navrhování

Vzhledem k velkému množství scénářů nebezpečí, které mohou vést k progresivnímu kolapsu, je obtížné navrhnout obecně použitelný postup zajištění robustnosti. Ke snížení pravděpodobnosti progresivního kolapsu mohou přispět konstrukční opatření zahrnující tvarovou přeurčitost, prostorové provázání konstrukce, duktilitu prvků a spojů, vyšší spolehlivost klíčových prvků, kontrolu jakosti a kvality i dostatečnou údržbu.

### 5 Závěr

Robustnost může být klíčovou vlastností složitých konstrukcí. V současnosti je však mezi odborníky vnímána odlišně - někteří chápou robustnost jako schopnost konstrukce chovat se přiměřeně v mimořádné situaci, zatímco jiní jako schopnost systému, jehož součástí je sledovaná konstrukce, působit přiměřeně při mimořádné situaci této konstrukce. Ačkoliv je hledisko robustnosti důležitou součástí návrhu složitých konstrukcí, kvantitativní ukazatele i metody hodnocení robustnosti nejsou zatím sjednoceny. Důležitým krokem je přijetí vhodné definice robustnosti a jednoznačné stanovení následků, které mají být uvažovány. Ukazuje se, že metody analýzy rizik jsou vhodným nástrojem pro hodnocení robustnosti.

### Poděkování

*Příspěvek byl vypracován v Kloknerově ústavu, ČVUT v Praze, v rámci řešení projektu COST OC08059 Hodnocení robustnosti stavebních konstrukcí.*

# NUMERICKÁ STUDIE VLIVU OKRAJOVÝCH PODMÍNEK NA PRŮBĚH ZKOUŠKY WST PRO URČOVÁNÍ LOMOVÝCH PARAMETRŮ CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ

NUMERICAL STUDY OF INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON PROGRESS  
OF WST TEST FOR DETERMINATION OF FRACTURE PARAMETERS  
OF CEMENTITIOUS COMPOSITES

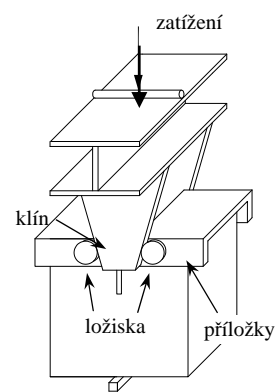
Václav Veselý<sup>1</sup>, Eva Grochalová<sup>2</sup>

## Abstract

The FEM study presented in the paper is focused on fracture analyses of selected cases of the wedge-splitting test (WST) on the cube-shaped quasi-brittle specimen. Several variants of boundary conditions – supports of the specimen – proposed in literature are investigated with the aim to eliminate/decrease some negative effects occurring in the tests and distorting the recorded responses which are utilized for determination of fracture-mechanical parameters of the tested materials.

## 1 Úvod

Lomová zkouška nazývaná v anglické literatuře wedge-splitting test [2] je velmi vhodná pro určování lomově-mechanických parametrů kvazikřehkých materiálů ve stavebnictví, nejčastěji cementových kompozitů. Schéma této zkoušky je naznačeno na obr. 1. Studie prezentovaná v tomto článku se zaměřuje na způsob podepření tělesa na straně tělesa protější ke straně, kde je na těleso vnášeno zatížení (typicky tedy podepření na spodní straně, viz obr. 2a až d). V literatuře je možné se setkat se dvěma variantami podepření [3]: *i*) pomocí jedné centrální liniové podpory, nebo *ii*) pomocí dvou liniových podpor symetricky uložených pod těžiště obou polovin tělesa pro snížení nebezpečí rozpadnutí tělesa v pozdějších stádiích lomu a odstranění vlivu vlastní tíhy vzorku na průběh lomu.



Obr. 1: Zkušební konfigurace WST

## 2 Numerická studie – MKP model, výsledky, diskuse

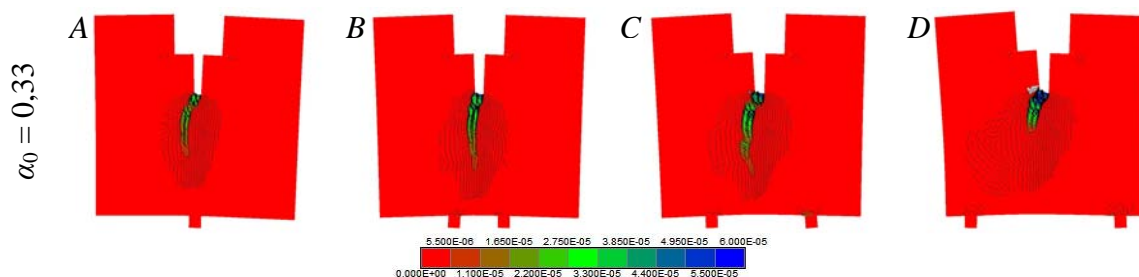
Numerická studie byla provedena na zkušebním tělese ve tvaru standardní krychle o hraně délky 100 mm. Jednotlivé rozměry tělesa jsou podrobně specifikovány v plné verzi článku. Uvažované varianty podepření jsou značeny pomocí písmen *A* až *D*. Relativní délka zářezu byla modelována v hodnotách  $\alpha = 0,25$ ;  $0,33$  a  $0,67$ . Varianty simulací s těmito relativními délkami zářezu jsou v této studii označovány římskými čísly *I*, *II* a *IV*. Vzhledem ke kombinovanému způsobu zatěžování tělesa byla provedena studie vhodnosti modelování zatížení pomocí dvou krajních variant: zatížení přírůstkem síly a zatížení přírůstkem posunu. Virtuálně testovaným materiálem byl beton o krychelné

<sup>1</sup> Ing. Václav Veselý, Ph.D., VUT v Brně, Stavební fakulta, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, vesely.v1@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Eva Grochalová, VUT v Brně, Stavební fakulta, Veveří 331/95, grochalovae@study.fce.vutbr.cz

pevnosti 30 MPa. V použitém softwaru ATENA 2D [1] pro něj byl vybrán materiálový model SBETA.

Významný výstup provedené studie představuje analýza průběhu porušení odehrávajícího se ve zkušebních tělesech. Pro stádium lomového procesu odpovídajícímu polovině maximální síly za sestupné větvi zatěžovacího diagramu je rozsah porušení vykreslen na obr. 2. Je možné zde srovnat vzory trhlin a izoplochy šířky trhlin pro relativní délku zářezu 0,33 pro jednotlivé uvažované varianty podepření (zleva A až D). Je zde patrné zvětšování šířky oblasti porušení (zvětšení rozsahu lomové procesní zóny) s oddalováním podpor od centrální roviny tělesa, které souvisí zřejmě se snížením constraintu napětí a deformace na čele trhliny.



Obr. 2: Zobrazení porušení (vzor trhlin a izoplochy jejich šířky [m]) a deformovaného tvaru zkušebního tělesa (deformace zvětšena 50 $\times$ ) ve stádiu zatěžování odpovídajícímu polovině hodnoty maximální síly na sestupné větvi zatěžovacího diagramu

### 3 Závěr

Výsledky provedené studie mohou usnadnit přípravu lomově-mechanických experimentů na krychlových WST tělesech a pomoci odstranit některé nežádoucí efekty, s nimiž je možné se při experimentálních pracích setkat:

- WST test je třeba numericky simulovat jako test řízený přírůstkem síly a nikoli posunu bodů tělesa příp. příložek, které jsou s tělesem přímo spojeny.
- Pro provádění experimentu je vhodné používat tělesa se zářezem relativní délky o hodnotě alespoň 0,3.
- Použití dvou symetricky uložených podpor se ukazuje jako negativní pro dosažení šíření trhliny přímo k povrchu tělesa protějšímu k vrcholu zářezu (vytvoření lomové plochy blízké rovině). Se zvětšováním vzdálenosti podpor klesá constraint napětí na čele trhliny projevující se rozšiřováním oblasti porušení. Může pak docházet k odklánění šíření trhliny od přímého směru, což zkreslí zaznamenanou odezvu a následně hodnoty lomových parametrů z ní určovaných.

### Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579 (CIDEAS). Při řešení byly částečně využity výsledky dosažené v projektu GA AV ČR č. KJB200410901.*

### Literatura

- [1] ČERVENKA, V. ET AL. 2005. *ATENA Program Documentation, Theory and User Manual*. Prague: Cervenka Consulting, 2005.
- [2] LINSBAUER, H.N., TSCHEGG, E.K. 1986. Fracture energy determination of concrete with cube shaped specimens, *Zement und Beton*. 1986, 31, 38–40.
- [3] RILEM RECOMMENDATION AAC13.1 1994. Determination of the specific fracture energy and strain softening of AAC, RILEM technical recommendations for the testing and use of construction materials, E & FN Spon, 1994, 156–158.

# VLIV HLAVNÍHO KABELU NA STABILITU VISUTÝCH MOSTŮ

## MAIN CABLE INFLUENCE ON STABILITY OF SUSPENSION BRIDGES

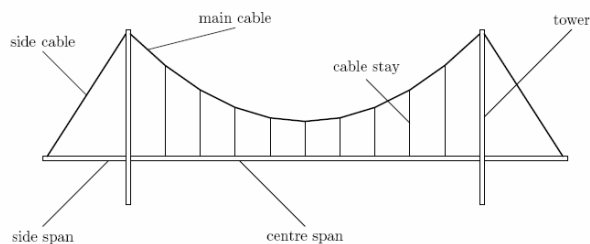
Josef Malík<sup>1</sup>

### Abstract

One nonlinear model of a suspension bridge is presented. The model describes the behavior of two main cables, cable stays, road bed describing its vertical and torsion oscillations. The main nonlinearity is hidden in the main cable, which is considered to be ideally flexible and inextensible. The main attention is paid to the analysis of anisotropy of main cables, which can result in certain instability of suspension bridges.

### 1 Úvod

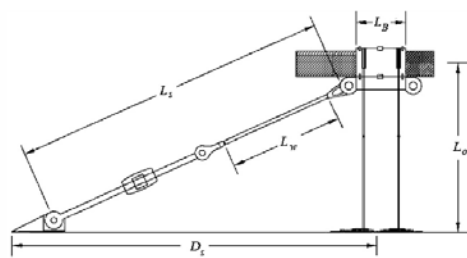
Konstrukce visutého mostu je založena na vzájemné reakci mostovky spolu se soustavou lan, která se skládá z hlavního lana svislých kabelů. Hlavní lano je připevněno ke sloupům a toto hlavní lano můžeme ve většině případů považovat za dokonale ohebné a neroztažné. Konstrukce visutého mostu je znázorněna na Obr.1, který znázorňuje boční profil visutého mostu.



Obr.1

Ve skutečnosti je most zavěšen na dvou hlavních kabelech, které jsou připevněny ke dvojici sloupů na každé straně mostu. Z principu této konstrukce je chování visutých mostů obecně nelineární a některé nelinearity jsou popsány například [1-4]. Konstrukce visutého mostu má řadu výhod, ale přináší i některé nevýhody. Především tato konstrukce někdy bývá nestabilní v bočním větru. Nejznámější případ takovéto nestability nastal v roce 1940 v Tacomě v USA, kdy došlo ke zhroucení v té době nejdelšího visutého mostu. Tento most byl otevřen 1. července 1940 a zhroutil se 7. listopadu 1940, tedy sloužil pouhé čtyři měsíce. V tento den se objevily torzní oscilace mostovky, které byly spojeny s uvolněním jednoho úvazu, což je dvojice lan umístěna uprostřed každého z hlavních lan, jak je znázorněno na Obr.2. Právě 7. listopadu 1940 jeden z úvazů praskl a celá konstrukce se stala nesymetrickou. Cílem tohoto příspěvku je popsat reakci hlavních lan v případě, že tento úvaz je funkční a v případě jeho uvolnění.

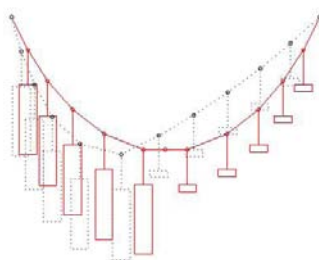
Doc. RNDr. Josef Malík, CSc., Ústav geoniky AVČR, Studentská 1768, Ostrava, josef.malik@ugn.cas.cz



Obr.2

## 2 Model hlavního kabelu

Matematický model představují hlavní kabel jako soustavu tuhých neohebných tyčí, které jsou spojeny klouby umožňující volné otáčení. V těchto kloubech působí síly, které reprezentují reakce svislých lan připevněných k mostovce. Jsou zkoumány dva modely. Hlavní kabel bez úvazu je reprezentován soustavou tyčí upevněných ve dvou fixovaných bodech. Hlavní kabel s úvazem je reprezentován soustavou tyčí fixovaných ve dvou bodech a navíc střed lana se volně pohybuje po svislé linii, ale nemůže se pohybovat horizontálně. Příklad působení určité síly a reakce hlavního kabelu s úvazem a bez úvazu jsou znázorněny na Obr.3.



Obr.3

Poznamenejme, že plná čára reprezentuje kabel s úvazem a přerušovaná čára reprezentuje kabel bez úvazu.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 103/08/1700.*

## Literatura

- [1] LAZER, A.C., MCKENNA, P.J. 1989. Large amplitude periodic oscillations in suspension bridges: some new connections with nonlinear analysis. *SIAM Review*. 1989, v. 32, pp. 537-578.
- [2] MALIK, J. 2006. Nonlinear models of suspension bridges. *Journal of Mathematical analysis and Applications*. 2006, v. 321, pp. 828-850.
- [3] MALIK, J. 2006. Generalized nonlinear models of suspension bridges. *Journal of Mathematical analysis and Applications*. 2006, v. 324, pp. 1288-1296.
- [4] PLAUT, R.H. 2008. Snap loads and torsional oscillations of the original Tacoma Narrows Bridge. *Journal of Sound and Vibration*. 2008, v. 309, pp. 613-636.



## ZLEPŠENÍ KVALITY MALÝCH DATOVÝCH SOUBORŮ NA ZÁKLADĚ DOPLŇUJÍCÍCH INFORMACÍ

QUALITY IMPROVEMENTS OF SMALL DATA BASE FILES BASED ON ADDITIONAL  
PIECE OF KNOWLEDGE

Eva Novotná<sup>1</sup>, Jiří Šejnoha<sup>2</sup>

### Abstract

In certain fields of engineering, such as, e.g., geotechnics, it is rather difficult to obtain sufficiently large data base files, which would make it possible reliably to assess certain parametric distributions of variables. In this paper, a simple procedure consists in conjunction of a given data file with a complementary one or with a piece of additional information delivered by an expert.

### 1 Úvod

V některých oblastech inženýrství je obtížné získat dostatečně velké soubory dat, které by byly spolehlivým podkladem k získání parametrů teoretických rozdělení potřebných pro spolehlivostní a rizikové analýzy konstrukcí. Typickým příkladem je geotechnika. Materiálové parametry jako koheze, úhel vnitřního tření, tuhost v tahu a tlaku, lomová houževnatost hornin apod. jsou zpravidla získávány laboratorními zkouškami, některé i zkouškami polními. Vždy se však jedná o poměrně malé soubory, které nemohou zajistit dostatečnou spolehlivost pravděpodobnostních výpočtů.

Je proto snahou doplnit získaná data o další informace. Na jednu z možností upozornil ve svém konferenčním příspěvku již v r. 2004 J. Menčík (viz [1]) s odvoláním na [2]. Základní myšlenka spočívá v rozšíření souboru, který máme k dispozici o doplňující data, jež lze získat např. z databanky laboratoře. Navržený postup pracuje pouze se střední hodnotou a rozptylem aktualizovaného souboru. Vzhledem k tomu, že v geotechnice jsou považovány za nejvhodnější lognormální a Weibullovo rozdělení, je v příspěvku aproximace dvou základních momentů rozšířena o návrh aproximace třetího momentu resp. šikmosti. Dále jsou popsány algoritmy[3], jimiž lze přejít k parametrům zmíněných rozdělení. K řešení soustavy nelineárních rovnic pro výsledné parametry zmíněných rozdělení byly navrženy jednoduché programy v prostředí MATLAB.

V tomto pojetí se jedná o spojení dvou datových souborů, které jsou do výpočtu zavedeny vahami odpovídajícími počtu prvků v daném souboru. Bezrozměrné váhy mají význam pravděpodobností. I kdybychom kombinovali větší počet souborů, součet vah musí být tudíž roven jedné.

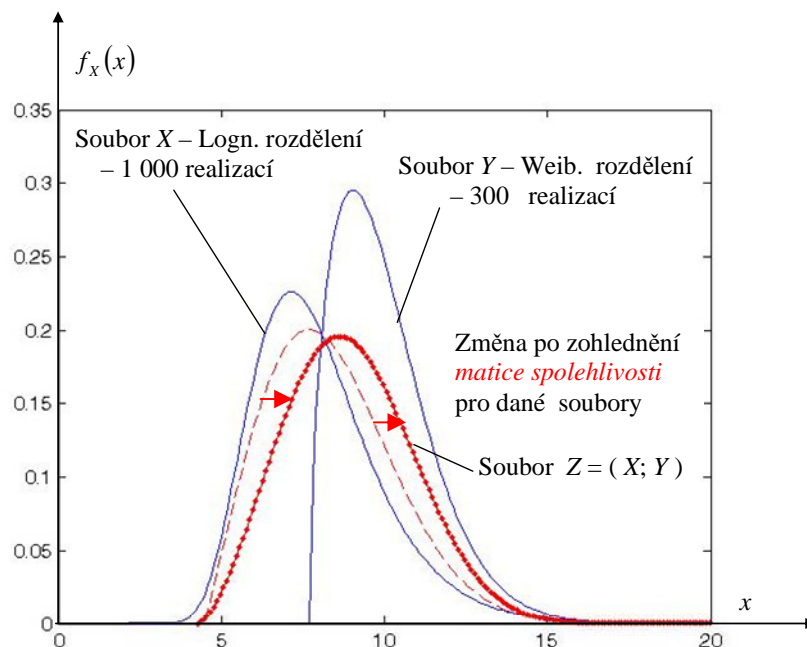
Místo doplňujícího souboru by bylo možno vzít v úvahu zkušenost experta, který by předdefinoval očekávané rozdělení, nejspíš na základě dolního a horního kvantilu a

<sup>1</sup> Eva Novotná, Ing., Ph.D., ČVUT Praha, Fakulta stavební, CIDEAS, Thákurova 7, 166 29 Praha, (+420) 224 354 401, novotnae@fsv.cvut.cz;

<sup>2</sup> Jiří Šejnoha, prof., Ing., DrSc., ČVUT Praha, Fakulta stavební, CIDEAS, Thákurova 7, 166 29 Praha, (+420) 224 354 492, sejnoha@fsv.cvut.cz

modusu. Z příslušného rozdělení lze simulací vytvořit doplňující (fiktivní) soubor, kterému je třeba dát příslušnou váhu experta, a to tak, aby součet vah byl opět roven jedné.

Máme-li k dispozici dva soubory, můžeme vzít v úvahu i míru přesnosti metody, s níž byly tyto soubory získány, a to pomocí spolehlivostní matice, jejíž prvky mají význam podmíněných pravděpodobností. Na základě věty o úplné pravděpodobnosti lze pak určit nepodmíněné pravděpodobnosti, s nimiž pracujeme jako s vahami pro dílčí soubory (viz obr. 1).



Obr. 1 Aktualizované rozdělení dvou datových souborů bez (čárkovaně) a se zohledněním matice spolehlivosti (tečkovaně tlustě)

Z uvedeného je vidět, že k danému souboru je vždy třeba získat nějaké doplňující informace. Tím se nabízí další možnost, která však v tomto příspěvku nebude diskutována. K souboru statistických dat pro hledaný parametr lze využít i dat příbuzných veličin, které jsou současně monitorovány a se základní veličinou nějakým způsobem korelovány, např. vedle koheze sledujeme pórovitost, stupeň nasycení apod. Do hry pak vstupuje jako pomocný nástroj regresní analýza.

## Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt IM0579 v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS*

## Literatura

- [1] MENČÍK, J. *Použití bayesovských metod pro posuzování stavu a spolehlivosti konstrukcí: sborník konference Spolehlivost konstrukcí 24.3 2004 Ostrava*, s. 41-46 ISBN 80-248-0573-1.
- [2] WONNACOT, T. H.; WONNACOT, R. J. *Statistika pro obchod a hospodářství*. Victoria Publishing, Praha 1993
- [3] LEEMIS L.M. *Reliability. Probabilistic Models and Statistical Methods*. Prentice – Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1995

# ANALÝZA GEOKOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

## ANALYSIS OF GEOCOMPOSITE MATERIALS

Radim Blaheta<sup>1</sup>, Roman Kohut<sup>2</sup>, Jiří Starý<sup>3</sup>

### Abstract

This conference contribution is devoted to description of philosophy and advantages of numerical analysis of geocomposite materials and implementation of suitable numerical procedures for homogenization, solution of large scale ill conditioned systems, evaluation of sensitivity etc. It also provides numerical results from analysis of a model coal – PU resin geocomposite.

### 1 Introduction

The paper deals with analysis of geocomposite materials, which compose from the rock or soil matrix and fill by cement or polyurethane grout. These types of materials arise from grouting with the aim to improve mechanical or hydraulic properties of the basic rocks or soils. The overall behaviour of geocomposites is characterized by effective (up scaled, homogenized) material characteristics like elastic moduli or permeability coefficients. These material characteristics can be evaluated either by laboratory testing of prepared samples or by numerical simulations.

The numerical simulation use:

- description of material microstructure as a voxel finite element grid with material distribution determined from CT (computer tomograph) scans ( providing so called CT values depending on local material composition),
- local material properties, which are determined from testing homogeneous samples from selected material component or by using local indentation tests or using numerical identification procedures,
- different types of loadings, which are normally applied as boundary conditions. Due to this freedom it is not problem to test anisotropic behaviour, obtain some limits for homogenized properties as well as to test strength and material behaviour behind the limit of linear material behaviour.

The advantage of numerical simulation over experimental testing can be seen in the following:

- different types of loading can be applied, moreover to samples of irregular shape or larger samples scanned by parts,
- it is possible to assess sensitivity of the composite material to changes of local material properties,
- in some extent, it is also possible to determine some local properties from global behaviour (as an inverse problem) or perform numerical design of geomaterials,

---

<sup>1</sup> Prof. Radim Blaheta, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, CR, blaheta @ugn.cas.cz

<sup>2</sup> RNDr. Roman Kohut, CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, CR, kohut @ugn.cas.cz

<sup>3</sup> Ing. Jiří Starý, CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, CR, stary @ugn.cas.cz

- numerical testing also allows to perform larger number of tests using modified or stochastically generated microstructures.

## 2 Numerical methods

Numerical realization of the described procedures for analysis of geocomposite materials involves the following ingredients:

- (i) finite element analysis of large scale (millions of degrees of freedom) mechanical or porous media flow models,
- (ii) solution of arising large scale linear systems with ill conditioning increased by possibly large jumps in the PDE coefficients,
- (iii) numerical implementation of homogenization procedures with different types of boundary conditions,
- (iv) sensitivity analysis and identification problems.

## 3 Conclusion

Some methods suitable for performing numerical analysis of geocomposite materials were already implemented in GEM software developed at the Institute of Geonics AS CR, see [1]-[3]. In the conference contribution, we shortly describe these methods and some of the results obtained from analysis of a coal - PU resin geocomposite. We shall also shortly outline some plans for a future development.

## Acknowledgements

*The work is supported by the Grant Agency of the Czech Republic via the project GACR 105/09/1830 "Multiscale modelling and X-Ray tomography in geotechnics" and the Academy of Sciences of the Czech Republic via the research plan project AV0Z30860518.*

## Literatura

- [1] R. BLAHETA, O. JAKL, R. KOHUT, A. KOLCUN, J. STARÝ:  $\mu$ -FEM analysis in Rock Mechanics, Modelling 2009, Rožnov p. Radhoštěm, June 2009
- [2] BLAHETA, R., JAKL, O., STARÝ, J., KREČMER, K.: Schwarz DD method for analysis of geocomposites. In: Proceedings of the Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing (B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves and R.C. Barros, eds.). Civil-Comp Press, Kippen UK, 2009. ISBN 978-1-905088-32-4
- [3] BLAHETA, R., JAKL, O., KOHUT, R., STARÝ, J.: GEM – a Platform for Advanced Mathematical Geosimulations. In: Proc. Parallel Processing and Applied Mathematics, 8th International Conference, PPAM 2009. To appear in Springer LNCS series

# VZÁJOMNÉ POROVNANIE 2D A 3D VÝPOČTOVÝCH MODELOV VOZIDIEL

## MUTUAL COMPARISON OF 2D AND 3D COMPUTING MODELS OF VEHICLES

Ivana Martinická<sup>1</sup>, Jozef Melcer<sup>2</sup>

### Abstract

There is possible to use the computing models of vehicles on various level of complicity for the purpose of solution of vehicle roadway interaction problems. Individual computing model can follow the effects only on the certain level. In suggest paper the plane computing models of vehicles are mutually compared. The goal is to clarify the influence of pitch effect on the magnitude of kinematical quantities of computing model and on the magnitude of interacting forces.

### 1 Úvod

Interakcia vozidlo – jazdná dráha je aktuálny inžiniersky problém, ktorému sa inžinieri venujú z pohľadu rôznych praktických aspektov [1], [2], [3], [4]. Jedna z možností riešenia určitej škály problémov je numerická simulácia. Pre účely použitia metód numerickej simulácie je potrebné vytvárať výpočtové modely vozidiel. Výpočtové modely je možné vytvárať na rôznej kvalitatívnej úrovni v závislosti od povahy riešeného problému. Princiipiálne je možné vytvárať priestorové – trojdimenzionálne (3D), rovinné – dvojdimenzionálne (2D) alebo jednodimenzionálne (1D) výpočtové modely vozidiel.

### 2 Výpočtové modely vozidiel

Polovičný výpočtový model je vlastne rovinný 2D výpočtový model dopravného prostriedku. Je možné ho použiť pre modelovanie účinkov ľavej alebo pravej polovice dopravného prostriedku na dopravnú cestu. Výhodou tohto modelu je, že modeluje vplyv vertikálneho pohybu odpruženej hmoty (*heave effect*) a vplyv kolísania odpruženej hmoty v pozdĺžnom smere (*pitch effect*) na vznik kontaktných síl medzi kolesom a jazdnou dráhou a na vznik kinematických veličín modelu. Nemôže modelovať vplyv nakláňania odpruženej hmoty v priečnom smere (*roll effect*) na vznik kontaktných síl a na vznik kinematických veličín modelu.

Celý priestorový model dopravného prostriedku umožňuje modelovať vplyv vertikálneho pohybu odpruženej hmoty (*heave effect*), vplyv kolísania odpruženej hmoty v pozdĺžnom smere (*pitch effect*) aj vplyv nakláňania odpruženej hmoty v priečnom smere (*roll effect*) na vznik kontaktných síl medzi kolesom a jazdnou dráhou.

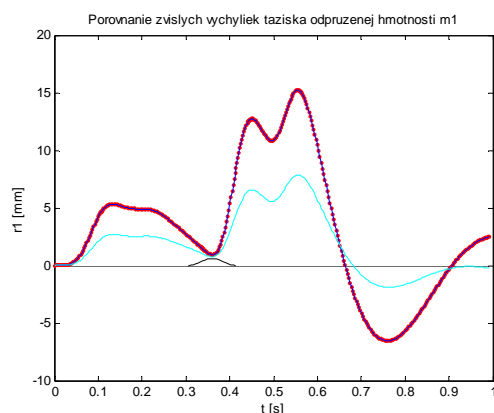
---

<sup>1</sup> Ing. Ivana Martinická, Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, telefón: +421-41-5135648, ivana.martinicka@fstav.uniza.sk

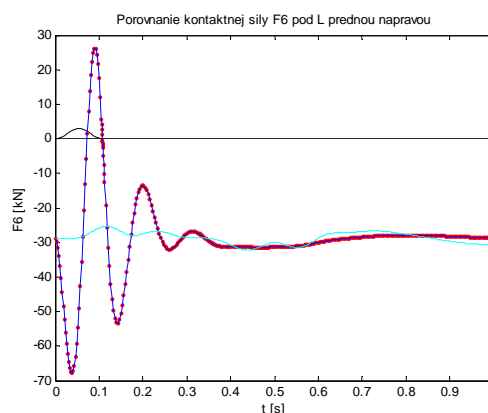
<sup>2</sup> Prof. Ing. Jozef Melcer, DrSc., Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, telefón: +421-41-5135612, jozef.melcer@fstav.uniza.sk

### 3 Vzájomné porovnanie výpočtových modelov

Predmetom porovnania sú časové priebehy kinematických a silových veličín vypočítané pomocou 2D a 3D modelu pri prejazde tohto modelu ponad umelú nerovnosť v tvare jednej kosínusovej vlny s výškou 2 cm a dĺžkou 120 cm, *obr. 1 a 2*.



Obr. 1: Roll effect, kmitanie odpruženej hmoty



Obr. 2: Roll effect, kontaktné sily, predná náprava

### 4 Závěr

Na základe výsledkov porovnávacích štúdií je možné konštatovať, že vplyv nakláňania odpruženej hmotnosti vozidla v priečnom smere (*roll effect*) je v porovnaní s vplyvom kolísania odpruženej hmoty vozidla v pozdĺžnom smere (*pitch effect*) výrazne vyšší. Rozdiely v extrémoch kinematických veličín vzťahujúcich sa k odpruženej hmotnosti vozidla  $m_1$  sa v percentuálnom vyjadrení pohybujú v prípade maxim od 48 % - 67 % a v prípade minim od 46 % - 72 %. Rozdiely v extrémoch kinematických veličín vzťahujúcich sa k neodpruženej hmotnosti prednej i zadnej nápravy vozidla sa výrazne líšia podľa toho, či sa jedná o nápravu, ktorá prechádza po nerovnostiach vozovky alebo o nápravu, ktorá neprechádza po nerovnostiach vozovky.

### Pod'akovanie

*Príspevok vznikol za finančnej podpory Grantovej agentúry VEGA SR. Registračné číslo projektu je G1/0031/09.*

### Literatura

- [1] ZÁHOREC, O. Contribution to the Analysis of Linear Dynamics Systems with Stationary Random Excitation, Proceedings of the 1st Conference on Mechanics, Tom 2, p. 204-207, PRAHA, 1987
- [2] POLACH, P. Multibody modely nízkopodlažného trolejbusu ŠKODA 21 Tr – modifikace s nápravami RÁBA a kompozitovou přední stenou, Výzkumná správa ŠKODA VÝZKUM, S.R.O VYZ 0577/2002, PLZEŇ, 2002
- [3] KRÁLIK, J., IVÁNKOVÁ, O., ŠIMONVIČ, M. Riešenie problému odolnosti konštrukcie podzemných kanálov za uváženia interakcie s podložím a seizmického zaťaženia, 8. Ansys – User Meeting 2000, s. 1-6, LEDNICE NA MORAVE, ČR, 2000
- [4] MELCER, J. Dynamické výpočty mostov na pozemných komunikáciách, EDIS EDIČNÉ STREDISKO ŽU, ŽILINA, 1997.

# Experimentálne overovanie dynamického chovania trate pri prejazde vlakov

## In situ vibration measurements of the track components due to railway traffic

Milan Moravčík<sup>1</sup>

### Abstract

The present paper concentrates on the results of in situ vibration measurements during operating conditions in the track structure for loading by current passenger trains at the new built up railway corridor in the section Bratislava – Trnava. Tests were carried out to determine the dynamic track behaviour and relative dynamic effects between the track components – the rails, the sleepers, and the ballast bed during the passage of characteristic passenger trains moving by the operating speeds. Vertical accelerations of these components have been measured and the vertical dynamic behaviour of these components were investigated in the time domain and analysed in the frequency domain up to 500 Hz.

### 1 Úvod

Príspevok je venovaný experimentálnemu meraniu a analýze dynamickej odozvy trate v časovej a frekvenčnej oblasti pri prejazde vlakov osobnej dopravy na novobudovano železničnom koridore Bratislava - Žilina a to v priamych traťových úsekoch Trnava – Cífer. Experimentálne meranie je zamerané na kinematické veličiny odozvy komponentov trate:

- (1) Vertikálne posuny  $w_x(t)$  pomocou relatívnych priehybomerov  $D_R$  umiestnených na koľajniciach a  $D_S$  umiestnených na podvaloch.
- (2) Vertikálne zrýchlenia  $w''_x(t)$  pomocou akcelerometrov  $A_R$  umiestnených na koľajniciach,  $A_S$  na podvaloch a akcelerometrov  $A_B$  v štrkovom lôžku.
- (3) Pomerné pretvorenia  $\varepsilon_x(t)$  pomocou príložných piezoelektrických tenzometrov  $T_K$  umiestnených na koľajniciach, obr.1.

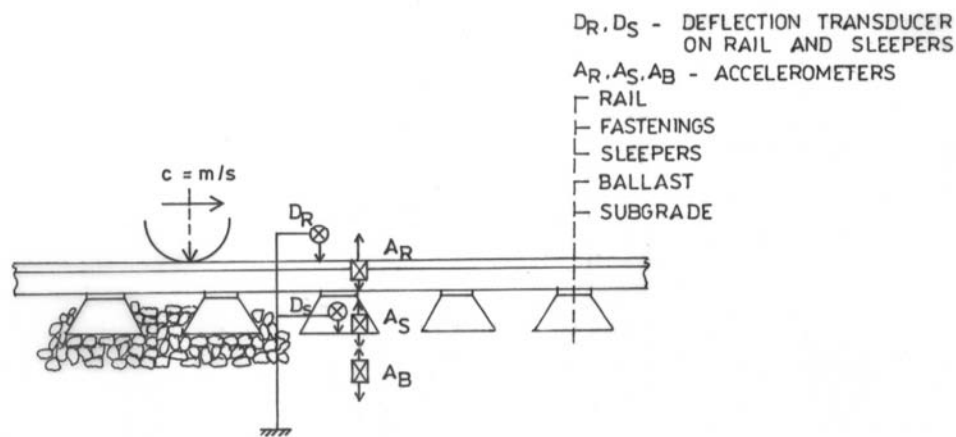
### 2 Hlavné výsledky meranej dynamickej odozvy trate

Získané časové priebehy vertikálneho kmitania komponentov trate – koľajnic  $w_R(t)$ ,  $w''_R(t)$ , podvalov  $w''_S(t)$  a štrkového lôžka  $w''_B(t)$  reprezentujú odozvu trate pri prejazde vlakov ako stochastický proces. Spracované spektrá týchto signálov v mierke PWS alebo PSD a prenosové funkcie medzi komponentmi trate dávajú základný obraz o kmitaní trate a dynamickej interakcií pohybujúce sa koľajové vozidlo / trať. Aj keď získané záznamy prejazdov vlakov sa navzájom mierne líšia, v závislosti na type,

---

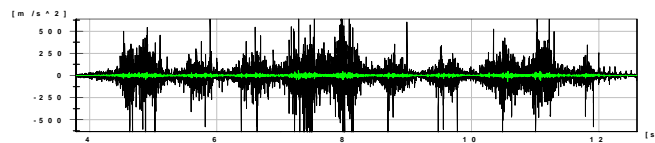
<sup>1</sup> Prof. Ing. Milan Moravčík, CSc, Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, e-mail: mimo@fstav.uniza.sk

skladbe a rychlosti prejazdu osobných vlakov a rýchlikov, hlavné črty dominantné frekvencie kmitania koľajníc, podvalov a štrkového lôžka, ostávajú zachované.

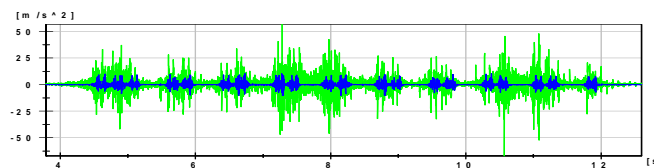


Obr.4 Schéma meracej zostavy pre meranie dynamickej odozvy trate

**(1) Amplitúdy vertikálneho zrýchlenia kmitania komponentov trate – koľajníc**  $w''_R(t)$ , podvalov  $w''_S(t)$  a štrkového lôžka  $w''_B(t)$  sú vo vertikálnom smere výrazne tlmené smerom k podkladovým vrstvám trate. Štandardné amplitúdy  $w''_{0,R}$  vertikálneho zrýchlenia koľajníc  $w''_R(t)$  dosahujú hodnoty  $200 \text{ m/s}^2$  a vyznačujú sa značným rozptylom. Štandardné vrcholy  $w''_{0,S}$  amplitúd vertikálneho zrýchlenia podvalov  $w''_S(t)$  dosahujú hodnoty  $25 \text{ m/s}^2$  a amplitúdy vertikálneho zrýchlenia štrkového lôžka  $w''_{0,B}$  hodnoty  $7 \text{ m/s}^2$ , obr.2, 3.



Obr.2 Porovnanie redukcie amplitúd vertikálneho zrýchlenia koľajnice  $W''_R(t) / A_R$  a podvalu,  $W''_S(t) / A_S$  pri prejazde rýchlika.



Obr.3. Porovnanie redukcie amplitúd vertikálneho zrýchlenia podvalu  $W''_S(t) / A_S$  a štrkového lôžka  $W''_B(t) / A_B$  pri prejazde rýchlika.

**(2) Spektrá amplitúd vertikálneho zrýchlenia kmitania komponentov trate**

Analýzované časové záznamy vertikálneho kmitania komponentov trate vo frekvenčnej oblasti dávajú podrobnú informáciu o podiele frekvenčných zložiek na kmitaní. Frekvenčná analýza vertikálneho zrýchlenia komponentov trate sa vyhodnocujú ako výkonové spektrum (*Power Spectrum – PWS*) alebo ako výkonová spektrálna hustota (*Power Spectral Density - PSD*). Všetky merané signály sa vyhodnocovali pre frekvenčnú oblasť  $f = (0 - 500 \text{ Hz})$  pri vzorkovacej frekvencii  $f_s = 1000 \text{ Hz}$ .



# NELINEÁRNA ANALÝZA INTERAKCIE OCEĽOVEJ VÝSTELKY A ŽELEZOBETÓNOVEJ STENY ŠACHTY LOKALIZÁCIE HAVÁRIE ZA EXTRÉMNEHO PÔSOBENIA TLAKU A TEPLoty

NONLINEAR ANALYSIS OF THE INTERACTION OF THE STEEL LINER AND REINFORCED CONCRETE WALL OF THE BUBBLER TOWER DUE TO EXTREME PRESSURE AND TEMPERATURE

Juraj Králik<sup>1</sup>, Dušan Hukel<sup>2</sup>

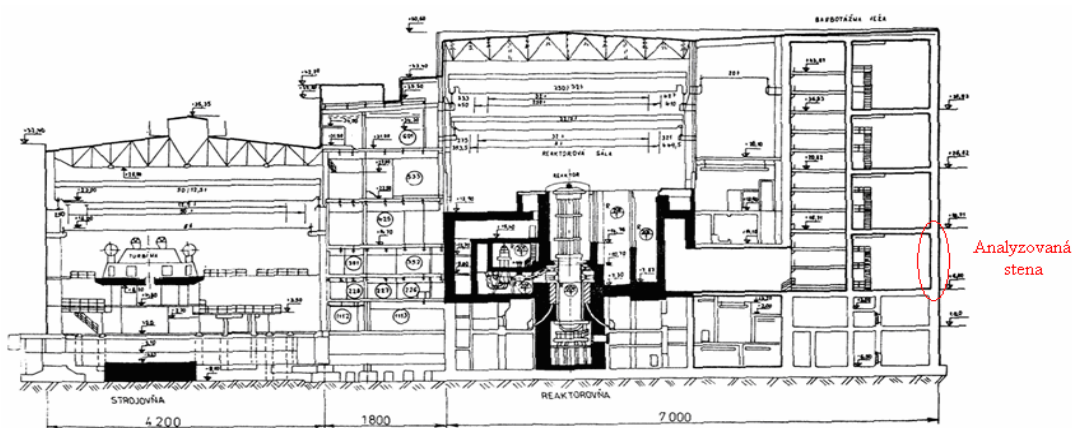
## Abstract

This paper describes the nonlinear analysis of the reinforced concrete wall of the bubbler tower (BT) due to extreme pressure and temperature loading. The behaviour of the pressure and temperature in hermetic zone was simulated by program MELCOR. The interaction of the steel liner and reinforced concrete wall during the loss of coolant accident is considered. The solid element of the reinforced concrete wall was developed. On the base of the experimental results and the nonlinear analysis of the structure were considered the safety and reliability of the structure. The numerical simulations were realized in the system ANSYS.

## 1 Úvod

Cieľom analýzy bolo simulovať odozvu konštrukcie na zaťaženie teplotou, tlakom pri havárii hlavného potrubia (LOCA 500) a ich vplyv na únosnosť železobetónovej konštrukcie steny v prvom plynojeme šachty lokalizácie havárie (barbotážnej veži). Konštrukcie môžu byť počas svojej životnosti vystavené rôznym extrémnym zaťaženiám, či haváriam.

## 2 Výpočtový model



Obr. 2: Priečný rez budovou 1. bloku HVB Mochovce

<sup>1</sup> Doc. Ing. Juraj Králik, PhD., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, katedra stavebnej mechaniky, 81368 Bratislava, Radlinského 11, juraj.kralik@stuba.sk

<sup>2</sup> Ing. Dušan Hukel, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, katedra stavebnej mechaniky, 81368 Bratislava, Radlinského 11, dusan.hukel@stuba.sk

Výpočtový model je vytvorený v programe ANSYS. V prvom kole bola vykonaná termálna analýza pre zistenie priebehu teplôt v konštrukcii Sieť MKP bola vygenerovaná prvkami SOLID70. Celá konštrukcia hermetickej zóny je z vnútornej strany opatrená oceľovou výstelkou (oblicovkou), ktorá bola modelovaná škrupinovými prvkami SHELL57. V druhom kole bola vykonaná napätostná analýza s prvkami SOLID65 pre železobetónovú stenu, SHELL43 pre oceľovú výstelku. Pre definovanie okrajových podmienok bolo najvhodnejšie použiť škrupinový prvok SURF154.

### 3 Výsledky výpočtu

Pre kombináciu zaťaženia v prípade havárie hlavného potrubia (LOCA 500) pri tlaku 100kPa (návrhový), 150kPa (prípustný) a prevádzkovej teplote, deformácie nenadobudnú limitnú hodnotu 10mm. Počas skúšky tesnosti sa teplota vnútorných priestorov pohybovala okolo 24,4 až 26,5°C a vonkajšieho priestoru okolo 0,7 až 14,7°C. Pretvorenia konštrukcie od účinku tlaku sú malé, pretože sa konštrukcia meria v stave ako je, teda i s účinkom výstelky, ktorá chráni vnútorný povrch konštrukcie a je s ňou spriahnutá.

### 4 Záver

Príspevok sa zaoberal tepelno-napätostnou analýzou steny 1. plynojemu šachty lokalizácie havárie (barbotážnej veži) s uvážením nelineárneho chovania železobetónu a so zohľadnením porušovania materiálu. Analýzou sme zistili priebeh napätí a deformácií v celej betónovej konštrukcii. Z výsledkov analýz vyplýva, že stena je dostatočne únosná v prípade havárie hlavného potrubia (LOCA 500) pri tlaku 100, 150kPa a prevádzkovej teploty. Analýza ukázala problémy pri zaťažení teplotou, kde na vonkajšej strane obvodovej steny 1.plynojemu môže nastať stav výrazného prekročenia ťahových napätí a dôjsť k vzniku trhlín. S vnútornej strany hermeticky uzavretej zóny sú tlakové napätia, ktoré nedosahujú pevnosť betónu v tlaku.

### Pod'akování

*Tento projekt bol realizovaný za finančnej podpory grantovej agentúry MŠ SR VEGA s registračným číslom 1/0849/08.*

### Literatura

- [1] Králik, J. Cesnak, J. (2001) Nonlinear Analysis of Power Plant Buildings with the VVER 230 Reactor after a Loss off Coolant Accident. In: *Slovak Journal of Civil Engineering*. Slovak University of Technology Bratislava, Vol. 3, pp.18-32.
- [2] Králik, J. (2002a) Safety and Reliability Analysis of Concrete Containment Considering Concrete Cracking Due to Loss Coolant Accident, *Engineering Structures*, Alfa Bratislava, roč.50, č.3, pp. 19-25.
- [3] Cesnak,J.,Králik,J.,Bartók,A.: Statický výpočet HVB-JE-V2 v Jaslovských Bohuniciach na vnútorný pretlak 100 a 150kPa. ZoD 04-24-95, SvF STU Bratislava, 1996.
- [4] Žmindak M., Nozdrovický M., Melicher R., Termomechanická analýza železobetónovej konštrukcie šachty reaktora. In: *Acta Mechanica Slovaca*, 2008.

# STANOVENÍ POVRCHOVÉ KONCENTRACE CHLORIDŮ KOMBINACÍ INVERZNÍ ANALÝZY 1D MODELU A LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

DETERMINATION OF CHLORIDE SURFACE CONCENTRATION BY COMBINING  
INVERSE 1D MODEL ANALYSIS AND LABORATORY TESTING

Břetislav Teplý<sup>1</sup>

## Abstract

Due to difficulties in direct measuring of the chloride surface concentration on concrete structures exposed to de-icing salts an application a combination of the inverse 1D model and laboratory testing is suggested.

## 1 Úvod: Koroze výztuže a působení chloridů

Za nejčastější příčinu degradace železobetonových konstrukcí je považována koroze ocelové výztuže. K narušení pasivační vrstvy (bránící vzniku koroze), k tzv. depasivaci výztuže dochází kromě karbonatace betonu také působením chloridů – v našich podmínkách zejména chemickými rozmrazovacími látkami. Difúze chloridových iontů v betonu je obvykle výrazně rychlejší, než postup karbonatace; v dalším se proto omezíme jen na sledování vlivu chloridů.

Pravděpodobnostní hodnocení tohoto iniciačního stádia je popsáno podmínkou

$$P_f(t_D) = P\{C_{cr} - C_a(t_D) \leq 0\} \leq P_d \quad (1)$$

kde  $P_f$  je pravděpodobnost poruchy ve smyslu dosažení kritické koncentrace chloridů v místě výztuže. Ve vztahu (1) je  $C_a$  je koncentrace chloridů v hloubce krycí vrstvy  $a$ , dosažená v čase  $t_D$  a k jejímu stanovení je nezbytná znalost chloridové „zátěže“ na povrchu betonu, tj. povrchové koncentrace  $C_{s,0}$ .

V dalším období, tj. po dosažení  $C_{cr}$  pak za přítomnosti kyslíku a vlhkosti může docházet ke korozi výztuže (propagační perioda). Vznikají korozní produkty, které mají několikanásobně větší objem a jejichž nárůst způsobuje vznik trhlin a později vede i k odlučování krycí vrstvy betonu, ke změnám v soudržnosti oceli s betonem a současně i k zmenšení efektivní plochy výztuže s možnými důsledky pro tuhost, únosnost a životnost konstrukce.

## 2 Metodika náhradního stanovení povrchové koncentrace chloridů

Pro popis časově závislého procesu průniku chloridů existuje několik odlišných přístupů. Velké množství modelů využívá Crankova řešení 2. Fickova zákona, který popisuje proces difúze. Např. dle [1]:

---

<sup>1</sup> Prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc., VUT v Brně, Žitkova 17, 61600 Brno, teply.b@fce.vutbr.cz

$$C(x,t) = C_{s,0} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_a t}} \right) \right] \quad (2)$$

kde je koncentrace chloridových iontů v hloubce  $x$  pro časový úsek  $t$  (obvykle  $x = a$ , kde  $a$  je krycí vrstva),  $D_a$  je difúzní koeficient, tj. veličina závislá na kvalitě/druhu betonu, obecně proměnná v čase a  $C_{s,0}$ . Bohužel, poslední jmenovaná veličina není běžně známa, protože měření povrchové koncentrace je technicky, organizačně, časově a ekonomicky náročné a obtížné.

Proto pro existující, degradací již postižené konstrukce je navrženo náhradní řešení kombinací jednorázových laboratorních zkoušek a zpětného dosazení do modelu (2):

- 1) Konstrukce je podrobena inspekci za účelem rozhodnutí o lokalitách, kde bude nutné/vhodné degradaci posoudit.
- 2) Jsou odebrány vzorky konstrukce – jádrové vývrty, resp. práškové (s oddělením materiálu po hloubce vrtu); stáří konstrukce je známo.
- 3) Odebrané vzorky se podrobí laboratorním rozborům – určuje se koncentrace  $\text{Cl}^-$  v různých hloubkách od povrchu až po výztuž.
- 4) Opakovaným (pro všechny vzorky) zpětným výpočtem modelu 1D – vztah (2), tj. dosazením hodnot  $C(x,t)$  získaných na odebraných vzorcích vypočteme hodnoty  $C_{s,0}$ .
- 5) Tyto hodnoty pak lze využít pro podrobnější analýzu rozložení koncentrace chloridů ve zkoumané konstrukci a jejich prognózu v čase – např. technikou celulárních automat [2]. Určí se tak oblasti, kde je již dosažena hodnota  $C_{crit}$  a kde tedy lze očekávat korozi výztuže. Tu je pak také možno prognózovat pomocí příslušného modelu a posoudit pak relevantní mezní stav, resp. posoudit zbytkovou životnost.

### 3 Aplikace

Výše popsaná metodika byla aplikována na příkladu mostu přecházejícího nad dálnicí. Přitom měla být posuzována degradace spodní části vodorovných prvků mostu způsobená vlivem solení dálnice a turbulencí od dopravy pak ve formě aerosolu působící na most nad dálnicí. Přímé a dlouhodobé měření povrchové koncentrace chloridů na spodní straně V – segmentů bylo neschůdné a použití výše naznačeného postupu se osvědčilo. Konkrétní výsledky budou presentovány na konferenci.

*Tento výsledek byl získán v rámci činnosti projektu IM0579 - výzkumné centrum CIDEAS a projektu P105/10/1156 (GAČR).*

### Literatura

- [1] COLLEPARDI M., MARCIALIS A. & TURRIZIANI R., 1972, *Penetration of chloride ions into cement pastes and concrete*, J. Am. Ceram. Soc., **55**[10], 534-535.
- [2] PODROUŽEK J., TEPLÝ B. *Modelling of chloride transport in concrete by cellular automata*. Engineering Mechanics. 2008, 15(3):1-10.

# OPTIMIZATION OF LAMINATE PLATE SUBJECTED TO MAXIMUM STRAIN CRITERION

Eva Kormaníková<sup>1</sup>

## Abstract

Most past work on laminate optimization is based on the use of continuous variables. The thicknesses of layers with the known orientation, referred to as the thickness variables, will be used as design variables. The optimization problem with strength constraints will be formulated to minimize the laminate weight. The design is optimized using continuous variables, but the final thickness can be rounded off to integer multiples of the commercially available layer thickness.

## 1 Introduction

The unidirectional fibrous composite materials are the directional dependence of the strength on a macroscopic scale. Composite layers are much stronger in the fiber direction than in the direction perpendicular to the fibers. For loads that are primarily parallel to the fibers, either in the tension or compression, the material strength is generally governed by the failure of the fibers. For loads transverse to the fibers, failure is controlled by the failure of the much weaker matrix material.

## 2 Strength design with thickness design variables

We will consider the optimal design of a symmetric balanced laminate with fixed orientation angles. Because of the laminate symmetry, only the thicknesses  $t_k, k = 1, \dots, I$ , of one-half of the total number of layers,  $I = N/2$ , are used as design variables. The laminate is considered to be under the action of combined uniform in-plane stress resultants  $N_x$  and  $N_y$ . We will design of a laminate with orientation of angle  $[0/45/-45/90]_S$  under loading  $N_x = 725.6$  kN/m,  $N_y = 181.4$  kN/m. Properties of the layers correspond to that of AS4/3501-6 Carbon/Epoxy material:  $E_1 = 132.8$  GPa,  $E_2 = 10.6$  GPa,  $\nu_{xy} = 0.3$ ,  $G_{12} = 5.9$  GPa. The maximum strain failure limits for the material are  $\varepsilon_1^t = \varepsilon_1^c = 0.0115$ ,  $\varepsilon_2^t = \varepsilon_2^c = 0.00535$  and  $\gamma_{12}^s = 0.02$ .

The optimization problem is formulated in the following form:

$$\text{minimize } W = \sum_{k=1}^I 2\rho_k t_k \quad (1)$$

$$\text{subject to } g_{kj} = \left( P_j^{(k)} \varepsilon_{1k} + Q_j^{(k)} \varepsilon_{2k} + R_j^{(k)} \gamma_{12k} \right) - 1 \leq 0 \quad (2)$$

for  $k = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J,$

where  $\rho_k$  and  $t_k$  are the density and the thickness, respectively, of the  $k$ -th layer,  $P_j^{(k)}$ ,  $Q_j^{(k)}$ ,  $R_j^{(k)}$ , are coefficients that define the  $j$ -th boundary of a failure envelope for each

---

doc. Ing. Eva Kormaníková, PhD., TU v Košiciach, Stavebná fakulta, UIS, Katedra stavebnej mechaniky, Vysokoškolská 4, eva.kormanikova@tuke.sk

layer in the strain space, and the  $\varepsilon_{1k}, \varepsilon_{2k}, \gamma_{12k}$  are the strains in the principal material direction in the  $k$ -th layer. For a maximum strain criterion, which puts bounds on the values of the strains in the principal material directions, the failure envelope has four facets with  $P$  and  $Q$  defined as a inverse of the normal failure strains in the longitudinal and transverse directions to the fibers, once in tension and once in compression. The coefficient  $R$  is the inverse of the shear failure strain for positive shear and for negative shear.

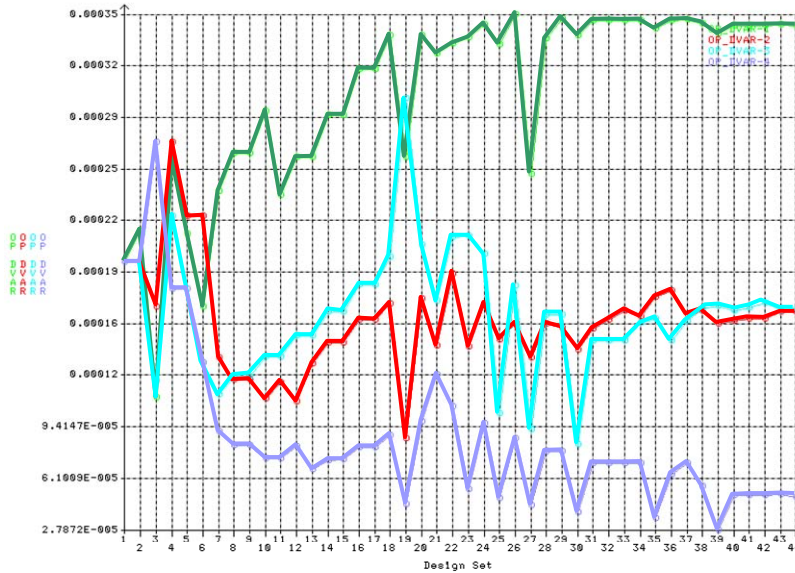


Fig. 1: Design variables during the optimization process

### 3 Conclusion

Finding a strength design of laminate thickness is the following process. First, the design was formulated in terms specific to the problem. For the modeling and analysis we used the classical laminate theory and Bernoulli/Kirchhoff hypothesis for plates. Second, the problem was established as a mathematical optimization problem. In the frame of numerical optimization we made the minimization of weight subject to strength constraints. Design variables were thicknesses of layers of the laminate plate.

Finally, the problem was solved using SLP method in the numerical example. Maximum number of iterations of SLP was 100. Inside the SLP method there was used the modified feasible direction algorithm (MFD). The MFD has the own iterative process within each optimization loop. There where used the Kuhn-Tucker conditions for constrained problem. The objective function value in the first design step is 8.4N. The general optimization process was stopped after 44 design sets. The objective function value after optimization process is 7.757434N. In the figure 1 there are shown changes of design variables during the optimization process. The total thickness of the laminate is 1.4776 mm. The design can be rounded off to integer multiples of the commercially available layer thickness.

### Acknowledgement

*Preparation of the paper has been supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences under Projects 1/0673/10 a 1/0135/10.*

# THE HYDRODYNAMIC EFFECTS ON CONTAINER DEVELOPED DURING AN EARTHQUAKE

HYDRODYNAMICKÉ ÚČINKY NA NÁDRŽ VZNIKAJÚCE POČAS ZEMETRASENIA

Kamila Kotrasová<sup>1</sup>

## Abstract

This paper provides the theoretical background of simplified seismic design of liquid storage ground-supported tanks. It takes into account impulsive and convective (sloshing) actions of the liquid in concrete tanks fixed to rigid foundations. The procedure has been adopted in [4, 5, 9]. This paper follows the influence of filling level and category of sub-soil of concrete tank on total base shear ( $V$  and  $V'$ ) and overturning moment ( $M$  and  $M'$ ).

## 1 Introduction

Large-capacity ground-supported tanks are used to store a variety of liquids, e.g. water for drinking and fire fighting, petroleum, chemicals, and liquefied natural gas. Satisfactory performance of tanks during strong ground shaking is crucial for modern facilities. Tanks that were inadequately designed or detailed have suffered extensive damage during past earthquakes [2-5].

## 2 Simplified procedure for fixed base cylindrical tanks

Seismic design of liquid storage tanks has been adopted in [4, 5, 9]. When a tank containing liquid vibrates, the liquid exerts impulsive and convective hydrodynamic pressure on the tank wall and the tank base, in addition to the hydrostatic pressure. The dynamic analysis of a liquid – filled tank may be carried out using the concept of generalized single – degree – of freedom (SDOF) systems representing the impulsive and convective modes of vibration of the tank – liquid system. For practical applications, only the first convective mode of vibration needs to be considered in the analysis (Figure 1). The impulsive mass of liquid  $m_i$  is rigidly attached to tank wall at height  $h_i$  (or  $h'_i$ ). Similarly convective mass  $m_c$  is attached to the tank wall at height  $h_c$  (or  $h'_c$ ) by a spring of stiffness  $k_c$ . The mass, height and natural period of each SDOF system are obtained by the methods described in [4, 5, 9, 14]. For a horizontal earthquake ground motion, the response of various SDOF systems may be calculated independently and then combined to give the net base shear and overturning moment. The most tanks have slimness of tank  $\gamma$ , whereby  $0,3 < \gamma < 3$ . Tank's slimness is given by relation  $\gamma = H/R$ , where  $H$  is the height of filling of fluid in the tank and  $R$  the tank radius [6 - 10].

---

<sup>1</sup> Ing. Kamila Kotrasová, PhD., Institute of Structural Engineering, Department of Structural Mechanics, Technical University of Košice, Faculty of Civil Engineering, Slovakia, (kamila.kotrasova@tuke.sk)

### 3 Solution, results and discussion

Let us have a ground supported rectangular endlessly long shipping channel, having dimension of  $L = 5$  m and height  $H_w = 3$  m. Walls have uniform thickness of 0.25 m. The base slab is  $h = 0.4$  m thick. The shipping channel is filled with water to the height 2.6 m, Figure 6. There is no roof slab on the tank. The tank is situated on hard soil. MS Excel is used for numerical modeling of the problem. We consider only horizontal earthquake loading by using of recording of real accelerogram Loma Prieta, California (18.10.1989), which is shown in Figure 7 in dependence on time; seismic excitation is only along x - direction.

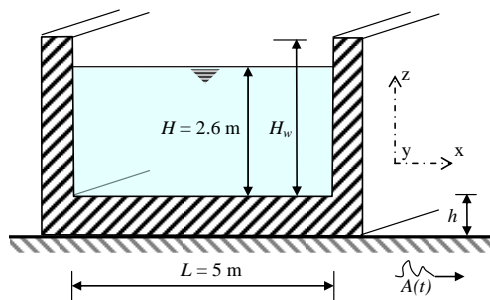


Figure 6. Details of tank geometry

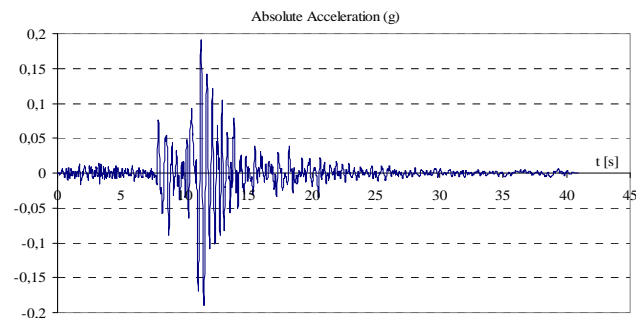


Figure 7. Akcelerogram Loma Prieta

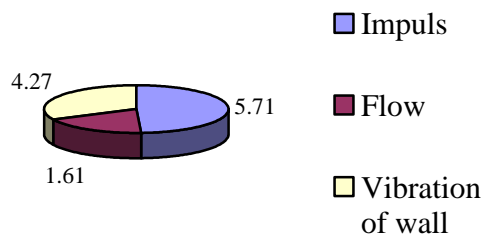


Figure 8. Comparison parts of base shear  $V$  caused only by influence of seismic loading at the bottom of the wall of reservoirs

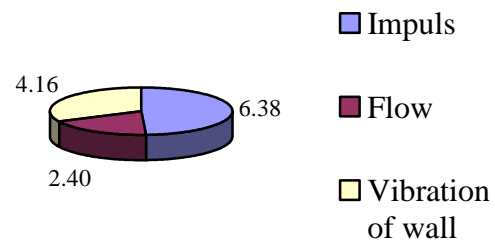


Figure 9. Comparison parts of bending moment  $M$  caused only by influence of seismic loading at the bottom of the wall of reservoirs

### 4 Conclusion

Figure 8 shows the parts of base shear  $V$  by influence of seismic loading at the bottom of the wall of reservoirs and figure 9 shows the part of bending moments  $M$  of ground supported tank immediately above the base plate caused only by influence of seismic loading. Influence of water on the wall of reservoirs during seismic loading (akcelerogram Loma Prieta, California (18.10.1989)) at the bottom of the wall of reservoirs is seen from figure 10, which shows comparison of influence of only hydrodynamic effects and of all effects of water on the wall.

### 5 Acknowledgements

This research has been supported by the Ministry of Education of the Slovak Republic under the Research Projects VEGA No.: 1/0673/10 and 1/0135/10.



# VÝPOČET ODEZVY KONSTRUKCÍ NA ÚČINKY SILNÉHO SEIZMICKÉHO ZATÍŽENÍ

CALCULATION OF THE RESPONSE OF THE STRUCTURES BY STRONG SEISMIC LOADING

Karel Pohl<sup>1</sup>

## Abstract

This paper will take in solve non-linear system of equations of dynamics problems by direct integration method and by non-linear pushover method. The results will be compared with standard linear solutions. The method which is the basis of nonlinear pushover method and which provides simplification of an access by way of response spectrum design reinforced concrete frames is new useful method.

## 1 Výpočet odezvy seizmicky zatížených konstrukcí

Výpočet odezvy konstrukce na seizmické zatížení se jeví jako poměrně komplikovaný, zejména svým nahodilým charakterem zatížení. Konstrukce je při tomto typu zatížení často vystavena mimořádnému stavu napjatosti a ve výpočtu je tak nutné zohlednit faktory, které se při běžném projekčním navrhování nevyskytují. Radíme sem jednak řešení pohybových rovnic přímou integrací, zohlednění materiálové a geometrické nelinearity, vliv plastického přetváření na výslednou odezvu konstrukce a podobně.

Nárůstem přetvoření konstrukce se začínají více uplatňovat geometrické nelinearity konstrukce, které se po dosažení větší míry deformace stávají klíčovým prvkem ve stanovení maximální zatížitelnosti konstrukce. Postupným vývojem plastických kloubů v konstrukci a dosažením statické přeurtivosti systému dochází k jeho kolapsu.

Při analýze konstrukcí je snahou najít vztah mezi působícím zatížením a odezvou konstrukce v podobě jejího přetvoření či napětí nebo jejich integrálních hodnot označovaných jako vnitřní síly, které vzdorují deformaci konstrukce. Při dynamickém zatížení se kromě vratných sil aktivují i síly setrvačné a síly tlumící, jež jsou v rovnovážném stavu s působícím zatížením. Před uskutečněním analýzy odezvy konstrukce je třeba uvažované fyzikální vztahy reprezentovat odpovídajícím matematickým modelem. V dynamických úlohách je odezva závislá jak na prostorových souřadnicích konstrukce, tak na čase. Vhodný matematický model musí tuto skutečnost zohlednit. Matematický model odpovídá soustavě diferenciálních rovnic druhého řádu, jejichž počet odpovídá počtu stupňů volnosti diskretizované konstrukce.

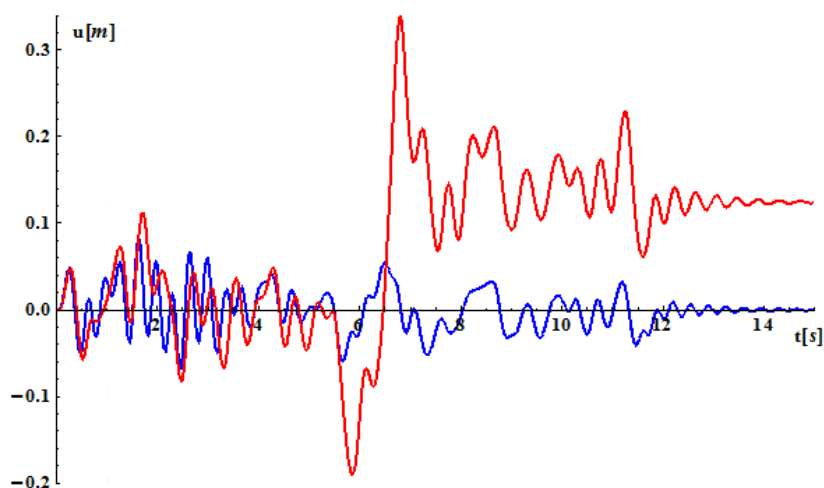
Úlohy, kde se uplatňuje účinek setrvačných sil, mohou být velmi „citlivé“ na změnu tuhostních charakteristik konstrukce, jež ovlivňují modální vlastnosti celého konstrukčního systému. Vlastní frekvence je integrální veličinou konstrukce a zohledňuje dynamické vlastnosti konstrukce jako celku. „Změkčením“ jednotlivých konstrukčních částí systému (sloupů, průvlaků apod.), nebo vznikem plastických kloubů, dojde k přeladění vlastních frekvencí na jiné hodnoty, než odpovídají nezatížené konstrukci. Tato změna frekvenčních hodnot může přiblížit konstrukci k rezonanční

<sup>1</sup> Ing. Karel Pohl, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra mechaniky, Thákurova 7, Praha 6, karel.pohl@fsv.cvut.cz

oblasti dynamického zatížení, které vyvolá vyšší odezvu konstrukce spojenou s nárůstem deformace a napjatosti systému. Toto přetížení opětovně pozmění modální vlastnosti a může tím konstrukci přivést do rezonanční odezvy, vedoucí až k poškození konstrukce.

V lineárních úlohách je dynamická úloha postavena na jednoznačném stanovení modálních charakteristik konstrukce a díky znalosti budícího zatížení zabránit rezonanci systému. V nelineárních úlohách s deterministicky určeným zatížením je situace komplikovanější pro nestálost modálních vlastností konstrukce. Postupným změkčováním systému při jeho přetížování a případným ztužováním při odtěžování jsou vlastní frekvence neustále ovlivňovány. Citlivost konstrukce na dynamické zatížení je tedy výrazně hůře odhadnutelná, než v případě statického zatížení.

V případě seizmického zatížení se díky neurčitosti samotného děje a nemožnosti predikovat průběh budoucího zatížení objevuje snaha vyjádřit seizmické zatížení na základě sledovaných záznamů seizmické aktivity. Seizmické síly jsou následně stanoveny pomocí spektra odezvy v závislosti na modálních charakteristikách konstrukce. Nelineární úlohy komplikuje nejen skutečnost nestálosti samotných modálních charakteristik konstrukce, ale i proměnnost samotného zatížení vlivem změny vlastních frekvencí.



Obr. 1: Patrové posunutí železobetonové rámové konstrukce od účinku silného seizmického zatížení získané Newmarkovou integrační metodou. Odezva pro lineární výpočet (modře), nelineární výpočet (červeně).

Metoda, která zohledňuje při výpočtu jak nelinearity konstrukce a proměnnost ekvivalentních seizmických sil, a zároveň si ponechává přednosti zjednodušujících metod používajících spektrum odezvy, je v tomto příspěvku označena jako „modifikovaná metoda statického přetížování“. Podle dostupných informací autora se jedná o nově publikovanou metodu.

Výsledky, jež poskytuje modifikovaná metoda statického přetížování, dobře odpovídají výsledkům získaných přímou integrací nelineárních pohybových rovnic. Modifikovaná metoda zohledňuje při návrhu seizmických sil jak změnu modálních charakteristik konstrukce, tak disipaci energie přetvářeného systému. Výsledky, které byly získány zatěžováním konstrukce jak v oblasti její dimenzované únosnosti, tak v oblasti plastického přetváření, se od výsledků přímou integrací liší v mezích nepřesahujících 10%-tní chybu výpočtu. Významnou předností této metody je kromě aplikace spektra odezvy skutečnost, že nároky na strojový čas jsou v případě nelineárních statických úloh řádově menší, než v případě řešení nelineárních dynamických úloh.

# DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE SEISMIC RESISTANCE OF THE STEEL BRIDGE STRUCTURE

DETERMINISTICKÁ A PRAVDEPODOBNOŠTNÁ ANALÝZA SEIZMICKEJ ODOLNOSTI KONŠTRUKCIE OCELOVÉHO MOSTA

Juraj Králik<sup>1</sup>, Juraj Králik,jr.<sup>2</sup>

## Abstract

This paper presents the experiences from the deterministic and probabilistic analysis of the reliability of the steel bridge support resistance due to earthquake loads. On the example of the steel bridge between two NPP buildings in the original and upgraded form is considered the efficiency of the system. The advantages of the utilization the LHS method to analyze the safety and reliability of the structures is presented.

## 1 Introduction

This paper deals with the resistance of the steel bracing systems of the bridge between two buildings in the nuclear power plants (NPP). The international organization IAEA in Vienna [3] set up the design requirements for the safety and reliability of the NPP structures. This bridge cannot be collapsed in the case of the earthquake [3]. The characteristic values of the loads are determined by mean return period of the extreme loads which is equal to one per  $10^4$  years. The deterministic and probabilistic analysis of the structure reliability is proposed in this paper [3]. The Eurocode 1990 [1] and JCSS [2] recommends the use of three levels of the reliability analysis.

The steel bridge connects the transversal electrical buildings of the modulus 1-2 and 3-4 of the JEMO NPP buildings. On the base of the dynamic analysis of the seismic resistance the steel bridge was upgraded. The structure of the bridge is sensitive to the excitation in the direction Y (Fig.1). The stiffness of upgraded bridge in the direction Y is higher than in the case of the original structure.

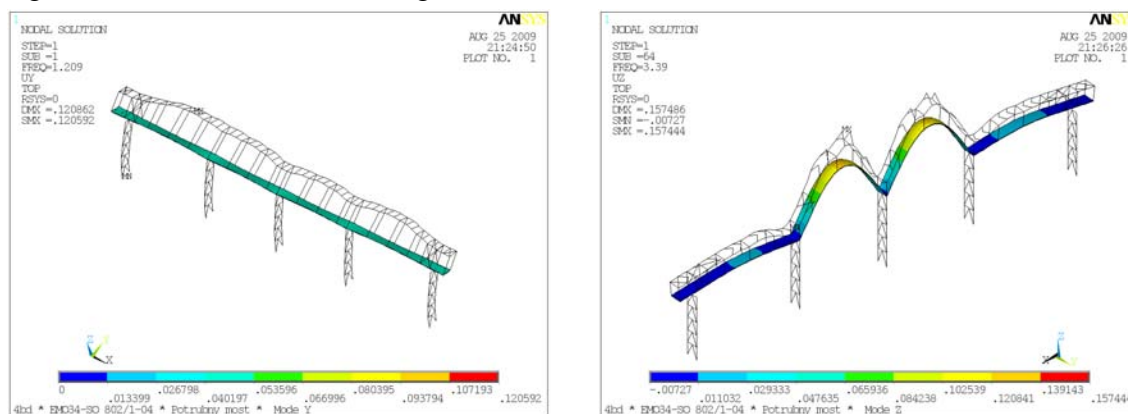


Fig. 1: The mode shape in direction Y and Z – upgraded model

<sup>1</sup> Juraj Králik, Assoc.prof.Ing.PhD., STU Bratislava, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, juraj.kralik@stuba.sk

<sup>2</sup> Juraj Králik,jr., Ing.PhD., STU Bratislava, Fakulta architektúry, Ústav konštrukcií v architektúre a inžinierskych stavieb, Námestie slobody 19, 812 45 Bratislava, juraj\_kralik@stuba.sk

The reliability function  $RF$  can be expressed generally as a function of the stochastic parameters  $X_1, X_2$  to  $X_n$ , used in the calculation of  $R$  (resistance) and  $E$  (action effect).

$$RF = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \tag{1}$$

In the case of simulation methods the failure probability is defined as the best estimation on the base of numerical simulations in the form [4]

$$P_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I[g(X_i) \leq 0] \tag{2}$$

where  $N$  in the number of simulations,  $g(\cdot)$  is the failure function,  $I[\cdot]$  is the function with value 1, if the condition in the square bracket is fulfilled, otherwise is equal 0.

## 2 Recapitulation of the safety and reliability analysis

The elements of the bridge steel structure were designed in accordance of the Eurocode requirements. The results from the capacity check of the deterministic analysis are shown in Table 1. There are described the safety level of the critical elements of the bridge structures with the support in accordance of the Eurocode [1].

The probabilistic analysis was realized using 1000 LHS simulations in program FReET [4]. The uncertainties of the input data was considered in the form of the histograms (see full paper).

HCLPF $\geq 0,15g$	Support		Bridge			Roof	
	Column	Bracing	Bot.beam	Bracing	Frame	Beam	Bracing
<b>Original model</b>							
Capacity [%]	31,0	46,1	37,8	117,0	67,2	92,8	6,5
HCLPF [g]	0,67	0,42	1,30	<b>0,08</b>	0,31	0,50	2,40
<b>Upgraded model</b>							
Capacity [%]	21,9	43,1	33,5	46,8	46,4	65,2	10,8
HCLPF [g]	2,14	0,35	3,65	1,38	<b>0,96</b>	2,85	2,93

Tab. 1: Comparison of the capacity check and HCLPF factor of the original and upgraded bridge

## 3 Conclusion

This paper presents the reliability analysis of the original and upgraded steel bridge resistance due to the earthquake even. The probability of the bridge structure failure was equal to  $P_f = 0,33155 > 10^{-4}$  of the original model and to  $P_f = 0,73275 \cdot 10^{-15} < 10^{-4}$  of the upgraded model on the base of the 1000 LHS simulation using program FReET [13]. The seismic resistance of the upgraded model of the bridge is equal to  $HCLPF = 0,96g > 0,15g$  what is higher than required.

## Acknowledgement

*This project was realized with the financial support of the Grant Agency of the Slovak Republic (VEGA 1/0849/08).*

## References

- [1] EN 1990, *Eurocode – Basis of structural design*. CEN Bruxelles. 2002.
- [2] JCSS-OSTL/DIA/VROU-10-11-2000, *Probabilistic Model Code, Part 1 Basis of Design*, Working material, <http://www.jcss.ethz.ch/>, 2001.
- [3] Králik, J.: *Safety and Reliability of Nuclear Power Buildings in Slovakia. Earthquake-Impact-Explosion*. Monograph. Edition STU Bratislava, 305 p, 2009.
- [4] Králik, J.: *Reliability Analysis of Structures Using Stochastic Finite Element Method*. Ed. STU Bratislava, 2009, 143 pp.

# DETERMINISTICKÁ A PRAVDEPODOBNOSTNÁ ANALÝZA ODOLNOSTI ŽELEZOBETÓNOVÉHO RÁMU S VÝPLŇOVÝM MURIVOM VYSTAVENÉHO EXPLÓZII

DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE RESISTANCE OF THE  
CONCRETE FRAME AND MASONRY WALL SYSTEMS DUE TO BLAST LOADING

Juraj Králik<sup>1</sup>, Peter Rozsár<sup>2</sup>

## Abstract

This paper deals with deterministic and probabilistic analysis of concrete frame and masonry infilled wall system subjected to the blast load. Analysed structure was subjected to the blast load from explosion of 100kg TNT distanced 15m from structure. There is used RSM method for probabilistic analysis. The nonlinear transient analysis is used considering the William-Warnke failure criterion for concrete frame and the same failure criterion for masonry infilled wall.

## 1 Materiálový model betónu a muriva

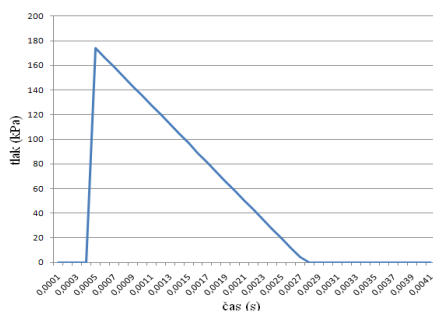
V tejto práci budeme používať William – Warnke podmienky porušenia materiálu pre priestorový stav napätosti.

Podmienka porušenia pri trojosovom stave napätosti je definovaná v tvare

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (1)$$

kde  $F$  je funkcia vyjadrená v zložkách hlavných napätí závislá od typu funkcie plasticity,  $f_c$  je pevnosť betónu v jednoosom tlaku,  $S$  predstavuje limitnú hodnotu funkcie porušenia.

## 2 Zaťaženie od explózie



Obr. 1: Funkcia tlaku v čase od explózie 100kg TNT

Detonáciou sa nazýva veľmi rýchla a stabilná chemická reakcia, ktorá sa šíri explozívnyim materiálom nadzvukovou rýchlosťou. Časť energie sa uvoľňuje ako tepelné žiarenie, a časť je uvoľnená do ovzdušia a podložia ako radiálne sa šíriace tlakové vlny. V tomto článku bude základné zaťaženie pre deterministický výpočet tlak od výbuchu 100kg TNT vo vzdialenosti 15m od rámu. Funkcia tlaku v čase je znázornená na obr.1.

<sup>1</sup> Doc.Ing. Juraj Králik, PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, 81368 Bratislava, Radlinského 11, juraj.kralik@stuba.sk

<sup>2</sup> Ing. Peter Rozsár., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, 81368 Bratislava, Radlinského 11, peter.rozsar@stuba.sk

### 3 Porovnanie deterministickej a pravdepodobnostnej analýzy

Metóda	Max.medzipodlažný posun $d_{r,príp}=0,065$				Max. hor. posun $U_{max,príp}=0,0035m$			
	Min	Max	Mean	St.dev	Min	Max	Mean	St.dev
Deterministický			0,27 .10 <sup>-4</sup>				0,95 .10 <sup>-4</sup>	
Pravdepod.	0,92 .10 <sup>-6</sup>	0,56 .10 <sup>-4</sup>	0,26 .10 <sup>-4</sup>	0,62 .10 <sup>-5</sup>	0,3 .10 <sup>-5</sup>	0,19 .10 <sup>-3</sup>	0,9 .10 <sup>-4</sup>	0,21 .10 <sup>-4</sup>
Pravd. poruchy			1.10 <sup>-6</sup>				1.10 <sup>-6</sup>	

Tab. 1: Výsledky deterministickej a pravdepodobnostnej analýzy

### 4 Záver

V príspevku sme sa zaoberali deterministicou a pravdepodobnostnou analýzou železobetónového rámu s výplňovým murivom vystaveným explózií 100kg TNT 15m od konštrukcie. V príspevku uvažujeme s porušovaním všetkých použitých materiálov, ako aj s variabilitou ich vlastností. Pravdepodobnostnou metódou RSM sú stanovené pravdepodobnosti poruchy pre jednotlivé sledované posudzované veličiny. Na záver článok ukazuje citlivostnú analýzu, ktorá sa zaoberá ukázaním citlivosti sledovaných posudzovaných veličín na variabilitu vstupných parametrov.

### Pod'akovanie

*Táto úloha bola riešená za podpory GA MŠ SR v rámci úlohy VEGA No1/0849/08.*

### Literatura

- [1] Bangash, M.Y.H.(1993): Impact and explosion. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- [2] Departments of the Air Force, Army, and Navy (1990), Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Air Force Manual 88-22, Army Technical Manual 5-1300, and Navy Publication NAVFAC P-397, Revision 1, Washington, DC.
- [3] EN 1991-1-7. Eurocode 1 - Actions on structures Part 1-7: General Actions - Accidental actions. 2004.
- [4] EN 1998: Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN may 2000.
- [5] FEMA (2003): Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attack against Buildings, NEHRP USA.
- [6] Králik,J.-Rozsár,P.(2009): Nonlinear Analysis of the Reinforced Concrete Wall Subjected to Blast Loading. In Engineering Mechanics, Svratka, 11.-14.may 2009, p.146-147, ISBN 978-80-86246-35-2, Full Text in CD, 11pp.
- [7] Smith,P.D.-Hetherington,J.G.(1994): Blast and Ballistic Loading of Structures , Butterworth-Heinemann, Oxford

# VZPERNÁ ODOLNOST PŘI STRATE STABILITY OHYBOM PRŮTOVÝCH KONŠTRUKCÍ S JEDNOTNOU GLOBÁLNOU A LOKÁLNOU ZAČIATOČNOU IMPERFEKCIU

FLEXURAL BUCKLING RESISTANCE OF FRAMES WITH UNIQUE GLOBAL AND  
LOCAL INITIAL IMPERFECTION

Ivan Baláž<sup>1</sup>, Yvonna Koleková<sup>2</sup>

## Abstract

Basic formulae for determination of the flexural buckling resistance of frames with unique global and local initial imperfection. The presented procedure is valid also for members with non-uniform cross-sections or/and under non-uniform axial compression forces. Similar formulae given in EN 1993-1-1 [1] are limited to frames with uniform cross-sections and compression forces. Detailed description of the procedure with iterative calculation. Derivation of the reduction factor  $\chi$  for the relevant buckling mode.

## 1 Flexural buckling resistance of frames with members with “ugli” imperfection

Flexural buckling resistance of the frame, which consists of members with variable cross-sections, with any boundary conditions, supports and/or variable foundation and under variable axial forces may be verified by the following condition

$$\left( \frac{N_{Ed}(x)}{N_{Rd}(x)} + \frac{M_{Ed,ugli}^II(x)}{M_{Rd}(x)} \right)_{\max} \leq 1 \quad (1)$$

where

$M_{Ed,ugli}^II(x)$  is the bending moment distribution, which is the result of axial forces acting in members of frame having unique global and local initial imperfection („ugli“ imperfection). The design values of this bending moment shall be calculated by the 2<sup>nd</sup> order theory. The „ugli“ imperfection is an equivalent geometrical imperfection, which purpose is to cover in numerical model all imperfections (geometrical and structural) of real structure.

The characteristics relating to critical cross-section, which is the cross-section relevant for assessment of flexural buckling resistance of the frame, are below denoted by index „*m*“. The most onerous condition (1) occurring in critical cross-section „*m*“, may be then rewritten in the form

$$\frac{N_{Ed,m}}{N_{Rd,m}} + \frac{M_{Ed,ugli,m}^II}{M_{Rd,m}} \leq 1 \quad (2)$$

The “ugli” imperfection is defined as follows

<sup>1</sup> Ivan Baláž, prof. Ing. PhD., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Radlinského 11, SK-813 68 Bratislava, ivan.balaz@stuba.sk

<sup>2</sup> Yvonna Koleková, doc. Ing. PhD STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra stavebném mechaniky, Radlinského 11, SK-813 68 Bratislava, yvonna.kolekova@stuba.sk

$$\eta_{ugli}(x) = \eta_{0,ugli,m} \eta_{cr}(x) \quad (3)$$

where

$\eta_{cr}(x)$  is the first elastic critical buckling mode, with the amplitude  $|\eta_{cr}(x)|_{\max} = 1$ .

$\eta_{0,ugli,m}$  is the amplitude of „ugli“ imperfection

$$\eta_{0,ugli,m} = \frac{N_{cr,m} e_{0,m}}{EI_m |\eta_{cr,m}''|} = \alpha_{cr} \frac{N_{Ed,m} e_{0,m}}{|M_{\eta_{cr,m}}|} \quad (4)$$

$$e_{0,m} = \alpha_m (\bar{\lambda}_m - 0.2) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}}, \text{ for } \bar{\lambda}_m > 0.2 \quad (5)$$

NOTE. – The formula (7) given in [1] is incorrect and it must be replaced by (5):

$$e_{0,d,m} = e_{0,k,m} \frac{1 - \chi_m \bar{\lambda}_m^2}{1 - \chi_m \bar{\lambda}_m^2}, \text{ where } e_{0,k,m} = \alpha_m (\bar{\lambda}_m - 0.2) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}}, \text{ for } \bar{\lambda}_m > 0.2 \quad (7)$$

It is interesting to see, that

$$k(\alpha, \bar{\lambda}) = \frac{1}{1 - \chi(\alpha, \bar{\lambda}) \bar{\lambda}^2}, \quad \alpha_{cr}(\alpha, \bar{\lambda}) = \frac{1}{\chi(\alpha, \bar{\lambda}) \bar{\lambda}^2} \quad (26)$$

Formulae (26) may be very useful especially in education process at universities.

Derivations given in this paper show consistency of verification of frame with „ugli“ imperfection with verification by equivalent member method using „li“ imperfection.

## Acknowledgements

The project 1/0652/09 was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences.

## References

- [1] STN EN 1993-1-1: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. SÚTN Bratislava, November 2006. (EN 1993-1-1, CEN Brussels May 2005).
- [2] STN EN 1993-1-1/NA. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. National Annex. SÚTN Bratislava, December 2007.
- [3] EN 1999-1-1: Design of aluminium structures. Part 1-1: General structural rules. CEN Brussels March 2007.
- [4] Baláž, I. – Ároch, R. – Chladný, E. – Kmeť, S. – Vičan, J.: Navrhovanie oceľových konštrukcií podľa Eurokódov STN EN 1993-1-1:2006 a STN EN 1993-1-8:2007. SKSI Bratislava, máj 2007.
- [5] Sedlacek, G. – Eisel, H. – Hensen, W. – Kühn, B. – Paschen, M.: Leitfaden zum Fachbericht DIN 103. Stahlbrücken. Ausgabe März 2003. Ernst & Sohn, A Wiley C. 2004.
- [6] Baláž, I.: Determination of the flexural buckling resistance of frames with members with non-uniform cross-section and non-uniform axial compression forces. Zborník XXXIV. aktívu. 16.-17. 10. 2008, Pezinok, KKDK SvF STU v Bratislave, str.17-22.
- [7] Baláž, I.: Resistance of metal frames with UGLI imperfections. XII. Mezinárodní vědecká konference u příležitosti 110. výročí založení FAST VUT v Brně, 20-22 duben 2009. Sekce: Inženýrské konstrukce, s.11-14.



# VLIV ORIENTACE VLÁKEN CEMENTOVÉHO KOMPOZITU V DŮSLEDKU EXTRUZE NA HODNOTY LOMOVĚ-MECHANICKÝCH PARAMETRŮ

EFFECT OF FIBRES ORIENTATION TO MECHANICAL/FRACTURE PARAMETERS  
VALUES OF EXTRUDED CEMENT-BASED COMPOSITE

Ladislav Řoutil<sup>1</sup>, Jan Eliáš<sup>2</sup>, Václav Veselý<sup>3</sup>, Zbyněk Keršner<sup>4</sup>,  
Petr Tihlařík<sup>5</sup>, Josef Knězek<sup>6</sup>

## Abstract

Selected results of fracture experiments on special fibre cement-based composite specimens are presented in this paper. The specimens are prepared from bulk material produced by extrusion technique. The aim of the paper is to verify the effect of the orientation of fibres in the material on values of mechanical/fracture parameter of the extruded composite.

## 1 Materiál, výroba vzorků

Extruzí speciálního cementového kompozitu s ocelovými vlákny lze vyrobit řadu stavebních dílců a prvků, jako jsou např. fasádní prvky, stěnové a stropní dílce, okenní parapety, schodišťové stupně, podhledové prvky, distanční tělíska pro výrobu železobetonových konstrukcí a další. Pohyb směsi při tváření prvku průchodem ústí způsobuje zřejmě afinitu uspořádání vláken ke směru pohybu – dochází k přednostní orientaci vláken v podélném směru. Cílem příspěvku je ověřit tuto hypotézu na základě hodnot lomově-mechanických parametrů.

Směs vláknocementového kompozitu se pro extruzi připravuje hnětením všech složek v dvouhřídelovém hnětači a vytlačuje se šnekovým lisem. Na Obr. 1 je využité modifikované cihlářské zařízení – potřebné úpravy byly provedeny ve Výzkumném ústavu stavebních hmot, a.s. Z extrudovaného materiálu byla získána tělesa tvaru hranolu, jejichž profil byl podélně rozříznut tak, aby vznikly zkušební vzorky A, B (Obr. 1).

## 2 Určení hodnot lomově-mechanických parametrů, výsledky testů

Hodnoty lomových parametrů vyšetřovaných kompozitů byly určovány z testů na těleších s nominálními rozměry 22,5 × 19 × 200 mm ve zkušební konfiguraci třibodového ohybu. Před zkouškou byly pomocí pily s diamantovým kotoučem vzorky opatřeny zářezem, a to přibližně do třetiny výšky tělesa. Testy proběhly na lisu Zwick/Roell Z 100 v laboratoři Ústavu stavební mechaniky FAST VUT v Brně, přičemž zatěžování zkušebních vzorků probíhalo spojitě za požadavku konstantního přírůstku průhybu (1,5

<sup>1</sup> Ing. Ladislav Řoutil, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, routil.l@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Ing. Jan Eliáš, Ph.D., dtto, elias.j@fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> Ing. Václav Veselý, Ph.D., dtto, vesely.v1@fce.vutbr.cz

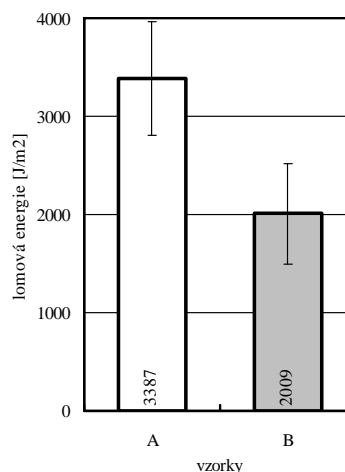
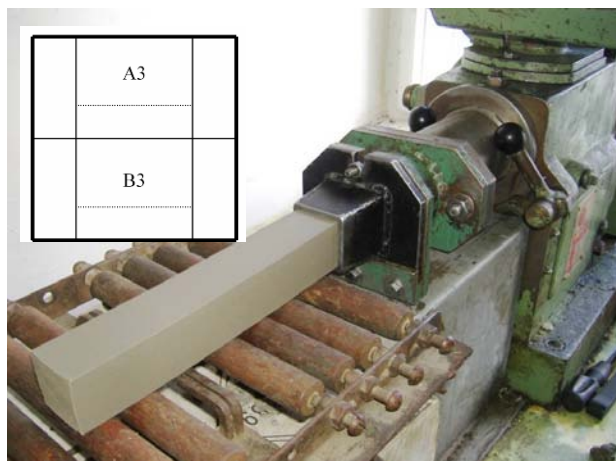
<sup>4</sup> doc. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, kersner.z@fce.vutbr.cz

<sup>5</sup> Ing. Petr Tihlařík, Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno, p.tihlarik@seznam.cz

<sup>6</sup> Ing. Josef Knězek, CSc., dtto, knezek@vustah.cz

mm/min) uprostřed rozpětí (160 mm). Byl zaznamenáván diagram síla–posun, kterého se v jeho úvodní pasáži využilo k odhadu hodnoty statického modulu pružnosti. Dále byly – pomocí modelů ekvivalentní elastické trhliny – stanoveny hodnoty kritické délky efektivní trhliny a efektivní lomové houževnatosti. Z kompletního diagramu síla–posun byla (po jeho korekci vzhledem k možné ztrátě stability při zatěžování) vyčíslena lomová práce, resp. specifická lomová energie.

Výsledky provedených zkoušek jsou v článku prezentovány ve formě aritmetických průměrů hodnot sledovaných parametrů (určovaných obvykle z devíti měření), proměnlivost jednotlivých měření vyjadřují příslušné chybové úsečky (hodnoty výběrové směrodatné odchylky) – na Obr. 2 jde o hodnoty specifické lomové energie.



Obr. 2: Specifická lomová energie – aritmetické průměry a výběrové směrodatné odchylky

### 3 Závěry

Extruze speciálního cementového kompozitu s ocelovými vlákny představuje moderní technologii výroby, jejíž osvojení s ohledem na řadu přístupujících faktorů přináší řadu otázek pro praktické využití vláknocementových prvků a dílců.

Získané výsledky jasně ukazují, že vzorky A, u nichž byla při lomovém experimentu namáhána okrajová oblast rozříznutého vytlačeného profilu, vykazují vyšší hodnoty spotřebované práce pro porušení/lom než je tomu u vzorků B, u nichž byla naopak namáhána/tažena středová oblast profilu. To lze považovat za průkaz, že technologie výroby prvků z těchto kompozitů extruzí způsobuje usměrňování orientace vláken.

Tento experiment by bylo vhodné doplnit ještě výsledky z testů na tělesech vyráběných jinou technologií, které by mohly odpovědět na otázku, zda ke změně orientace vláken dochází i blízko centra průřezu výtlačku či pouze u jeho povrchů. Mělo by být také analyzováno rozložení vláken (včetně jejich četnosti, nikoli pouze orientace) po průřezu, aby se ověřilo, zda nedochází k vystředování vláken k povrchu výtlačku.

### Poděkování

*Příspěvek vznikl v rámci projektu MŠMT ČR 1M06005, výzkumné centrum CIVAK. Při řešení byly částečně využity teoretické výsledky dosažené v projektu GA ČR 103/08/0963. Poděkování patří také Ing. Vojtěchu Škrobovi, který se podílel na vyhodnocení lomových experimentů.*

# VYHODNOCENÍ LOMOVÝCH TESTŮ VZORKŮ Z EXTRUDOVANÉHO CEMENTOVÉHO KOMPOZITU S OCELOVÝMI VLÁKNY S VYUŽITÍM PROGRAMU SIMBEFRAM

EVALUATION OF FRACTURE TESTS OF SPECIMENS OF EXTRUDED FIBRE  
CEMENT-BASED COMPOSITE USING SIMBEFRAM SOFTWARE

Jan Bedáň<sup>1</sup>, Radim Jansa<sup>2</sup>, Michal Štafa<sup>3</sup>, Hana Šimonová<sup>4</sup>, Petr Frantík<sup>5</sup>,  
Zbyněk Keršner<sup>6</sup>

## Abstract

Selected results of fracture experiments and numerical model with special fibre cement-based composite specimens are presented in this paper. The aim is the comparison of mainly mechanical parameter values of two sets of specimens. The values of elasticity modulus/effective stiffness and effective strength are introduced using fracture test results as well as results of numerical simulation by the simple bending fracture model (*SimBeFraM* software).

## 1 Úvod, lomové experimenty a jejich vyhodnocení

Článek představuje výsledky vyhodnocení lomových testů, prováděných na vzorcích vytvořených extruzí ze speciálního cementového kompozitu s ocelovými vlákny. Vyhodnocení vychází z aproximace experimentálně získaných závislostí síla–posun pomocí jednostupňového modelu lomu programem *SimBeFraM* (Simple Bending Fracture Model).

Extruzí uvedeného kompozitu ve Výzkumném ústavu stavebních hmot, a.s. se získaly hranoly, jejichž profil byl podélně rozříznut, čímž vznikly zkušební vzorky označené A, resp. B. Po vytvoření centrálního zářezu (pilou s diamantovým kotoučem do 1/3 výšky tělesa) se u vzorků A při lomovém experimentu namáhala část profilu s neporušenou povrchovou částí, kdežto u vzorků B naopak oblast střední. Byly připraveny dvě sady těles po devíti vzorcích s nominálními rozměry 22,5×19×200 mm. Hodnoty lomových parametrů se určovaly z testů ve zkušební konfiguraci tříbodového ohybu (rozpětí 160 mm), při kterých bylo možné zaznamenávat diagram síla–posun. Úvodních pasáží získaných diagramů bylo využito k odhadu hodnot statického modulu pružnosti.

## 2 Program *SimBeFraM*, výsledky

Program *SimBeFraM* aplikuje jednoduchý model ohýbaného trámce se zářezem, schopný výstižně aproximovat i komplexní diagramy odezvy vzorků z kompozitních materiálů. Model idealizuje úlohu omezením se na řešení roviny předpokládaného lomu

---

<sup>1</sup> Jan Bedáň, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, BedanJ@study.fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Radim Jansa, dtto, JansaR@study.fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> Ing. Michal Štafa, dtto, stafa.m@fce.vutbr.cz

<sup>4</sup> Ing. Hana Šimonová, dtto, simonova.h@fce.vutbr.cz

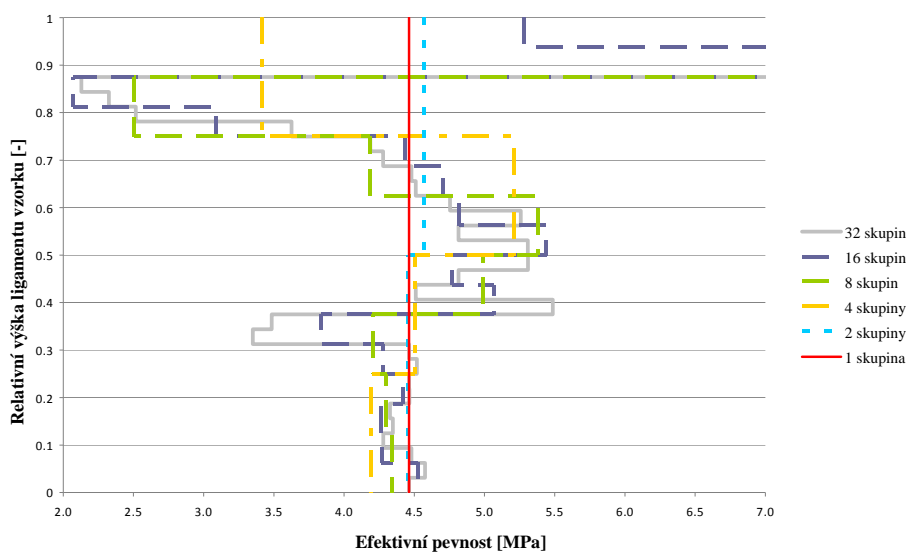
<sup>5</sup> Ing. Petr Frantík, Ph.D., dtto, kitnarf@centrum.cz

<sup>6</sup> doc. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, kersner.z@fce.vutbr.cz

a to pomocí skupin pseudo-vláken s bi-lineárními pracovními diagramy. Každou skupinu vláken popisují tři parametry: efektivní tuhost/modul pružnosti, efektivní pevnost a koeficient přetvárné práce. Díky nízké výpočetní náročnosti programu je pro dosažení shody modelu s naměřenými daty využito genetických algoritmů.

Použití programu *SimBeFraM* se zde soustředí na dva cíle: (1) ověřit možnost použití nalezené aproximace pro stanovení počáteční tuhosti testovaného vzorku a (2) vyšetřit schopnost modelu vystihnout, díky přesnosti aproximace, změnu hodnot vybraných vlastností materiálu vzorku po jeho výšce v místě lomu.

Vybrané výsledky lze nalézt v plném textu příspěvku: hodnoty statického modulu pružnosti z lomových experimentů, hodnoty efektivní tuhosti získané ze simulací příslušného experimentu (diagramu zatížení vs. posun) pomocí programu *SimBeFraM* a poměry těchto hodnot. Z výsledků je patrné, že se zvyšování počtu skupin vláken projevuje např. zvýšením variability hodnot efektivní pevnosti – pro ilustraci viz Obr. 1.



Obr. 1: Hodnoty efektivní pevnosti po výšce ligamentu zkušebního tělesa A5 při použití různého počtu skupin vláken

### 3 Závěr

V příspěvku byly uvedeny vybrané výsledky z lomových experimentů vzorků ze speciálního cementového kompozitu s ocelovými vlákny. Porovnávaly se hodnoty statického modulu pružnosti z diagramů zatížení–posun (zjištěných na tříbodově namáhaných vzorcích s centrálním zářezem) a hodnoty efektivní tuhosti získané na základě aproximace těchto diagramů jednostupňovým modelem lomu (program *SimBeFraM*). Ukázalo se, že je díky modelu možné stanovit variabilitu hodnot vlastností po výšce ligamentu otestovaného vzorku. Bude ovšem dále zapotřebí ověřit, zdali, a jakým způsobem, odpovídá změřitelné variabilitě vlastností ve skutečném vzorku.

### Poděkování

*Příspěvek vznikl v rámci projektu MŠMT ČR IM06005, výzkumné centrum CIVAK. Při řešení byly částečně využity teoretické výsledky projektu GA ČR 103/08/0963. Poděkování patří také Ing. Vojtěchu Škrobovi za podíl na vyhodnocení lomových testů.*

# MODELY LOMOVÝCH POVRCHŮ CEMENTOVÝCH MATERIÁLŮ

## MODELS OF FRACTURE SURFACES OF CEMENT MATERIALS

Tomáš Ficker<sup>1</sup>

### Abstract

This contribution deals with the digitalized fracture surfaces of cement-based materials. Confocal microscopy as one of the possible imaging techniques producing digitalized maps of fracture surfaces is employed in the research of surface properties of these materials.

### 1 Úvod

Zájem o studium lomových povrchů materiálů je vyvolán možností získat cenné technické informace nejen o vlastním procesu lomu, ale také o fyzikálních a chemických vlastnostech samotného materiálu. Výjimkou nejsou ani lomové povrchy stavebních materiálů, a to především cementových materiálů, kterým je v poslední době věnována obzvláštní pozornost.

Lomový povrch materiálů lze zkoumat buď přímo na reálné lomové ploše („*in situ*“) nebo přeneseně na modelu, resp. kopii plochy, která byla vytvořena pomocí některé vhodné zobrazovací techniky. Každý z těchto způsobů má svoje výhody a nevýhody, ale volba kteréhokoliv z nich musí vždy vycházet z povahy testované veličiny. Na příklad zjišťování chemických veličin bude z pochopitelných důvodů upřednostňovat způsob „*in situ*“, zatímco pro řadu fyzikálních vlastností je vhodnější vytvářet obrazové projekce nebo přímo digitální kopie lomových povrchů a na nich provádět měření softwarově. Typickým příkladem jsou úlohy metrologické, např. proměření mikroskopických trhlin, zlomů, výčnělků nebo zjišťování plošné velikosti lomového povrchu (pokládání plošných měrek) nebo stanovování parametrů drsnosti lomových ploch apod.

### 2 Zobrazovací techniky

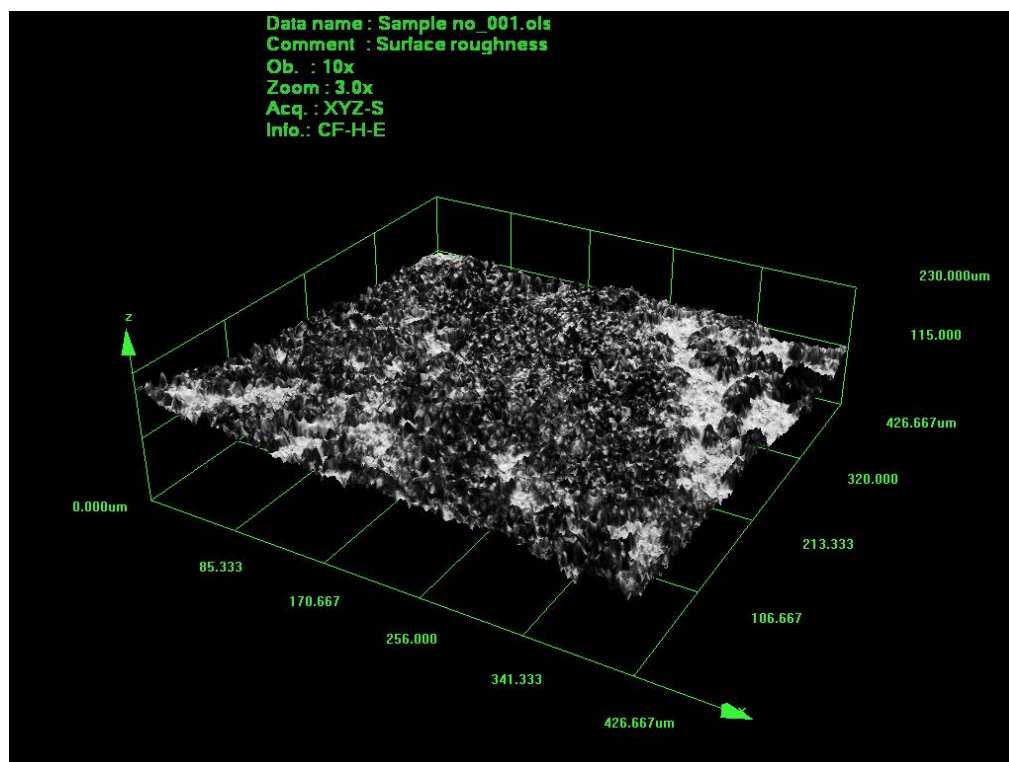
Pokud jde o vhodné techniky pro vytváření digitálních obrazů lomových povrchů, lze říci, že existuje vícero způsobů, jak tyto obrazy vytvořit. Na příklad je možné digitálními profiloměry snímat po určitých krocích lomový povrch a z výsledných profilových křivek softwarově generovat povrchový reliéf. Samotné profiloměry mohou být buď kontaktní s hrotovým dotykem, nebo bezkontaktní, kdy laserový paprsek skenuje povrch v jistých mezích. Do třídy bezkontaktních „profiloměrů“ by se dal s jistou dávkou tolerance zařadit také konfokální mikroskop.

#### 2.1 Konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskop nevytváří sérii svislých řezů (tj. profilových křivek), nýbrž sérii vodorovných řezů, tj. horizontálních vrstevnic, ze kterých se pak softwarově konstruuje trojrozměrný reliéf lomového povrchu (obr. 1). Tuto digitální mapu lze pak pohodlně analyzovat navazujícím softwarem.

<sup>1</sup> Prof. RNDr. Tomáš Ficker, DrSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky, Veveří 95, 602 00 Brno, ficker.t@fce.vutbr.cz

Konfokální mikroskopie zaznamenává v současné době bouřlivý rozvoj. Zdokonaluje se neustále nejen technická stránka tohoto zařízení, ale rozšiřují se také aplikační oblasti.



Obr. 1: Digitální mapa lomového povrchu vytvořená konfokálním mikroskopem. Materiál: hydratovaná cementová pasta

### 3 Závěr

Studium digitálních trojrozměrných modelů lomových povrchů umožnil technický rozvoj konfokální mikroskopie, která se stává platným výzkumným nástrojem materiálového inženýrství v oblasti lomových povrchů [1]. V hlavním článku tohoto příspěvku je ilustrován proces digitalizace lomového povrchu a provedena analýza jeho drsnosti. Na sérii vzorků lomových povrchů hydratované cementové pasty (prostého Portlandského cementu) je ukázáno, že s rostoucí hodnotou vodního činitele (hmotnostní poměr vody k cementu) roste drsnost lomového povrchu a s ní klesá pevnost v tlaku tohoto materiálu. Existuje tedy přímá korelace mezi pevností v tlaku a drsností lomového povrchu. Tento jev – drsnost versus pevnost – zasluhuje detailnější pozornost a bude na něj zaměřena naše výzkumná aktivita i v příštím období.

### Poděkování

Práce byla podpořena MŠMT ČR v rámci programu KONTAKT – Grant č. ME 09046.

### Literatura

- [1] FICKER, T. 2008. Fractal strength of cement gels and universal dimension of fracture surfaces. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2008, 50, 167-17.

# NUMERICKÁ STUDIE VLIVU ŠÍŘKY DRÁŽKY PRO APLIKACI ZATÍŽENÍ NA CHOVÁNÍ INICIAČNÍ TRHLINY V TĚLESE PRO WST

NUMERICAL STUDY OF INFLUENCE OF THE GROOVE WIDTH FOR THE LOAD APPLICATION ON THE BEHAVIOUR OF INITIATION CRACK IN WST SPECIMEN

Stanislav Seitl, Jan Klusák<sup>1</sup> a Ladislav Řoutil<sup>2</sup>

## Abstract

Wedge splitting test (WST) presents a useful experimental test for the determination of fracture parameters for civil materials e.g. cement based composites. In this paper cube-shaped WST specimens are studied in framework of linear elastic fracture mechanics. The main aim of the presented contribution is focused at the influence of the groove corner (an additional singular stress concentrator to the initial crack) in the load-imposing area of the specimen on the stress field around the crack tip (the principal stress concentrator).

## 1 Úvod

Přes již rozsáhlé použití Wedge splitting test – WST (např. [2]) doposud nebyla provedena podrobná analýza vlivu okrajových podmínek WST, zahrnující koncentrátor napětí (pravoúhlý V-vrub) tvořený drážkou pro vložení čelistí rozevírajících těleso, na pole napětí v okolí kořene šířící se trhliny. Cílem příspěvku je za použití metody konečných prvků (MKP) analyzovat uvedený vliv. Poznamenejme, že příspěvek uceluje analýzu šíření trhliny ve vzorcích pro WST, a tedy navazuje na předchozí práce spoluautorů, ve kterých postupně numericky analyzovali jednotlivé možné okrajové podmínky [1].

Dosažené výsledky jsou zobrazeny na obr. 1 a 2, kde jsou uvedeny normované hodnoty součinitele intenzity napětí  $B_1$  a normované hodnoty pro parametr charakterizující constraint  $B_2$  v závislosti na poměru  $f/W$ . Poznamenejme, že pro poměr  $f/W = 0,3$ , tzn.  $f = 30$  mm, jsou hodnoty  $B_1$  a  $B_2$  uvedeny v práci [1] a sloužily jako kontrolní parametry při sestavování numerického modelu pro studovaný vliv rohového koncentrátoru napětí.

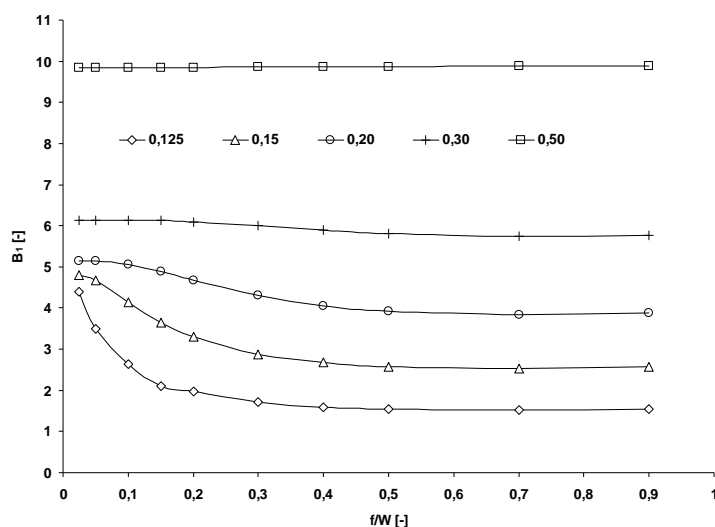
V příspěvku je provedena numerická analýza WST vzorku používaná při experimentálním stanovování lomově mechanických parametrů, zejména cementových kompozitů. Vyšetřoval se vliv blízkosti druhého možného singulárního koncentrátoru napětí na pole napětí v okolí kořene trhliny. Získané výsledky vedou k následujícím doporučením pro provádění studované zkoušky. Vhodný poměr  $f/W$  by měl obecně nabývat hodnot větších než 0,3. Při provádění WST na vzorcích s krátkým počátečním zářezem je třeba upozornit na nebezpečí vliv koncentrátoru napětí způsobeného koutem

---

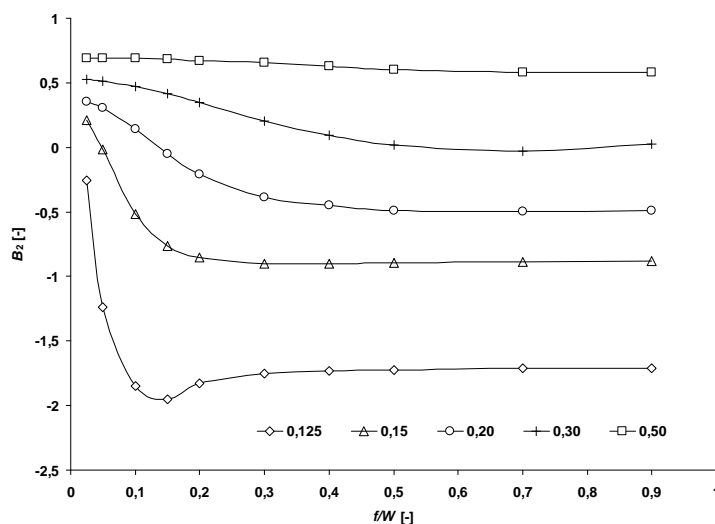
<sup>1</sup> Stanislav Seitl, Ing., Ph.D., Jan Klusák, Ing., Ph.D., Ústav fyziky materiálů, Akademie věd České republiky, v.v.i., Žižkova 22, 616 62, [seitl@ipm.cz](mailto:seitl@ipm.cz), [klusak@ipm.cz](mailto:klusak@ipm.cz)

<sup>2</sup> Ladislav Řoutil, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, Brno, [routil.l@fce.vutbr.cz](mailto:routil.l@fce.vutbr.cz)

v drážce pro rozevírající čelisti. Pro tyto vzorky z grafu plyne, že by bylo vhodné použít poměr  $f/W$  alespoň 0,5, ale je zde nebezpečí fraktury vzorku z vrubu pod čelistí.



Obr. 1. Závislost součinitele intenzity napětí, vyjádřeného pomocí  $B_1$ , na poměru  $f/W$  pro jednotlivé rozměry  $\alpha = 0,125; 0,15; 0,20; 0,30; 0,50$



Obr. 2. Závislost T-napětí, vyjádřeného pomocí  $B_2$ , na poměru  $f/W$  pro jednotlivé rozměry  $\alpha = 0,125; 0,15; 0,20; 0,30; 0,50$

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je KJB200410901.*

## Literatura

- [1] SEITL, S., DYMÁČEK, P., KLUSÁK, J., ŘOUTIL, L., VESELÝ, V. 2009a Two-parameter fracture analysis of wedge splitting test specimen, *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, B.H.V. Topping, L.F. Costa Neves and R C. Barros (eds), Funchal, Civil-Comp Press, 2009.
- [2] XIAON, J., SCHNEIDER, H., DONNECKE, C., KONIG, G. Wedge splitting test on fracture of ultra high strength concrete, *Construction and Building Materials* 18 (2004) s. 359–365.



## PRÚT NAMÁHANÝ TLAKOM - EXPERIMENT

### THE BEAM LOADED IN COMPRESSION - EXPERIMENT

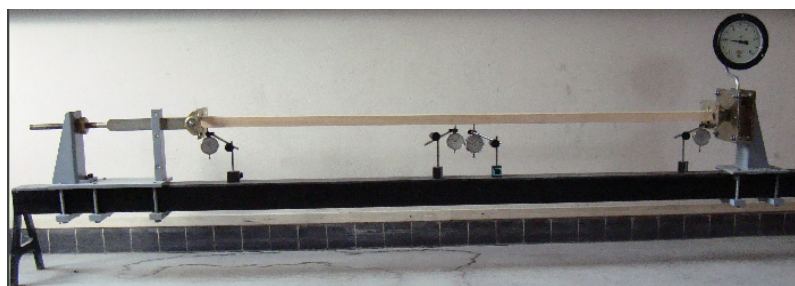
Monika Nagyová<sup>1</sup>, Ján Ravinger<sup>2</sup>

#### Abstrakt

A special problem of the frequency of the beam loaded in compression is presented. In the case of the linearised stability and if the force is close to the elastic critical load the natural frequency limits to zero. Taking into account the nonlinear theory and the real boundary conditions and for the force close to the elastic critical load, the natural frequency is infinitesimal value. This phenomenon has been proved by an experiment. The special new equipment has been used for the experimental verification. The ball-bearing produces the hinge support and the producing of the force using the thread bar system can follow the displacement.

#### Anotácia

Nedeštruktívne metódy identifikácie vlastností konštrukcie sa opierajú o konfrontáciu teoreticko-numerickej výsledkov s výsledkami z experimentu. Široké uplatnenie nachádza metodika porovnávania vypočítaných a nameraných frekvencií. Ak je sústava lineárna, tak numerické vyhodnotenie vlastnej kruhovej frekvencie je pomerne nenáročný úkon. Problém je potom samotné meranie frekvencie spojenej s určením tlmiacich vlastností konštrukcie. Špecifická situácia ale nastáva v prípadoch konštrukcií, u ktorých je možnosť straty stability. Stabilita ako jav je nelineárna úloha. Postavenie problému kombinácie stability a dynamiky vedie na množstvo zaujímavých javov. Jeden dôležitý problém je určenie vlastnej kruhovej frekvencie prúta namáhaného tlakom resp. určenie vplyvu tlakovej sily na frekvenciu prúta. Pri uvažovaní posuvnej podpory by mala byť frekvencia rovná nule. Pri zafixovaní podpory frekvencia limituje k nekonečnu. Tomuto problému je venovaný predložený článok (Obr.2). Správnosť teoreticko-numerickej výsledkov bolo skúmané aj pomocou experimentu, k tomuto účelu bolo vyhotovené zariadenie podľa obrázku 1.

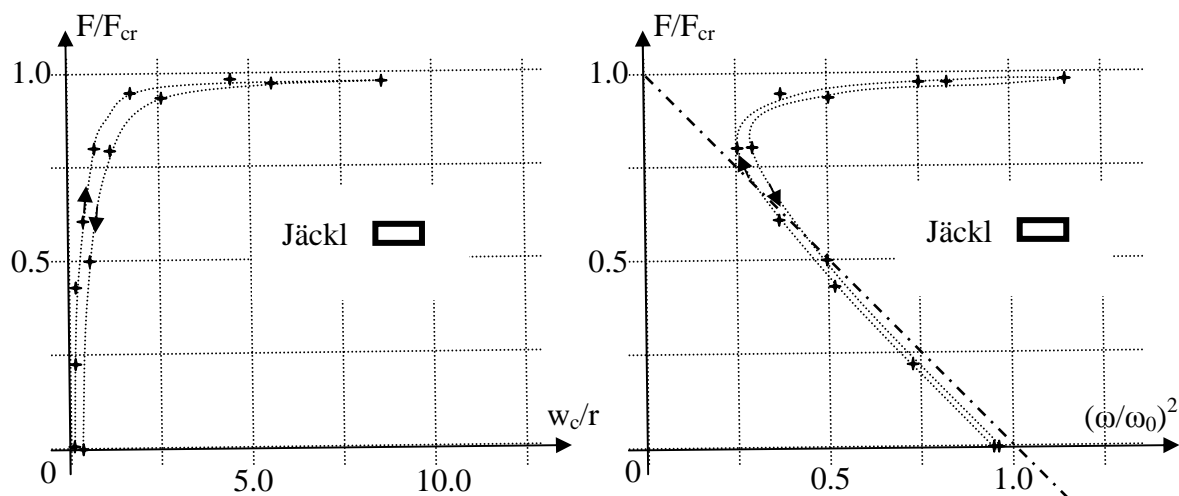


Obr. 1 Pohľad na zostavu pri meraní priehybov

<sup>1</sup> Monika Nagyová, Ing., Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, 813 68 Bratislava, [monika.nagyova@stuba.sk](mailto:monika.nagyova@stuba.sk)

<sup>2</sup> Ján Ravinger, prof. Ing. DrSc., Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, 813 68 Bratislava, [jan.ravinger@stuba.sk](mailto:jan.ravinger@stuba.sk)

Skúmané boli viaceré materiály s rôznou dĺžkou a fyzikálnymi vlastnosťami, a to uzavretý oceľový profil typu Jäckl, drevené hranoly rozmerov 47/47 mm a 42/32 mm.



Obr. 9 Experimentálne merania uzavretého tenkostenného oceľového profilu Jäckl

Ako vhodné zvolené sa ukázali :

- Použitie guľôčkové ložiská pre modelovanie kĺbového podoprenia
- Vnášanie sily do prúta cez závitovú tyč t.j. riadená deformácia resp. tuhý režim zaťažovania

Ako nevhodné sa ukázalo :

- Meranie premiestnení (priehybov) indikátorovými hodinkami

Aj keď merania boli sprevádzané s malými nepresnosťami, získané výsledky potvrdili jav, že pri približovaní sa tlakového zaťaženia ku kritickej sile rastie frekvencia nosníka. Stabilita je stále otvorený problém v teórii konštrukcií. Pre spresnenie analýz je nutné mať poznatky o „nedokonalostiach“ konštrukcie. Získané výsledky ukazujú na možnosť ako identifikovať počiatkové deformácie.

## Podakovanie

Projekt bol realizovaný za financovanej podpory grantovej agentúry MŠ SR VEGA s registračným číslom 1/0666/08.

## Literatúra

- [1] BAŽANT, Z. P. – Cedolin, L.: Stability of Structures. Oxford University Press. New York-Oxford. 1991.
- [2] MELCER, J.: Dynamické výpočty mostov na pozemných komunikáciách. Žilinská univerzita v Žiline, 1997
- [3] RAVINGER, J.: Vibration of an Imperfect Thin-walled Panel. Part 1: Theory and Illustrative Examples. Part 2: Numerical Results and Experiment, *Thin-Walled Structures*, 1994, Vol. 19, No 1, 1-36.
- [4] RAVINGER, J. – KLEIMAN, P.: Natural Vibration of Imperfect Columns and Frames. *Building Research Journal*, 2002, Vol. 50, No 1, 49-68

# STUDIE STATICKÉHO CHOVÁNÍ KORUGOVANÉHO POTRUBÍ

## THE STUDY OF THE STATIC BEHAVIOUR OF THE CORRUGATED PIPE

Jan Plášek<sup>1</sup>, Jiří Kytýr<sup>2</sup>, Roman Gratza<sup>3</sup>

### Abstrakt

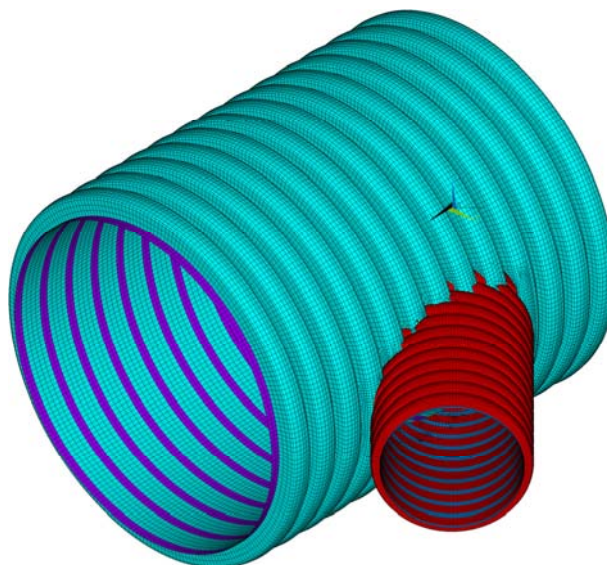
The study deals with the simulation of the thermoplastic corrugated pipe for the sewerage system. 3D patterns of shell elements were created for the straight pipes of outer diameters 160 mm, 400 mm and branch composed from these diameters. Load was applied as earth pressure acting on exposed face. Maximal availability depth for these parts of pipes system were determined and compared. The problem was solved by ANSYS program system.

### 1 Úvod

Cílem studie je prověřit statické chování kanalizační plastové korugované trubky a odbočky (obr. 1) uložené v zemi. Kanalizační termoplastové potrubí může mít různý tvar podélného řezu stěny trubky. Snahou je ze statického hlediska vytvořit trubku o dostatečné kruhové tuhosti při použití minima materiálu. Přitom musí být zachována funkčnost potrubí (např. hladký vnitřní povrch, dostatečná tloušťka vnitřní stěny z důvodu opotřebení) a odolnost potrubí proti vnějšímu mechanickému poškození.



Obr. 1: Pohled na tvarovku z plastového korugovaného potrubí



Obr. 2: Skořepinový model korugované odbočky

<sup>1</sup> Ing. Jan Plášek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95 602 00 Brno, e-mail: plasek.j1@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Ing. Jiří Kytýr, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95 602 00 Brno, e-mail: kytir.j@fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> Ing. Roman Gratza, Ph.D. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95 602 00 Brno, e-mail: gratza.r@fce.vutbr.cz

## 2 Závěr

Použité modely ze skořepinových prvků zatížené náhradním tlakem od zeminy nemusí správně vystihnout chování reálného potrubí. Také použití vodorovného klidového zemního tlaku pro částečně poddajné potrubí neodpovídá zcela skutečnému chování. Ukázalo se, že u odbočky částečně ovlivňují řešení i okrajové podmínky.

Při krátkodobém působení zatížení je mezním kritériem pro určení maximální hloubky uložení napětí. Naopak u dlouhodobého působení zatížení je rozhodující deformace příčného řezu.

Větší průměry potrubí při stejné kruhové tuhosti je možno uložit do menší hloubky. Hladká potrubí se stejnou tuhostí lze uložit do větších hloubek oproti potrubím korugovaným. Korugovaná potrubí mají však menší spotřebu materiálu a tím i nižší cenu, přestože je výroba náročnější.

Výrobce udává hloubku uložení termoplastového korugovaného potrubí o kruhové tuhosti  $SN8$  hodnotou 5,4 m až 6 m [4], a to podle způsobu provedení zásypu. Ukázalo se, že u některých skořepinových modelů částí potrubí nelze hloubku uložení splnit ani při krátkodobém působení zatížení (viz tab. 1). Všechny modely částí potrubí však nevyhoví při dlouhodobém působení zatížení, tj. na konci zvolené předpokládané životnosti 25 let. Na konci předpokládané životnosti však některá potrubí nelze pro nesplnění kritérií použít při zatížení dopravou. Model korugované odbočky při zatížení dopravou nesplnil podmínku maximálního napětí ani při krátkodobém působení zatížení. Z hlediska navrhování a posuzování plastových potrubí může být proto použití hodnot kruhové tuhosti  $SN$  získané z krátkodobých zkoušek zavádějící.

### Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění výzkumného záměru MSM 0021630519 Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce.*

### Literatura

- [1] ČSN EN ISO 9969 *Plastové trubky – Stanovení kruhové tuhosti*, Český normalizační institut, 2008.
- [2] ČSN EN 1778 *Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů*. Český normalizační institut, 2000.
- [3] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*, 2005.
- [4] <http://www.pipelife.cz>
- [5] Plášek, J. *Statická analýza částí korugovaného potrubí z termoplastu*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, ústav stavební mechaniky, Brno, 2010.
- [6] Theory Reference – ANSYS, relase 11.0.
- [7] TNV 75 0211 *Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi – statický výpočet*, 2000.

# MODELOVÁNÍ KONSTRUKCÍ TRIBUN

## SIMULATION OF GRANDSTANDS

Ondřej Rokoš<sup>1</sup>, Jiří Máca<sup>2</sup>

### Abstract

This article briefly describes biodynamic human models and loads induced by crowd on grandstands. Influence to modal characteristics of structure due to human occupation is shortly described. Finally, design procedure of structure response occupied by active and passive crowd is outlined.

### 1 Úvod

Moderní sportoviště se v současné době stávají součástí denní zábavy. Se záměry investorů a vlastníků jsou čím dál komplexněji využívány, což vede ke vzniku nových druhů zatížení. Změny využití dále ve spojení s cílem pojmout co největší počet diváků vedly k navrhování konzolových tribun, které umožňují ničím nerušený výhled spolu s úsporou místa. Důsledkem jsou měkčí konstrukce s nižšími vlastními frekvencemi, což může vést ke stavu blízkému rezonanci. Zvukové vjemy při poslechu hudby jako součást koncertů či sportovních utkání mohou stimulovat a koordinovat pohyb davu, který následně vyvoluje nezanedbatelné dynamické účinky. Nejnepříznivější situace nastává, může-li dav koordinovaně skákat. Vyvolané síly mnohonásobně převyšují ostatní druhy zatížení nastávající při jiných příležitostech. Na druhé straně pasivní část davu působí jako tlumič vibrací a účinně konstrukci tlumí. Zanedbání tohoto vlivu může být v některých případech příliš konzervativní. Z hlediska návrhu však normy neposkytují podrobné informace. Ve výpočetních modelech se většinou užívá statického zatížení, dynamického součinitele a přítomnost diváků reprezentují pevné hmoty, což není vždy dosti výstižné. Obecně dav na tribunách dělíme na dva druhy:

- aktivní
- pasivní.

Aktivní se pohybuje rytmicky či chaoticky a vyvoluje tak dynamické síly, které obsáhle popsal ve své práci J. H. Sim [1]. Pasivní dav pak zůstává v klidu. Analýza především konzolových tribun se zabývá interakcí davu s konstrukcí, kterou lze rozdělit do následujících částí:

- modelování pasivního davu a zkoumání změn vlastního kmitání konstrukce
- zkoumání dynamického zatížení vyvolaného aktivním davem
- analyzování interakce pasivního davu s konstrukcí při aplikaci dynamického zatížení
- vyhodnocení výsledných deformací, zrychlení a posouzení použitelnosti.

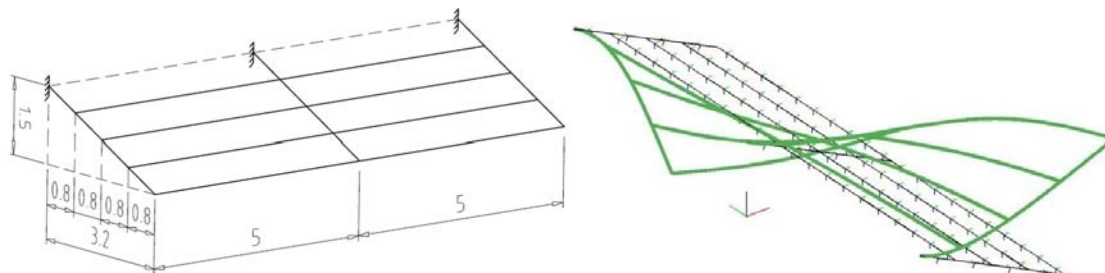
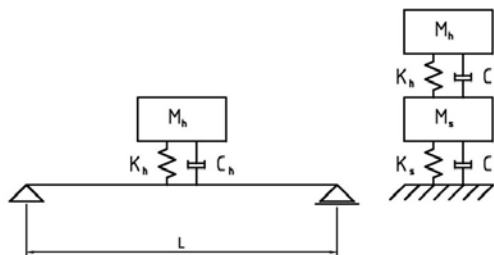
Cílem tohoto příspěvku je letmé seznámení se všemi body, především však návrh praktického postupu výpočtu s potřebným programovým vybavením.

<sup>1</sup> Ing. Ondřej Rokoš, ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, katedra mechaniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, e-mail: ondrej.rokos@fsv.cvut.cz, tel.:(+420) 22435 4478

<sup>2</sup> Prof. Ing. Jiří Máca, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, katedra mechaniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice, e-mail: maca@fsv.cvut.cz, tel.:(+420) 22435 4500

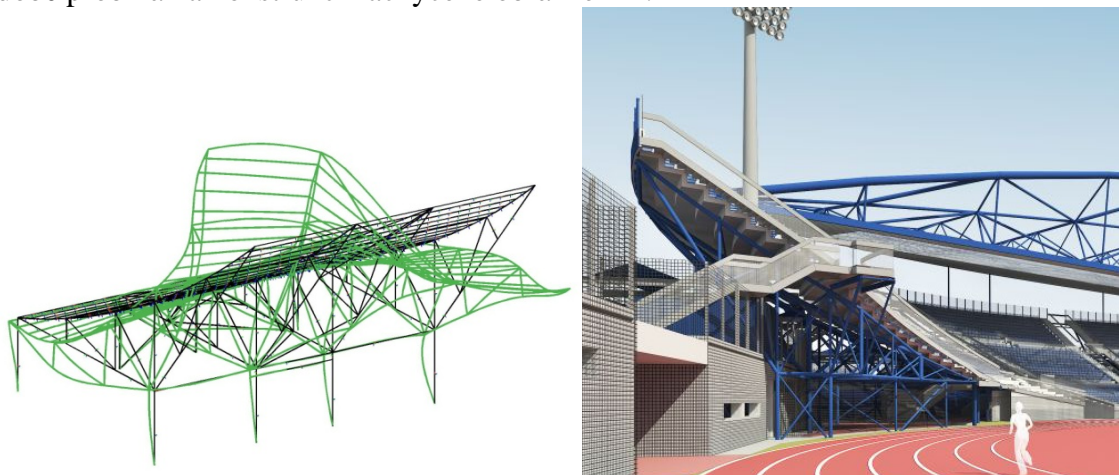
## 2 Diskuse problematiky

Lidský organismus se dá v nejjednodušším případě modelovat jako systém s jedním stupněm volnosti. Z měření vyplývají jeho charakteristiky: vlastní frekvence 5 Hz, poměrný útlum  $\xi = 0,32$ . Tento systém se dá považovat za tlumič vibrací v případě shody jednotlivých vlastních frekvencí. Problematika byla zkoumána na jednoduché modelové konzolové tribuně, viz obr. 1. Byla provedena analýza vlastního kmitání, konvergenční testy simulací Monte Carlo a porovnání modelu člověka jako tuhé hmoty s dynamickým systémem.



Obr. 1 – Výpočetní model konzolové tribuny, třetí vlastní tvar kmitání  $f_3 = 7,100$  Hz

Dalším krokem je provedení výpočtu na reálné konstrukci, porovnání výsledků s prakticky používaným postupem a měřeními. Tento srovnávací výpočet v současné době probíhá na konstrukci zachycené obrázkem 2.



Obr. 2 – Konstrukce použítá pro srovnávací výpočet – čtvrtý vlastní tvar  $f_4 = 3,835$  Hz, vizualizace modelu

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky a Studentské grantové soutěže. Registrační čísla projektů jsou 103/08/1642, SGS10/020/OHK1/1T/11.*

## Literatura

- [1] J. H. SIM, *Human-Structure Interaction in Cantilever Grandstands*, Doctor of Philosophy thesis at The university of Oxford, 2006

# ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ DEFORMACÍ ŽELEZOBETONOVÝCH PRUTOVÝCH KONSTRUKCÍ

## ALTERNATIVE ANALYSIS FOR SOLUTION OF REINFORCED CONCRETE FRAMES

Rostislav Zídek<sup>1</sup>, Luděk Brdečko<sup>2</sup>

### Abstract

The deflection of reinforced concrete frames is mainly influenced by crack development and by the rheology of concrete. The approach defined by ČSN EN 1992-1-1 [2], and a more sophisticated alternative means of considering these phenomena, which is used in the Asteres program, are both dealt with in this article. A simple beam is used as an example for the comparison of these theories.

### 1 Úvod

Pro analýzu přemístění železobetonových prutových konstrukcí autoři vyvíjejí výpočtový program ASTERES. Program je založen na metodě konečných prvků a umožňuje zohlednit materiálovou a geometrickou nelinearitu a reologické jevy betonu. Materiálová nelinearita je řešena vrstvičkovým přístupem, reologické jevy jsou zavedeny pomocí metody časové diskretizace. Pro srovnání je naprogramováno i určení tuhosti podle ČSN EN 1992-1-1 (Eurocode 2) zahrnující reologické působení.

### 2 Program Asteres

Prutový prvek na excentricitě implementovaný v programu, je používán samostatně pro betonovou část průřezu i pro jednotlivé vrstvy výztuže. Toto oddělení je výhodné zejména pro snadné zavádění deformačního zatížení způsobeného dotvarováním a smršťováním betonové části průřezu.

Z hlediska nelineárního chování materiálu se model snaží postihnout vliv plasticity výztuže, když napětí v oceli je odvozováno z bilineárního pracovního diagramu a to buď se zpevněním nebo bez něho. V tlačeném betonu se uvažuje nelineární pracovní diagram podle [2] – přímý vztah mezi napětím a deformací (obr. 2). Pro vyjádření vlivu trhlin v taženém betonu je použit model rozmazané kohezivní trhliny. Po dosažení meze porušení betonu v tahu se uvažuje určité reziduální napětí v postupně se rozvíjející trhlíně. Toto napětí vychází z míry rozevření trhliny

Dotvarování betonu závisí na dosaženém napětí, které je zpětně ovlivňováno dotvarováním. Proto je použita obecná metoda časové diskretizace.

### 3 Eurocode 2

EC2 pracuje s tuhostí tzv. částečně porušeného průřezu s jinou filosofií. Napětí v betonu v trhlíně se považuje za nulové, ale zvyšuje se tuhost oceli, díky spolupůsobení betonu

<sup>1</sup> Ing. Rostislav Zídek, Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 95, 602 00 Brno, e-mail: zidek.r@fce.vutbr.cz, tel.: +420 541 147 368.

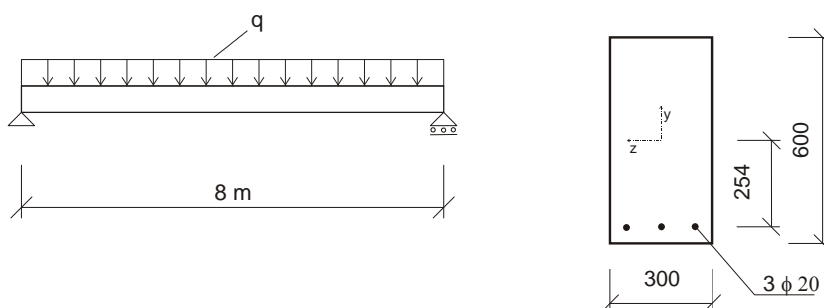
<sup>2</sup> Ing. Luděk Brdečko, Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 95, 602 00 Brno, e-mail: brdecko.l@fce.vutbr.cz, tel.: +420 541 147 368.

s výztuží mezi trhlinami. Změna tuhosti se určí jednorázově, redistribuce napětí se neuvažuje.

Pro vyjádření dotvarování je v EC2 dovoleno využívat efektivních modulů pružnosti. Tento způsob výpočtu však poskytuje přesné výsledky pouze v případech, kdy nedochází k redistribuci napětí ať už vlivem změn tuhostí po vzniku trhlin v případě staticky neurčitých konstrukcí nebo vlivem redistribuce napětí mezi betonem a výztuží.

#### 4 Řešený příklad

Cílem je srovnat prezentované postupy na jednoduchém příkladu, tak aby bylo možno pak používat zpřesněnou analýzu na složitějších konstrukcích. Příklad je volen tak, aby se v něm neprojevil vlivy, které by nebylo možno postihnout zjednodušeným postupem podle EC2 – redistribuce vnitřních u staticky neurčité konstrukce a redistribuce napětí mezi tlačenou výztuží a betonem vlivem dotvarování. Konfigurace zadání je na obrázku 1, číselné srovnání obou postupů potom v tabulce 1.



Obr. 4 Výpočtový model nosníku a jeho průřez

	EC 2	ASTERES
<b>Bez trhlin a dotvarování</b>		0,00746
<b>0 dnů od vnesení zatížení</b>	0,03296	0,03357
<b>10000 dnů od vnesení zatížení</b>	0,04253	0,04387

Tab. 1: Průhyby uprostřed nosníku v [m]

#### 5 Závěr

V rámci přijatých předpokladů poskytují obě metody přesné řešení pro typ úlohy, který je prezentován. Řešení shrnuté v tabulce 1 prokazuje dobrou shodu mezi řešením programem Asteres a zjednodušenou metodou podle EC2. To, spolu s teoretickými předpoklady, umožňuje předpokládat, že postupy, na nichž je program Asteres založen, poskytují dobrou predikci chování železobetonové konstrukce i pro případy, kdy dochází ke změně napětí v betonu vlivem redistribuce nebo pro konstrukce se složitější historií výstavby a zatěžování, pro které by tedy použití zjednodušené metody podle EC2 nemuselo přinést dobré výsledky.

#### Poděkování

*Příspěvek vznikl s finanční podporou MŠMT projekt č. MSM0021630519 a grantu GAČR P104/10/2359.*



# PLOCHÝ OBLÚK AKO STROPNÝ PANEL

## SHALLOW ARCH AS A CEILING PANEL

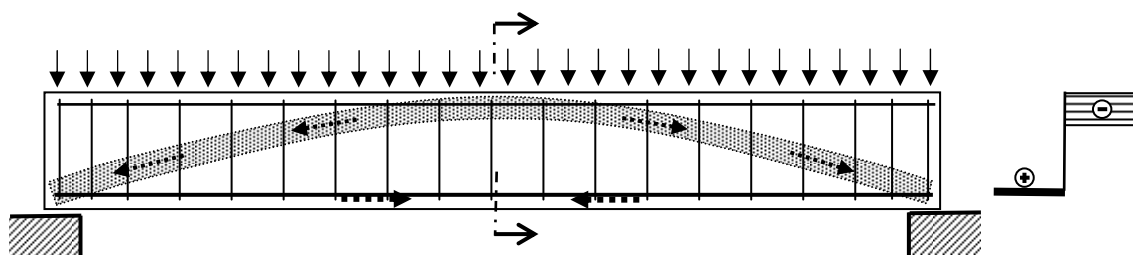
Martin Psočný<sup>1</sup>, Ján Ravinger<sup>2</sup>

### Abstract

The combination of the shallow thin concrete shell and the steel tie is offered as the ceiling panel. The cylindrical shallow shell is approximated as the shallow arch. The big differences between the results from the linear stability solution and the nonlinear solution emphasize the necessity to use the full nonlinear analysis including the investigation of the effects of the initial imperfections. The stable and unstable paths and the bifurcation point have been followed.

### 1 Úvod

V učebniciach o železobetónových konštrukciách sa dosť často vysvetľuje mechanizmus pôsobenia nosníka namáhaného ohybom a šmykom ako kombinácia betónovej klenby namáhanej tlakom a ocelového tiahla (obr. 1).



Obr. 1: Mechanizmus pôsobenia železobetónového nosníka

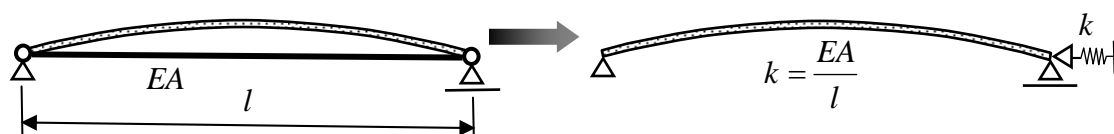
Obdobná situácia je i v prípade dosky. Ak uvažujeme dosku s vyšším pomerom strán, tak betónová klenba má valcový tvar. Vzniká otázka, či nie je postačujúce zostaviť nosník resp. dosku iba z častí staticky aktívnych. Myslí sa tým kombinácia tenkej valcovej betónovej škrupiny a ocelových tiahel. Za predpokladu, že hrúbka škrupiny bude iba niekoľko centimetrov, tak okrem pevnostného problému sa objaví i problém stability resp. zaťažiteľnosť takto vytvoreného konštrukčného prvku bude limitovaná mechanizmom pôsobenia plochého oblúka namáhaného vonkajším pretlakom.

### 2 Plochý oblúk s tiahлом

Ak by sme chceli vytvoriť stropný panel iba ako tenkú škrupinu, tak na jednej strane by sme do podpornej konštrukcie vnášali nepríjemne veľké horizontálne sily. Navyše by takáto škrupina nebola schopná transportu resp. ak by sme v montážnom štádiu nemali zabezpečenú horizontálnu podporu, tak by v strede škrupiny vznikol ohybový moment, ktorý by spôsobil jej porušenie (zlomenie). Jedným z možných riešení je umiestnenie ocelového tiahla. Z hľadiska výpočtového modelu možno oblúk s tiahлом uvažovať i ako oblúk s pružným podpretím (obr. 2).

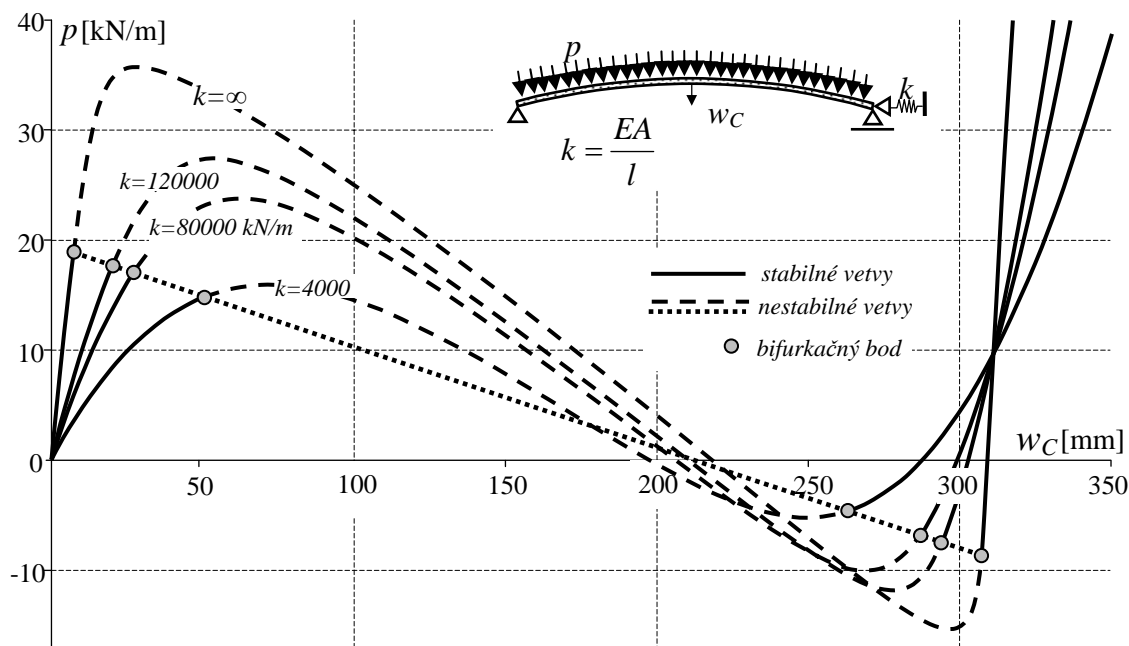
<sup>1</sup> Martin Psočný, Ing., PhD., Katedra stavebnej mechaniky, Stavebná fakulta STU, Bratislava, [martin.psoctny@stuba.sk](mailto:martin.psoctny@stuba.sk)

<sup>2</sup> Ján Ravinger, Prof., Ing., DrSc., Katedra stavebnej mechaniky, Stavebná fakulta STU, Bratislava, [jan.ravinger@stuba.sk](mailto:jan.ravinger@stuba.sk)



Obr. 2: Ekvivalencia plochého oblúka s tiahlom a oblúka s pružným podopretím

Na obrázku 3 sú prezentované výsledky nelineárneho riešenia plochého oblúka s pružným podopretím. Prezentované sú závislosti zaťaženie – priehyb pre celý režim namáhania. Vetvy reprezentujúce symetrické prelomenie panelu sú zobrazené čiarkovanou čiarou. Takisto sú vynesené vetvy reprezentujúce prelomenie panelu v antimetrickom tvare (bodkovaná čiar). Ako je zrejmé z obrázku, pre rôzne tuhosti podpory sa tieto vetvy navzájom prekrývajú. To znamená, že proces prelamovania v tomto tvare nie je citlivý na tuhosť podpory.



Obr. 3: Nelineárna analýza plochého oblúka s pružným podopretím

Pohľad na prezentované výsledky nám umožňuje vysloviť konštatovanie, že priehyby plochého oblúka pri tuhosti pružnej opory nižšej ako  $k=40000$  kN/m sú neprípustne veľké. Značné rozdiely vznikajú medzi kritickým zaťažením získaným z riešenia lineárnej stability a úrovňou zaťaženia v mieste bifurkačného bodu. Napríklad pre  $k=40000$  kN/m je kritické zaťaženie  $p_{cr}=20,5$  kN/m a bifurkačný bod je na úrovni  $p_{max}=p_{bif.b.}=14,7$  kN/m. A to stále riešime konštrukciu ideálneho tvaru.

### 3 Záver

Prezentované výsledky ukazujú, že myšlienka vytvoriť stropný panel ako tenkú valcovú škrupinu s oceľovými tiahkami sa ukazuje ako reálna. Veľké rozdiely medzi výsledkami lineárnej analýzy, riešením úlohy lineárnej stability a geometricky nelineárnym riešením, poukazujú na nutnosť použiť komplexnú geometricky nelineárnu analýzu.

### Literatúra

- [1] PSOTNÝ, M.; RAVINGER, J. 2010. Plochá škrupina ako stropný panel. *Konstrukce*. 2010, roč. 9, č. 2, s. VIII-XIV. ISSN 1213-8762.

# BAZÉNY PŘITAŽLIVOSTI NEWTONOVY METODY PŘI STATICKÉM ŘEŠENÍ VZPĚRU PRUTU

BASIN BOUNDARIES OF NEWTON'S METHOD  
AT STATIC SOLVING OF BEAM BUCKLING

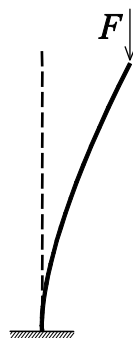
Tomáš Pail<sup>1</sup>, Michal Štafa<sup>2</sup>, Petr Frantík<sup>3</sup>

## Abstract

The paper is focused on the behavior of the Newton's method at static solving of the beam buckling problem. A description of properties of a derived model according to usage of the adopted numerical method is presented through the basin boundaries. For verification of identified static states the related bifurcation diagrams are shown.

## 1 Úvod

Při numerickém řešení statické úlohy pomocí metody tečen (Newtonova metoda), u které dochází ke ztrátě stability, je obecně značně komplikované predikovat výsledný statický stav (hledané řešení) v pokritické oblasti. Ta je charakteristická pro silně nelineární úlohy a je specifická tím, že se zde vyskytuje současně více odlišných statických stavů. Přechod mezi těmito stavy je pak ve smyslu iteračních metod podmíněn pouze změnou počátečních podmínek iteračního procesu.



Obr. 1: Úloha vzpěru prutu

Tyto jevy jsou příčinou toho, že panuje větší či menší míra nejistoty při identifikaci získaného řešení takto definovaného systému. To vede ke snaze o komplexní zmapování pokritické oblasti možných řešení pomocí různých zobrazovacích metod. Pro ilustraci jejich použití k popisu možné složitosti chování metody tečen při řešení statické úlohy byl vybrán problém vzpěru prutu, viz obr. 1.

---

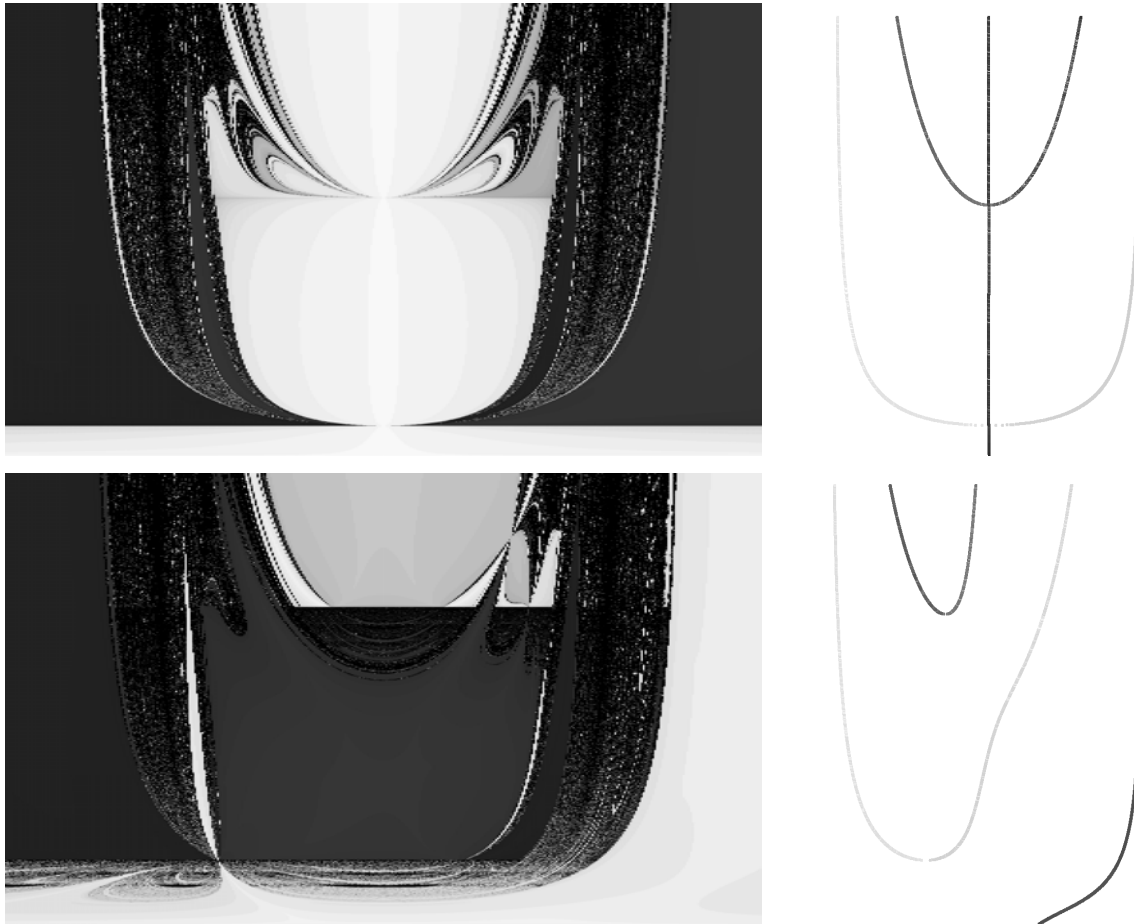
<sup>1</sup> Ing. Tomáš Pail, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: pail.t@fce.vutbr.cz,

<sup>2</sup> Ing. Michal Štafa, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, email: stafa.m@fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> Ing. Petr Frantík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: kitnarf@centrum.cz, www: <http://kitnarf.cz>

## 2 Výpočty

Numerické výpočty byly provedeny na modelu prutu se šesti dílci o celkové délce 6 metrů s ohybovou tuhostí  $1.7 \text{ Nm}^2$ . Pro popis vlastností modelu a vysvětlení chování použité iterační metody byly použity dva druhy zobrazení: bifurkační diagram a bazény přitažlivosti, viz obr. 2.



Obr. 2: Bazény přitažlivosti (vlevo) a bifurkační diagramy (vpravo) pro modely bez imperfekce (nahore) a s imperfekcí 0.2 (dole) na ohraničené oblasti počátečních bodů  $\varphi_{init} = (-2.5, 2.5)$  a  $F = (0, 1.5)$

## 3 Závěr

Ukázalo se, že chování Newtonovy metody při statickém řešení modelu vzpěru prutu odpovídá plně očekávanému charakteru. Pro model bez imperfekce je řešení symetrické, u imperfektovaných modelů se s rostoucí hodnotou imperfekce tato symetrie vytrácí na úkor vzniku fraktálních oblastí. Toto fraktální rozhraní mezi konvergujícím a nekonvergujícím iteračním procesem se zde typicky nachází v místě „rozštěpu“ vidličkové bifurkace. Při snižování velikosti imperfekce postupně zaniká.

## Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.*

## DYNAMICKÁ SIMULACE ZTRÁTY STABILITY BEZSTYKOVÉ KOLEJE

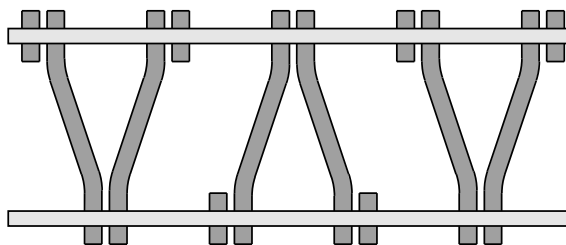
DYNAMICAL SIMULATION OF STABILITY LOSS OF CONTINUOUS  
WELDED RAIL TRACK

Petr Frantík<sup>1</sup>

### Abstract

The paper is focused on a study of stability loss of the continuous welded rail tracks caused by the thermal expansion of the rails. There are modeled three types of rail tracks according to sleepers used: the steel Y-shaped type 600 mm, type 650 mm and the transversal concrete type 600 mm.

Z konstrukčních i ekonomických důvodů se při stavbě či rekonstrukci našich regionálních tratí uvažuje o použití netradičních lehkých železničních svršků tvořených tzv. Y–pražci, které se vyrábějí z ocelových profilů, viz obr. 1. Pro ověření tohoto konstrukčního řešení bylo zapotřebí porovnat hodnoty kritického zatížení a tvar ztráty stability dvou konfigurací Y–pražců s tradičními příčnými pražci. Konkrétně pro svršek v přímé trati s bezстыkovou kolejí včetně spolupůsobení šterkového lože. Zatížením se zde myslí velikost oteplení kolejnic a velikost impulzu síly nutného pro vybočení koleje v horizontálním směru (kolmo na osu koleje).



Obr. 1: Půdorysné schéma trati s Y–pražci

Železniční svršek je s ohledem na upřesnění úlohy tvořen (vertikálně řazeno): Kolejnicemi tvaru 49 E 1 (S49) v osové vzdálenosti 1500 mm, systémem pružného upevnění se svěrkou Skl 14, pražci a šterkovým ložem v odpovídajícím základním tvaru. Pražce tvoří tři různé konfigurace:

- příčné betonové pražce s rozdělením 600 mm (teoretická vzdálenost uzlů upevnění 600 mm),

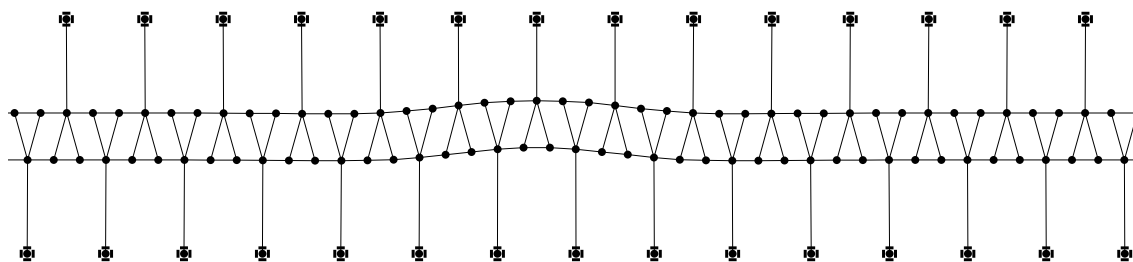
---

<sup>1</sup> Ing. Petr Frantík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: kitnarf@centrum.cz, www: <http://kitnarf.cz>

- ocelové Y–pražce (profil IB 100 S–1) typ 600 mm (teoretická vzdálenost uzlů upevnění 830 mm),
- ocelové Y–pražce (profil IB 100 S–1) typ 650 mm (teoretická vzdálenost uzlů upevnění 880 mm).

Článek se věnuje určení kritického zatížení dokonale symetrického svršku bezstykové koleje v přímé trati bez implicitního určení jeho délky a okrajových podmínek. Modelovaná délka svršku musí být zvolena dostatečná natolik, aby významně neovlivňovala výsledky výpočtu. Určitá nezávislost na této délce má dvě příčiny: Trať je uložena do šterkového lože, které omezuje schopnost trati příčně vybočit a obdobně je pohyblivost trati omezena rovněž v podélném směru. Pro řešení je zvolena délka svršku přibližně 100 metrů.

Pro nalezení kritického zatížení byla využita numerická metoda založená na řešení pohybových rovnic nelineárních dynamických systémů sestávajících z interagujících hmotných bodů. Hmotné body a interakce mezi nimi jsou získány pomocí tzv. fyzikální diskretizace. Metoda je schopna plně zachytit geometricky nelineární charakter ztráty stability a díky dynamickému řešení tak činí zcela přirozeně.



Obr. 2: Vybočení modelu trati s ocelovými Y–pražci typ 600 mm

Efektivnost Y–pražců je hlavně v jejich uspořádání – tvoří trojúhelníkové výztuhy. Tuhost těchto výztuh je ovlivněna příčnou tuhostí uzlu upevnění, která není přesně známa. Poznamenejme, že tyto výztuhy při vybočení zkrucují a smýkají profil kolejnice. Účinnost dosažených výsledků je významně ovlivněna odhadem příčné tuhosti systému upevnění a schopností Y–pražců tvořit trojúhelníkové výztuhy.

Tuhost distanční vazby Odpor šterkového lože	spodní odhad		horní odhad	
	50%	100%	50%	100%
Typ pražce				
Příčné betonové pražce po 600 mm	39 °C	51 °C	39 °C	51 °C
Ocelové Y–pražce po 600 mm	52 °C	59 °C	84 °C	100 °C
Ocelové Y–pražce po 650 mm	50 °C	57 °C	77 °C	85 °C

Tab. 1 Výsledné hodnoty kritického oteplení

Z obr. 2 je patrné, že trať tvořená Y–pražci zřejmě vybočuje obdobným způsobem, jako trať tvořená příčnými pražci. Tab. 1 vypisuje výsledky s největší vypovídací hodnotou – kritické oteplení kolejníc  $\Delta t_{cr}$ . Kritickým oteplením je myšleno nejmenší možné oteplení, pro které kolej ztratí stabilitu přímého tvaru.

# NUMERICKÉ GEOMETRICKY NELINEÁRNÍ ŘEŠENÍ SOUSTAVY KRUHOVÝCH OBLOUKŮ POMOCÍ OBECNÉ DEFORMAČNÍ METODY

## NUMERICAL GEOMETRICALLY NONLINEAR SOLUTION OF SYSTEM OF CIRCULAR ARCHES BY THE HELP OF DEFORMATION METHOD

Lenka Randýsková<sup>1</sup>, Petr Janas<sup>2</sup>

### Abstract

The supports from circular arches are often dominant components in subterranean engineering. These supports are exposed large deformations. Geometrically nonlinear solution of system of circular arches is presented in this paper. We search size of load, which causes the elective value of deformation. We use deform method and iterative procedure of calculation. We suppose linear behaviour of material.

### 1 Úvod

V hornictví a často i v podzemním stavitelství je významným vyztužujícím prvkem ocelová výztuž tvořená kruhovými oblouky. Na rozdíl od pozemního stavitelství jsou zde deformační projevy mnohdy značné. Statické posouzení této výztuže by tedy mělo počítat s nezanedbatelnými deformacemi, tzn. respektovat geometrickou nelinearitu.

### 2 Řešení

Konstrukci výztuže, která je tvořena kruhovými díly, rozdělíme na  $n$  přímkových dílků. Každý tento dílek považujeme za prut uložený oboustranně monoliticky. Tím dostaneme celkem  $n_p$  neznámých parametrů vektoru deformace  $r$ . Tyto neznámé deformace lze získat pomocí obecné deformační metody řešením soustavy rovnic

$$[K] \cdot \{r\} = \{F\}, \tag{1}$$

kde  $K$  je celková matice tuhosti a  $F$  je zatěžovací vektor konstrukce [2]. Matice  $K$  je při velkých deformacích funkcí vektoru  $F$ .

Deformace  $r$  nelze při velkých deformacích získat explicitně řešením (1). Lze ale postupovat tak, že volíme svislý posun vhodného bodu konstrukce  $w_s$  a hledáme odpovídající hodnotu zatížení  $q$  a zbývající hodnoty deformací  $r$ . Získáváme tedy smíšenou úlohu popsanou následujícími rovnicemi, ve kterých index  $s$  odpovídá pořadovému číslu volené deformace ve vektoru  $r$ .

$$[K] \cdot \{r\} = q \cdot \{\bar{F}\} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{1s} & \dots & k_{1n_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{s1} & & k_{ss} & & k_{sn_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n_p1} & \dots & k_{n_p s} & \dots & k_{n_p n_p} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ w_s \\ \vdots \\ d_{n_p} \end{Bmatrix} = q \cdot \begin{Bmatrix} \bar{F}_1 \\ \vdots \\ \bar{F}_s \\ \vdots \\ \bar{F}_{n_p} \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & \bar{F}_1 & \dots & k_{1n_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{s1} & & \bar{F}_s & & k_{sn_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n_p1} & \dots & \bar{F}_{n_p} & \dots & k_{n_p n_p} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ -q \\ \vdots \\ d_{n_p} \end{Bmatrix} = -w_s \cdot \begin{Bmatrix} k_{1s} \\ \vdots \\ k_{ss} \\ \vdots \\ k_{n_p s} \end{Bmatrix} \tag{3}$$

$$[K_{\bar{F}}] \cdot \{r_q\} = -w_s \cdot \{K_s\} \Rightarrow \{r_q\} = [K_{\bar{F}}]^{-1} \cdot (-w_s) \cdot \{K_s\} \tag{4}$$

<sup>1</sup> Ing. Lenka Randýsková, VŠB – TUO, FAST, Katedra 228, L. Poděště 1875, 708 33 Ostrava, email: lenka.randyskova@vsb.cz

<sup>2</sup> Doc. Ing. Petr Janas, CSc., VŠB-TUO, FAST, Katedra 228, L. Poděště 1875, 708 33 Ostrava, email: petr.janas@vsb.cz.

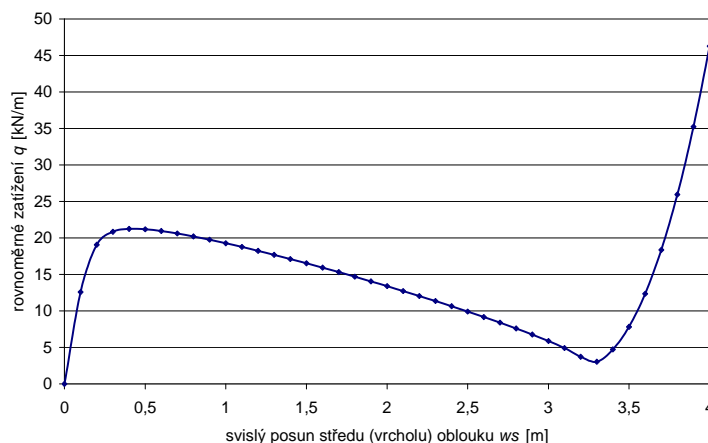
$\{\bar{F}\}$  ... zatěžovací vektor vyvolaný jednotkovým zatížením  $q = 1$

$\{K_s\}$  ... vektor obsahující prvky  $s$ -tého sloupce původní matice  $K$

$[K_{\bar{F}}]$  ... modifikovaná matice tuhosti,  $s$ -tý sloupec je nahrazen vektorem  $\{\bar{F}\}$

$\{r_q\}$  ... modifikovaný vektor deformací, hodnota  $w_s$  nahrazena zápornou hodnotou  $q$

Výpočet pro dané  $w_s$  probíhá iteračně, dokud neobdržíme požadovanou přesnost  $\varepsilon$ , která je daná hodnotami zatížení  $q$  ve dvou následujících iteracích. Poté se zvýší hodnota posunutí  $w_s$  a výpočet se opakuje, dokud nedosáhneme předepsaného zatížení. Při výpočtu se aplikuje metoda jednotkových momentů [5].



Obr. 1: Příklad křivky závislosti deformace  $w_s$  na zatížení  $q$

### 3 Závěr

V příspěvku je uvedeno geometricky nelineární řešení soustavy kruhových oblouků. Pomocí obecné deformační metody a iteračního postupu výpočtu určujeme křivku závislosti volené deformace na daném zatížení. Při výpočtu předpokládáme lineární chování materiálu (fyzikální linearitu).

### Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 105/08/1562. A dále pak projektu SP/2010156 dotovaného MŠMT na specifický vysokoškolský výzkum*

### Literatura

- [1] JANAS, P. *Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl při rázovém zatížení*. Závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/04/0458. Ostrava, 2007.
- [2] KADLČÁK, J., KYTÝR, J. *Statika stavebních konstrukcí II*. Brno, 2001.
- [3] PSOTNÝ, M. Nelineární analýza plochých oblouků. In *Modelování v mechanice 2009*. Sborník příspěvků, Ostrava, 2009.
- [4] RANDÝSKOVÁ, L. Numerické geometricky nelineární řešení plochého oblouku. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Bratislava 2009*. Mezinárodní konference. Sborník příspěvků, Bratislava, 2009.
- [5] RANDÝSKOVÁ, L., JANAS, P. Využití principu virtuálních prací (jednotkových momentů) pro výpočet konečných deformací. In *Staticko-konstruktivní a stavební fyzikální problémy stavebních konstrukcí 2006*. Sborník příspěvků, Košice, 2006.



# SIMULACE PROUDĚNÍ V MEZNÍ VRSTVĚ ATMOSFÉRY V OKOLÍ UHELNÉ SKLÁDKY

CFD SIMULATION IN BOUNDARY LAYER IN COAL STOCKPILE SURROUND

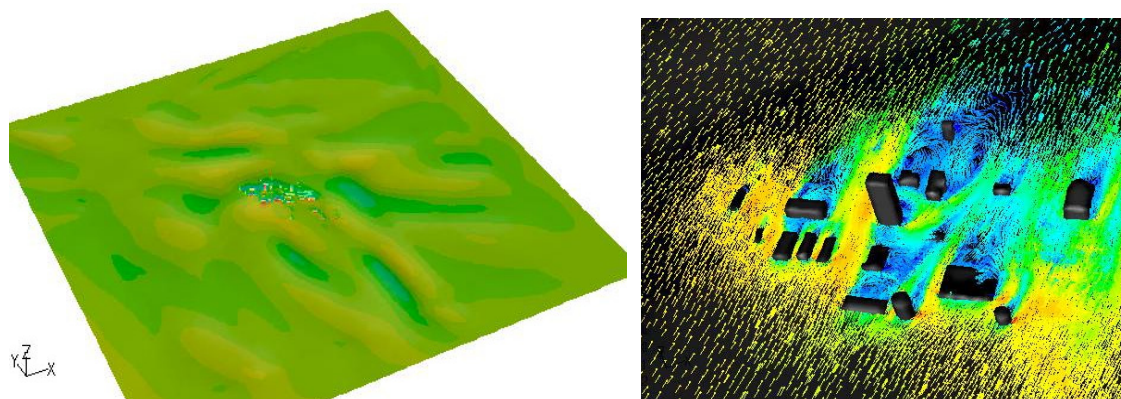
Vladimíra Michalcová<sup>1</sup>, Tomáš Blejchař<sup>2</sup>

## Abstract

The paper deals with formulation of CFD simulation, which describes fluid flow in atmospheric boundary layer in coal stockpile surround. First part of the global task is focused on generation of Earth's surface topology on the basis of GIS data. Second task is focused on simplification of simulation domain and reduction of mesh size by substitution of mine building by porous subdomain. At the end of this paper are presented results of CFD simulation in 4.3 x 4.3 x 0,4km domain with coal stack and mine buildings.

## 1 Úvod

Článek popisuje problematiku tvorby CFD modelu, který simuluje proudění vzduchu v mezní vrstvě atmosféry v okolí uhelné skládky. Tato úloha představuje první fázi globálního problému, který je zaměřen na problematiku rozvoje oxidace a samovznícování uhelné hmoty obsažené v uhelných skládkách a odvalech umístěných na povrchu. Jedná se řešení globálního proudění v okolí haldy pro převažující směry větru. První část se zabývá problematikou tvorby topologie terénu z geografických dat. V druhé části úlohy je řešen proces zjednodušování oblasti, které spočívá v nahrazení budov oblastí s odporovými koeficienty. V závěru jsou prezentovány výsledky modelování proudění v oblasti 4.3 x 4.3km, která zahrnuje uhelnou skládku a budovy dolu.



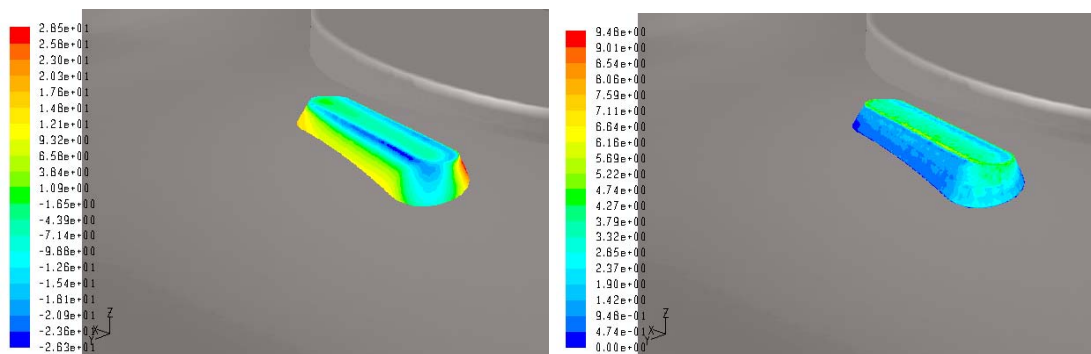
Obr. 1: Výpočtová oblast v okolí skládky s reálným terénem i budovami (vlevo) a vektory rychlosti větru v blízkosti budov (vpravo)

<sup>1</sup> Ing. Vladimíra Michalcová, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděště 1875/17, Ostrava - Poruba, 708 33, Česká republika, tel. (+420) 59 732 1348, e-mail [vladimira.michalcova@vsb.cz](mailto:vladimira.michalcova@vsb.cz)

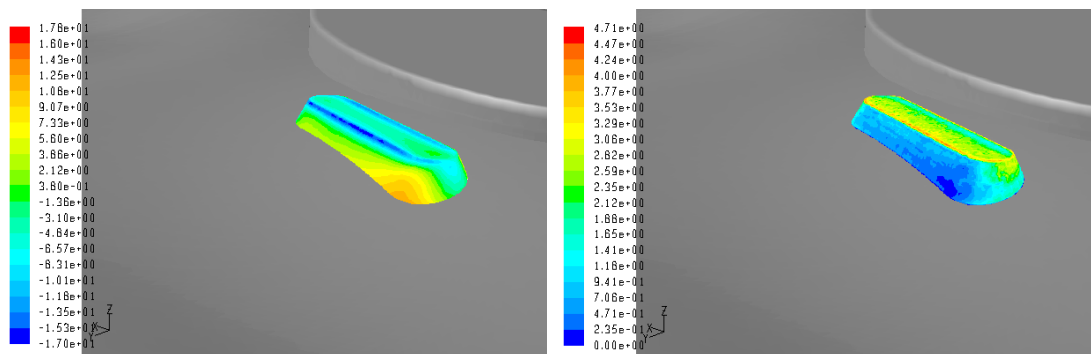
<sup>2</sup> Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, 708 33, Česká republika, tel. (+420) 59 732 5753, e-mail [tomas.blejchar@vsb.cz](mailto:tomas.blejchar@vsb.cz)

## 2 Závěr

Cílem této úlohy bylo vytvořit zjednodušený CFD model popisující proudění větru v reálné složité oblasti. Výsledky řešení poslouží jako zdroj okrajových podmínek pro simulace proudění uvnitř uhelné skládky se zahrnutím chemické reakce, která popisuje proces rozvoje nízkoteplotní oxidace a samovznícování, což představuje druhou fázi globálního úkolu. Z důvodu omezeného prostoru pro rozšířený abstrakt odkazujeme čtenáře na celé znění článku na CD, které je součástí sborníku.



Obr.2: Zobrazení tlakového namáhání (vlevo) a rychlosti (vpravo) na povrchu haldy, směr větru jihozápad



Obr.3: Zobrazení tlakového namáhání (vlevo) a rychlosti (vpravo) na povrchu haldy, směr větru jih

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 105/08/1414.*

## Literatura

- [1] VESTEER, H. K., MALALASEKERA, W. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. England: Pearson Education Limited, 2007. 503 s. ISBN 978-0-13-127498-3.
- [2] BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M. 2009. Methodic of themathematical modelling of the low-temperature oxidation of coal defined in porous zone. *Mechanical Engineering jounar-Strojirenství*. 2009, roč. 4, č. 1, s. 15-17. ISSN 1335-2938.
- [3] Fluent 6.3, Users Guide, Tutorial Guide

# ÚNOSNOST CENTRICKY TLAČENÝCH SLOUPŮ ZA POŽÁRU

## COMPRESSIVE LOAD-BEARING CAPACITY OF COLUMNS EXPOSED TO FIRE

Lenka Lausová<sup>1</sup>

### Abstract

This paper compares the compressive load-bearing capacity of the steel column without any protection against fire and also with a protection from the gypsum wood-fibre board and the column protected with the concrete between the flanges in the fire design situation.

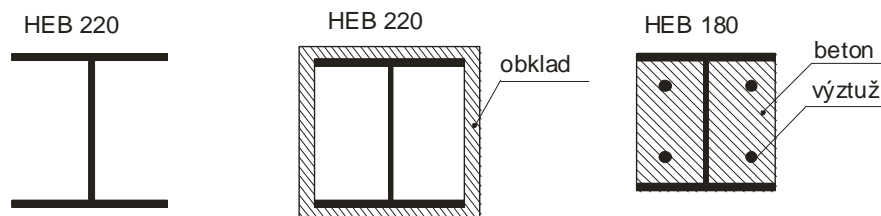
### 1 Úvod

Cílem této práce je srovnání únosností centricky tlačených sloupů - protipožárně nechráněného ocelového průřezu HEB 220, sloupu stejného průřezu chráněného obkladem ze sádrovláknitých desek a sloupu průřezu HEB 180 s vybetonováním mezi pásnicemi v čase trvání požáru 30, 60, 90 a 120 minut viz obr.1. Za pokojové teploty mají všechny sloupy srovnatelnou únosnost ve vzpěrném tlaku. Sloupy jsou kloubově uloženy vzhledem k oběma osám, výška sloupů je 3,5m, je uvažována patrová budova.

Rozvoj teploty plynu v požárním úseku je počítán podle normové teplotní křivky, takže nárůst teploty se řídí logaritmickou funkcí podle [3].

Přestup tepla do ocelových sloupů je počítán z teploty plynu iterační přírůstkovou metodou podle [3]. V případě protipožárně obloženého sloupu je přestup tepla zpomalen a závisí na tepelně technických charakteristikách ochranného materiálu a jeho tloušťce.

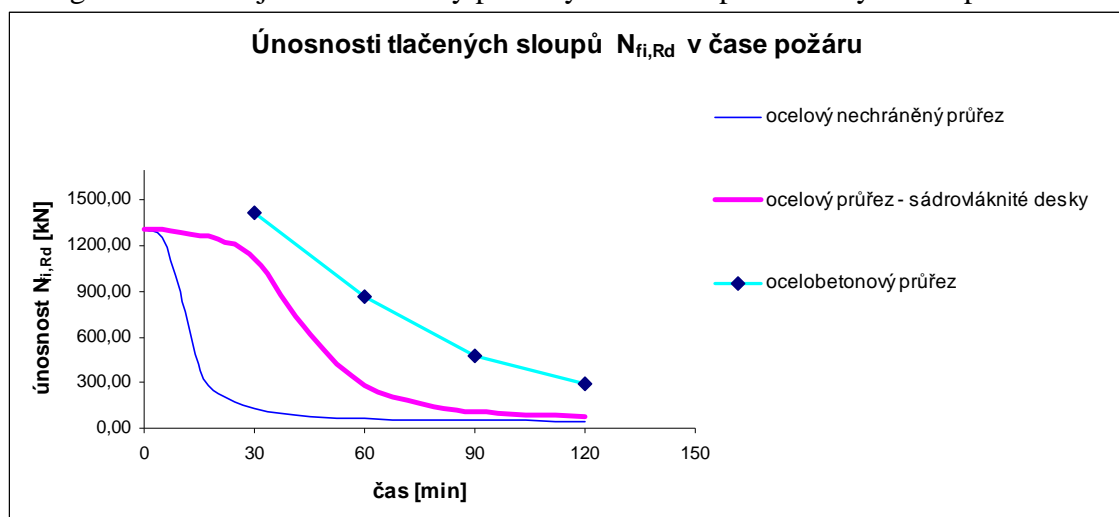
Výpočet ocelobetonového sloupu je proveden podle [2] a [3], kdy se u jednoduchých výpočtů dají použít tabelárně zpracované hodnoty součinitelů, které jsou založeny na odhadech teplot v době trvání požáru u některých typických ocelobetonových konstrukcí. Tímto způsobem lze určit únosnost posuzovaného průřezu v době trvání požáru 30, 60, 90, 120 minut. Průřez sloupu se rozloží na jednotlivé komponenty. Podle narůstající teploty v požárním úseku se určí teplota v dílčích částech průřezu a vlivem této teploty i jejich snížená únosnost. Některé části průřezu mohou mít teplotu tak vysokou, že se jejich únosnost do výpočtu nezapočítává.



Obr.1: Průřezy posuzovaných sloupů

<sup>1</sup> Ing. Lenka Lausová, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L.Poděště 1875, 708 33, Ostrava-Poruba, lenka.lausova@vsb.cz

V grafu na obr.2 jsou znázorněny průběhy únosností posuzovaných sloupů:



Obr.2: Únosnosti posuzovaných sloupů v čase požáru

V tabulce 1 jsou vypočtené hodnoty únosností v tlaku  $N_{fi,Rd}$  posuzovaných sloupů:

Únosnost sloupů $N_{fi,Rd}$ [kN]					
typ průřezu	pokožová teplota	v čase požáru $t$ [min]			
		30	60	90	120
ocelový sloup - nechráněný	1604	126	68	52	40
ocelový sloup - sádrovláknitá deska	1604	1117	277	114	71
ocelobetonový sloup	1566	1423	871	473	293

Tab. 1: Vybrané hodnoty únosností tlačných sloupů

## 2 Závěr

Výpočtem únosností tlačných sloupů je ověřen předpoklad minimální únosnosti ocelových nechráněných průřezů za požáru. Vybetonováním ocelového profilu mezi pásnicemi se dosáhne nejen zajištění únosnosti konstrukce, ale také zpomalení nárůstu teploty v ocelovém profilu díky chladnějšímu betonu. Obložením sloupu obkladem ze sádrovláknité desky se dosáhne výrazného zpomalení přestupu tepla do ocelové konstrukce a tím i zachování únosnosti sloupu v čase požáru viz graf na obr.2.

## Literatura:

- [1] ČSN P ENV 1993-1-2 – Navrhování ocelových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [2] ČSN P ENV 1994-1-2 – Navrhování ocelobetonových konstrukcí, Obecná pravidla, Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [3] WALD, F. a kol. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. ČVUT Praha. 2005. ISBN 80-01-03157-8
- [4] EN 1993-1-2:2004 – Ocelové konstrukce

# MODELOVÁNÍ ČÁSTI MOSTOVKY

## MODELING OF PART OF BRIDGE DECK

David Mikolášek<sup>1</sup>

### Abstract

The paper discusses the semi-rigid joint of timber structure which will be used a part of bridge deck. The numerical model will be also used for preparation of experimental test. The shown numerical model is modelled with use of ANSYS finite element software. The brick, shell and beam finite elements are used.

### 1 Úvod

Článek má za cíl porovnat výpočet polotuhého spoje dřevěné konstrukce podle DIN 1052 s modelem vytvořeným v programu ANSYS 11.0. Toto provedené srovnání pak bude podkladem k fyzikálnímu testu, pro který byl tento vzorek vyhotoven ve skutečné velikosti. Vzorek představuje reálný výřez z mostní nosné konstrukce (mostovky spojené ocelovými příčnicíky tvořící zároveň i vidlicové uložení mostního nosníku pro oblast namáhanou tlakem). Konstrukce byla modelována jako 3D těleso z konečných prvků SOLID 45 a BEAM4 a SHELL 63, prvky typu SHELL 63 byly použity pouze pro provedení sítě konečných prvků.

### 2 Řešení

Dřevěná konstrukce byla uvažována jako ortotropní, zatížená silovým zatížením. Zatížení bylo simulováno, tak jak bude umístěno u reálného fyzikálního testu - do středu ocelového příčnicíku IPE 140. Silové zatížení bylo u 3D modelu uvažováno do uzlů a bylo vnášeno po krocích. Uložení konstrukce bylo navrženo ve dvou místech a to pod lepenými lamelovými prvky dřevěné mostovky. Úloha byla počítána geometricky a fyzikálně nelineárně s kontaktními prvky v místech, kde je u skutečné konstrukce podstatný vliv jednostranných kluzných vazeb. Ocelový spoj se skládá z ocelové plotny tl. 10mm, ocelových svorníků  $\phi 12\text{mm}$ , ocel je třídy S355. Dřevěná část konstrukce se skládá z lepeného lamelového dřeva GL24h.

#### 2.1 Okrajové podmínky

Dřevěná část konstrukce

- zatížení krátkodobé - třída prostředí I.
- lepené lamelové dřevo GL24h

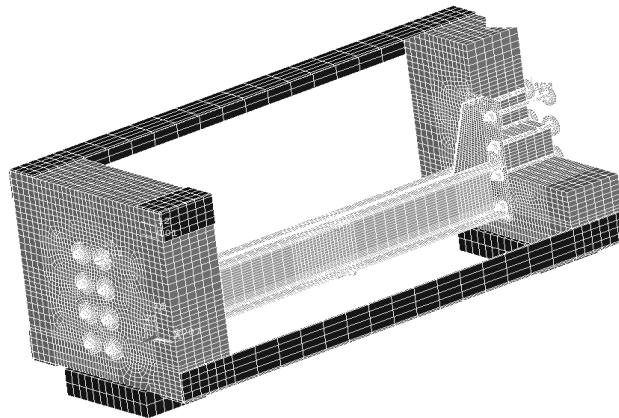
Ocelová část konstrukce

- ocel S355 : válcovaný profil IPE 140 + úhelník „L“ 60x60x6
- ocelová plotna tl. 10mm a 5mm
- ocel S35: ocelové svorníky  $\phi 12\text{mm}$  (PD  $\phi 54\text{mm}$  tl. 6mm, PO  $\phi 27\text{mm}$  tl. 3mm )
- vruty do dřeva  $\phi 8/60\text{mm}$

<sup>1</sup> David Mikolášek, Ing., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděštné 1875, 708 33, david.mikolasek.fast@vsb.cz



Obr. 1: Geometrie modelované konstrukce spolu se zatížením a podporami



Obr. 2: Spojení ocelové válcovaného profilu a dřevěné lamelové konstrukce pomocí svorníků

### 3 Závěr

Po zhodnocení výsledků numerického modelu a výpočtu podle DIN 1052, bylo dosaženo poměrně dobré shody, odezvy svorníků a konstrukce jako celku na silové zatížení, tzn. deformace a napětí na svornících a jednotlivých prvcích odpovídá předpokladům a normovým napětím získaným dle DIN 1052, nebo pomocí rovnic teorie pružnosti .

Cílem 3D simulace zatěžování části mostovky bylo získat přehled o deformacích jednotlivých spojů a získání představy o odezvy konstrukce na toto zatížení a změny její tuhosti v jednotlivých krocích zatěžování. Numericky získané výsledky pak budou srovnány s fyzikálně provedenými testy této části konstrukce.

### Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.*

### Literatura

- [1] ANSYS 10 Documentation. ANSYS Inc., 2005
- [2] ČSN 73 1702 mod. DIN 1052:2004
- [3] Eurocode EC5

# EXPERIMENTÁLNA DIAGNOSTIKA, MODELOVANIE A STATICKÉ POSÚDENIE AKTUÁLNEHO STAVU NOSNEJ OCEĽOVEJ KONŠTRUKCIE POŠKODENEJ ÚČINKAMI POŽIARU

EXPERIMENTAL DIAGNOSTICS, MODELLING AND STATIC ASSESSMENT OF A  
CURRENT STATE OF THE BEARING STEEL STRUCTURE DAMAGED BY FIRE  
EFFECTS

Stanislav Kmet<sup>1</sup>, Michal Tomko<sup>2</sup>, Ivo Demjan<sup>3</sup>

## Abstract

Results of diagnostics, tests of materials, numerical modelling and static analysis of the current state of the bearing steel structure of the hall after a fire and design of the actions for the repair of the steel structure damaged members are presented in the paper.

## 1 Úvod

Cieľom príspevku je charakterizovať diagnostiku, globálnu analýzu a návrh opatrení potrebných pre sanáciu požiarom poškodených oceľových strešných väzníkov, vychádzajúc z podrobnej statickej analýzy nosnej oceľovej konštrukcie objektu.

Prezentovaná je aj štúdia odolnosti nosnej oceľovej konštrukcie pri požari za účelom simulácie teplotného účinku požiaru. Podľa STN EN 1993-1-2 bola posúdená odolnosť konštrukcie a bol určený čas pri ktorom konštrukcia stratila svoju odolnosť.

## 2 Diagnostika oceľovej konštrukcie po požari

S cieľom stanoviť mieru poškodenia nosnej oceľovej konštrukcie stavebného objektu po požari boli realizované nasledovné nedeštruktívne vyšetrenia „in situ“ a deštruktívne skúšky „in situ“ a „in labo“:

- zisťovanie aktuálnych mechanických vlastností materiálu nosnej oceľovej konštrukcie stavebného objektu;
- magnetodefektoskopická kontrola zvarov;
- meranie hrúbok tvoriacich častí prierezov vybraných prvkov oceľovej konštrukcie;
- geodetické meranie tvaru zdeformovaných oceľových strešných priehradových väzníkov a ich priehybov ako aj vyosenia koľajníc žeriavovej dráhy.

## 3 Výpočtový model a statický výpočet

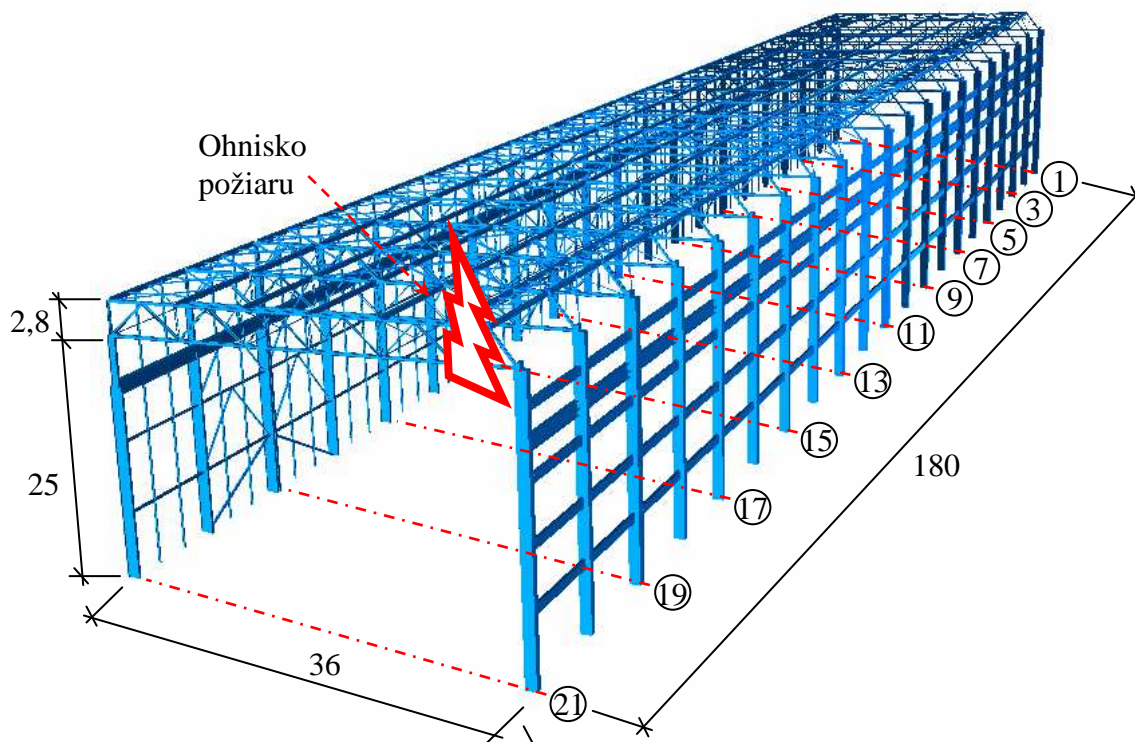
Bol vytvorený 3D priestorový prútový model oceľovej konštrukcie haly v programe SCIA IDA NEXIS (model obsahuje 2 423 uzlov a 3 952 prvkov), obr. 1.

---

<sup>1</sup> Prof. Ing. S. Kmet', PhD., TU v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav inžinierskeho staviteľstva, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, tel.: 055 / 602 42 90, [stanislav.kmet@tuke.sk](mailto:stanislav.kmet@tuke.sk)

<sup>2</sup> Doc. Ing. M. Tomko, PhD., TU v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav inžinierskeho staviteľstva, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, tel.: 055 / 602 42 49, [michal.tomko@tuke.sk](mailto:michal.tomko@tuke.sk)

<sup>3</sup> Ing. I. Demjan, PhD., TU v Košiciach, Stavebná fakulta, Ústav inžinierskeho staviteľstva, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, tel.: 055 / 602 42 49, [ivo.demjan@tuke.sk](mailto:ivo.demjan@tuke.sk)



Obr. 1: Renderovaný statický výpočtový model objektu (rozmery v [m]) s vyznačenými osami jednotlivých väzieb a ohnisko požiaru

V priestorovom prúťovom modeli ocelovej konštrukcie haly:

- boli modelované imperfekcie (vybočenie horného pásu väzníka o 200 mm);
- bolo modelované prerušenie horného pásu väzníka (vznik plastického kĺbu v mieste vybočenia horného pásu väzníka).

#### 4 Štúdia odolnosti konštrukcie počas požiaru

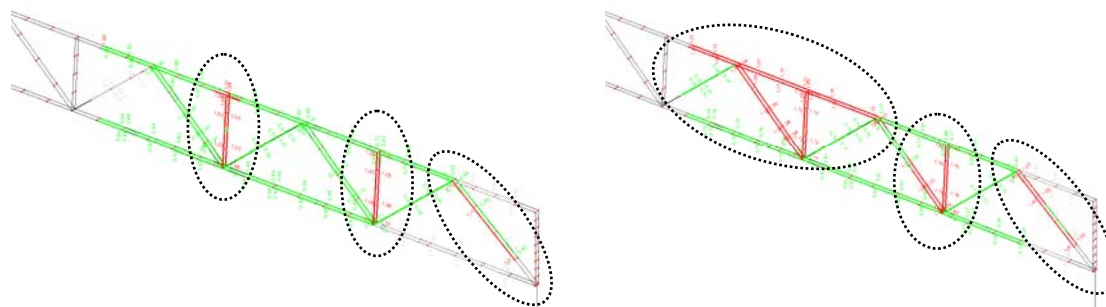
Štúdia odolnosti nosnej ocelovej konštrukcie pri požiaru bola realizovaná za účelom porovnania chovania odolnosti konštrukcie podľa teoretických postupov a experimentálnych poznatkov.

Odolnosť konštrukcie bola zistená v závislosti od dosiahnutých medzných redukovaných materiálovo-mechanických vlastností ocele ( $E_{red}, f_{y,red}$ ), obr. 2.

Pri výpočte v teplotno-časovej oblasti sa zistil čas, v ktorom sa posúdila teplota materiálu vzhľadom ku kritickej teplote materiálu.

odolnosť: 15 minút

odolnosť: 20 minút



Obr. 2: Odolnosť jednotlivých prvkov ocelovej konštrukcie v závislosti od času



# PŘÍSPĚVEK KE ZJIŠŤOVÁNÍ VNITŘNÍCH STATICKÝCH ÚČINKŮ NOSNÍKU

ABOUT THE BEAM INTERNAL FORCES INVESTIGATION

Jiří Podešva<sup>1</sup>

## Abstract

The calculation of the horizontal mine opening steel support can be performed by the special program, developed on the Department of civil mechanics. The important data is the bending stiffness  $E \cdot J$ . It is calculated from the load-deformation dependence. The external load leads to the bending moment and bending angle. Both must be investigated from the results of the FEM modeling.

## 1 Úvod

Na katedře stavební mechaniky Fakulty stavební VŠB - Technické univerzity Ostrava byl vyvinut výpočtový program v prostředí MS Excel, umožňující provádění výpočtů deformace a namáhání obloukových ocelových výztuží vodorovných důlních děl silovou metodou. Kromě lineární statiky program umožňuje zahrnout do modelu i geometrickou nelinearitu.

Program však neumožňuje zahrnout materiálovou nelinearitu (plasticita) ani pokles ohybové tuhosti vlivem změny nosného profilu, vedoucí až ke ztrátě stability tvaru. Problém je řešen zavedením a použitím pojmu „ohybová tuhost“  $E \cdot J$ , jež je zde funkcí zatížení.

Pro zjištění této ohybové tuhosti je nutno provést rozsáhlé výpočtové modelování metodou konečných prvků. Výstupem tohoto modelování je ohybově namáhaný nosník, u něhož je třeba zjistit vnitřní statické účinky a jeho deformaci. Ty jsou pak vstupem pro zjištění ohybové tuhosti.

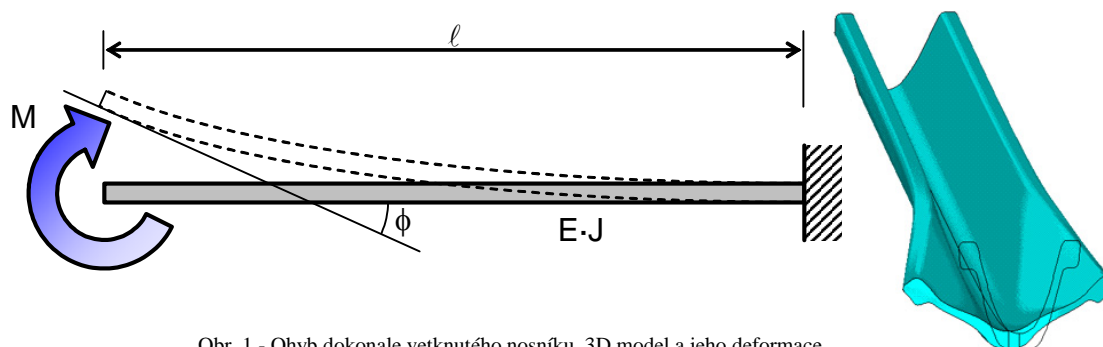
## 2 Numerický experiment

Základem výpočtu ohybové tuhosti je „numerický experiment“. Byl vytvořen 3D model profilu výztuže. Ten byl zatížen ohybovým momentem a normálovou silou. Výpočtový model zahrnuje materiálovou nelinearitu - plastický materiálový model, geometrickou nelinearitu - změna tuhosti vlivem deformace. Ze své podstaty (3D model) rovněž zahrnuje vliv změny profilu při deformaci.

Na takto zatíženém nosníku byla zjištěna jeho deformace - úhel natočení profilu, a vnitřní statické účinky - zejména ohybový moment. Ohybová tuhost  $E \cdot J$  pak byla určena jako závislost na ohybovém momentu  $M_0$ , resp. na úhlu natočení  $\phi$ .

---

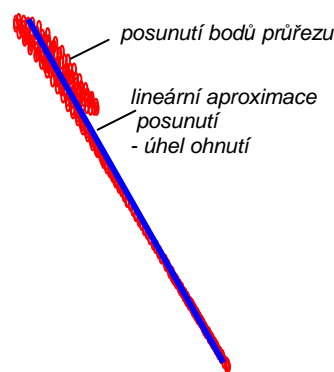
<sup>1</sup> doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D., VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechaniky, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba, jiri.podesva@vsb.cz



Obr. 1 - Ohyb dokonale vetknutého nosníku, 3D model a jeho deformace.

### 3 Deformace

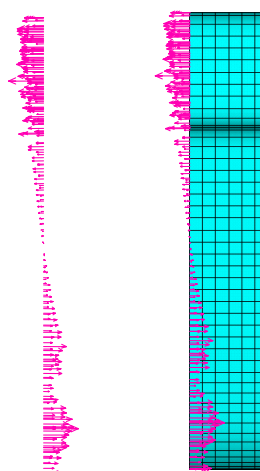
Na deformaci je zřejmé jak při větším zatížení se výrazně mění profil výztuže. Úhel natočení byl určen takto : Pro všechny uzly profilu byly z výsledkového souboru vyčteny hodnoty jejich posunutí. Ze souřadnic uzlů v nedeformovaném stavu a jejich změn - posunutí, byly určeny souřadnice deformovaného profilu. Lineární aproximací těchto souřadnic byl určen úhel natočení.



Obr. 2 - Natočení řezové roviny.

### 4 Vnitřní statické účinky

Z výsledků výpočtového modelu lze vyčíst tzv. uzlové síly. Jde o síly, přenášené v jednotlivých uzlových bodech profilu z jedné části nosníku na druhou. Ohybový moment byl zjištěn jako součet momentů těchto sil k neutrální ose.



Obr. 3 - Uzlové síly.

### 5 Závěr

Ačkoliv pojem „ohybový moment“ je v oblasti 3D modelování těžko definovatelný, lze jej jistou technikou z výsledků vypočítat. Rovněž úhel natočení profilu lze vyčíst byť nepřímo.

### Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 105/08/1562.*

### Literatura

- [1] Janas, P., Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl při rázovém zatížení, závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/01/0458, FAST VŠB TU Ostrava, leden 2007.-1.

# NÁHRADNÍ OHYBOVÁ TUHOST PROFILU P-28 SE ZAHRNUTÍM OSOVÉ SÍLY

## ALTERNATIVE FLEXURAL RIGIDITY OF THE PROFILE P-28 WITH AXIAL FORCE

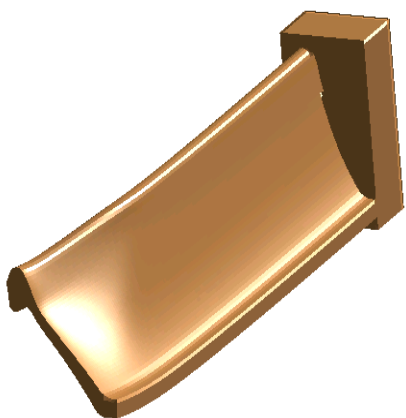
Alexandros Markopoulos<sup>1</sup>, Petr Janas<sup>2</sup>, Jiří Podešva<sup>3</sup>

### Abstract

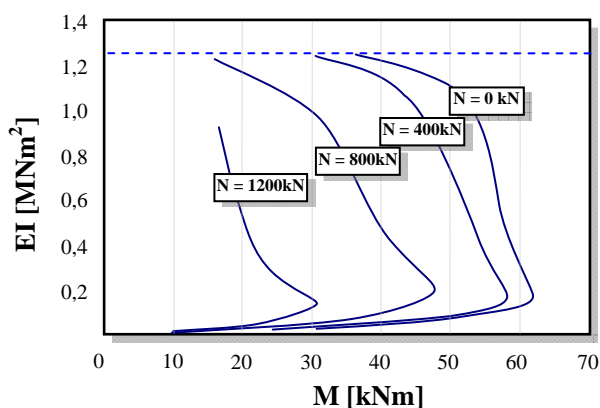
The paper is focused on mine steel support and its behavior during loading. Original 3D stress strain problem is replaced with Euler-Bernoulli beam theory. This simplifying considerably reduces system of linear equations. Essence of this approach is obtaining so-called alternative flexural rigidity, what is relation between flexural moment and rotation of cross-section. This paper connects on former works, which extends on cases whit axial force. Flexural rigidity, individual parameter of each type of cross-section, is input for special software, which solves this problematic as 1D problem.

### 1 Úvod

Práce se zabývá nelineárním chováním ohybu důlní výztuže. Z povahy procesů, ke kterým dochází v důlním prostředí, se předpokládají zatížení způsobující značné deformace. V důlních výztužích dochází k překračování dovolených napětí a proto je zapotřebí predikovat odezvu na zatěžující účinky nad rámec lineární pružnosti. Cesta výpočtu se ubírá k vlastnímu softwaru vyvíjeného na Katedře stavební mechaniky, VŠB-TU Ostrava. Původní složitý trojosý stav namáhání je redukován pomocí Euler-Bernoulliho teorie. Cílem práce je stanovení náhradní ohybové tuhosti (dále NOT), která je vlastností tvaru a materiálu výztuže a je vstupem do zmíněného softwaru. Ve výpočtu je také uvažován vliv osové síly.



Obr. 1: Deformovaný tvar výztuže profilu P-28



Obr. 2: Náhradní ohybové tuhosti pro různé axiální síly.

<sup>1</sup>Ing. Alexandros Markopoulos Ph.D., VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, Ostrava – Poruba, 17. listopadu, alexandros.markopoulos.st@vsb.cz

<sup>2</sup>Doc. Ing. Petr Janas, CSc., VŠB TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, Ostrava – Poruba, L. Poděště 1875, petr.janas@vsb.cz

<sup>3</sup>Doc. Ing. Jiří Podešva, Ph.D., VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, Ostrava – Poruba, 17. listopadu, jiri.podesva@vsb.cz

## 2 Náhradní ohybová tuhost - vlastnost výztuže vybraného profilu

Myšlenka operativní analýzy je založena na redukcí prostorového problému do nosníkového prvku a vhodném přenesení potřebných fyzikálních vlastností. U použitého profilu P-28 nastává při velkých deformacích výrazná změna tvaru průřezu oproti původnímu tvaru, s čímž souvisí změna kvadratického modulu pružnosti  $I$ . Navíc se očekává, že se výztuže mohou dostat do stavu, kdy jsou v materiálu překračovány meze kluzu, což podmiňuje zahrnutí materiálové nelinearity. Redukovanou úlohu lze vysvětlit na následujícím příkladu. Mějme nosník délky  $L$ , průřezu  $S$ , kvadratického modulu pružnosti  $I$ , který je zatížený obecným ohybovým momentem  $M(x)$ . Je-li v úkolem spočítat hodnotu natočení dvou průřezů  $\Delta\varphi$  sobě vzdálených o  $\Delta L_i$ , použijeme vztah

$$\Delta\varphi_i = \frac{M_i \Delta L_i}{(EI)_i}, \quad (1)$$

ve kterém vystupuje v součinu Youngův modul pružnosti  $E$  a průřezový moment setrvačnosti  $I$ . Jednoduchou úpravou přejdeme k

$$(EI)_i = \frac{M_i \Delta L_i}{\Delta\varphi_i}. \quad (2)$$

Moment  $M_i$  a natočení  $\Delta\varphi_i$  jsou získány z výpočtu v programu ANSYS. Charakteristika  $EI$  reprezentuje ohybové vlastnosti výztuže s vybraným profilem (zde P-28) a je vstupním parametrem pro analýzu vybrané soustavy.

### Poděkování

Projekt byl realizován za podpory Grantové agentury České republiky s číslem GA105/08/1562 a názvem Ocelová výztuž dlouhých důlních a podzemních děl při mimořádných zatíženích.

### Literatura

- [1] Janas, P., *Spolehlivost ocelových výztuží dlouhých důlních děl při rázovém zatížení*, závěrečná zpráva projektu GA ČR 105/01/0458, FAST VŠB TU Ostrava, leden 2007.
- [2] Markopoulos, A., Janas, P., Podešva, J. *Náhradní ohybová tuhost profilu P-28*. Nové trendy v statice a dynamice stavebných konstrukcí, Bratislava, 2009, 8 stran, ISBN 978-80-227-3170-6
- [3] Markopoulos, A., Janas, P., Podešva, J. *Náhradní ohybová tuhost profilu K24*. Modelování v mechanice, Ostrava, 2009, 11 stran. ISBN 978-80-248-2016-3.
- [4] Markopoulos, A., Podešva, J. *Využití metody konečných prvků v problematice důlních výztuží*, Modelování v mechanice 2008, Ostrava
- [5] Podešva, J. *Nelineární ohyb důlní výztuže*, Ansys users' meeting 2007, Tábor
- [6] Criesfield, M. *Non-linear finite element analysis of solids and structures*, John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, 1997
- [7] Podešva, J., Markopoulos, A. – *The Methodology of the beam stiffness substitution calculation*, Ansys users' meeting 2009, Darmstadt
- [8] ANSYS – *Structural nonlinearities, Users's Guide*. SAS IP, Inc. 1999

# VÝPOČET A ANALÝZA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ

CALCULATION AND ANALYSIS OF BUILDING STRUCTURES BY FINITE ELEMENT  
METHOD

Oldřich Sucharda<sup>1</sup>

## Abstract

The paper deals with a problem of chosen numerical methods stipulated for analysis of building structures. It shortly describes the force method which is determine for beam models, the universal sieving process and Finite element method which is the most favourite in the praxis. The article also acquaints with the computing system, its historical development and the possibilities of the usage and the application.

## 1 Úvod

Pro statický výpočet a analýzu napjatosti stavebních konstrukcí existuje více numerických metod. Numericky nenáročnou je silová metoda [2] pro řešení prutových konstrukcí. Uplatňuje se především u staticky neurčitých prutových soustav s nízkým stupněm statické neurčitosti. Výpočetní postup je založen na řešení soustavy lineárních rovnic vyjadřujících deformační podmínky. Omezení silové metody spočívá v obtížném vytvoření automatického výpočetního algoritmu.

Plošné konstrukce se v minulosti řešily nejčastěji metodou sítí, která se často označuje jako diferenční metoda [2]. Je určena pro numerické řešení téměř všech typů parciálních rovnic. Její význam u analýz stavebních konstrukcí postupně klesá v důsledku rozvoje metody konečných prvků, ale pro určité typy technických úloh může být stále nejefektivnější metodou.

Nejrozšířenější numerickou metodou pro analýzu stavebních konstrukcí se v současnosti stala metoda konečných prvků [2]. Jedná se o upravenou Ritzovu variační úlohu, která využívá jako základní variační funkce polynomy.

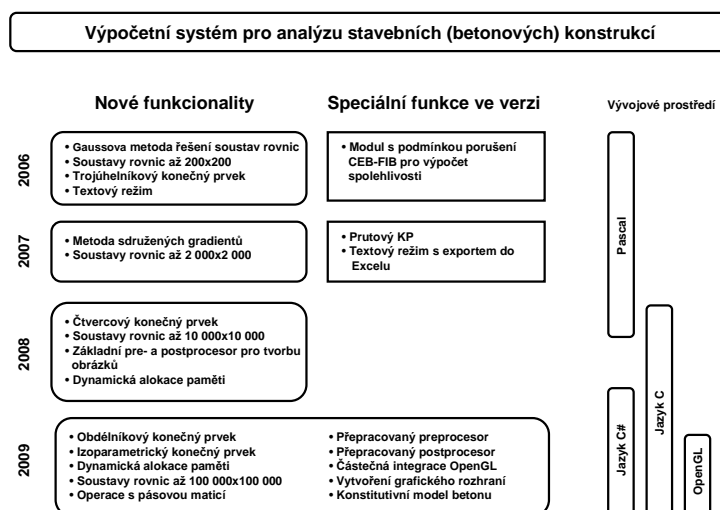
## 2 Vyvíjený výpočetní systém

Ruční výpočet při analýze stavebních konstrukcí má určité omezení a je vhodný spíše pro výpočty prutových a některých rovinných konstrukcí. Používá se například již uvedená silová metoda. Pro řešení podrobných analýz je ideální metoda konečných prvků. Mezi její nejdůležitější vlastnosti patří, že je vhodná k algoritmizaci pro zpracování na výpočetní technice.

Výpočetní systém BS Analysis pro analýzu stavebních konstrukcí je již vyvíjen několik let [1]. Vývoj výpočetního systému pro analýzu stavebních konstrukcí se uskutečňoval v úvodních letech v programovacím jazyku Pascal ve 32 bitové verzi. Za vývojový nástroj byl nasazen Free Pascal.

---

<sup>1</sup> Ing. Oldřich Sucharda, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděště 1875/17, CZ 708 33 Ostrava – Poruba, oldrich.sucharda@vsb.cz



Obr. 3 Historický vývoj programu

V roce 2008 se rozhodlo z řady důvodů o přechodu na programovací jazyk C pro řešič výpočetního systému. Uživatelské rozhraní je programováno jazykem C# a pro některé části preprocesoru se využívá jazyk OpenGL. Historický vývoj funkcionalit a speciálních funkcí ve verzích uvádí stručně obr. 3.

### 3 Závěr

Príspevek krátce seznamuje s metodami určenými pro analýzu stavebních konstrukcí. Pro nejrozšířenější metodu konečných prvků je uveden a popsán vyvíjený výpočetní systém pro analýzu stavebních konstrukcí. Je popsán historický vývoj, struktura systémů, vývojové prostředí, uživatelské rozhraní a možnosti využití při řešení rovinných výpočetních modelů. V současné době se autor výpočetního systému soustřeďuje na implementaci konstitutivního modelu betonu pro nelineární analýzu stavebních konstrukcí.

### Poděkování

*Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS. (This outcome has been achieved with the financial support of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic, project No. 1M0579, within activities of the CIDEAS research centre.)*

### Literatura

- [1] SUCHARDA, O. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2009 Implementace konstitutivního modelu železobetonu pro úlohy automatizovaného posudku konstrukcí ve 2D (1.1.3.1-16), MŠMT ČR, registrační číslo projektu 1M0579.
- [2] RAVINGER, J., KOLEKOVÁ Y., Pružnost II, STU v Bratislavě, Bratislava, 2002, ISBN 80-227-1769-X
- [3] uFEM software home page:  
[HTTP://FAST10.VSB.CZ/BROZOVSKY/ARTICLES/UFEM](http://FAST10.VSB.CZ/BROZOVSKY/ARTICLES/UFEM)

# MODELOVÁNÍ ROTAČNÍ SKOŘEPINY KONEČNÝMI PRVKY PRO PRAVDĚPODOBNOSTNÍ VÝPOČET

FINITE-ELEMENT MODELING OF ROTATIONAL SHELL FOR USE IN PROBABILISTIC  
CALCULATION

Oldřich Sucharda<sup>1</sup>, Jakub Valihrač<sup>2</sup>

## Abstract

The article deals with an analysis of shell structures which are asserted mainly by the structures with a big span. The deformation possibility of Finite Element Method is chosen for the analysis. The chosen finite element is implemented to the computing system BS Analysis, for the analysis of the building structures. The paper continues by the testing task in which the chosen parameters are stipulated as the stochastic quantities. The system Monte is chosen for the probabilistic calculation.

## 1 Úvod do teorie skořepin a metody konečných prvků

Při návrhu nádrží, bání a zastřešení budov se využívají skořepinové konstrukce, které řadíme spolu s deskami a stěnami mezi tenkostěnné konstrukce [1]. Při klasickém řešení a odvození teorie skořepin se vychází nejčastěji z předpokladu platnosti lineárního Hookeova zákona a z teorie malých deformací.

Nejrozšířenější numerickou metodou pro analýzu stavebních konstrukcí se v současnosti stala metoda konečných prvků. Jedná se o upravenou Ritzovu variační úlohu, která využívá jako základní variační funkce polynomy. Postup výpočtu je založen na diskretizaci výpočetního modelu na malé oblasti (konečné prvky), nad kterými se volí vhodné báze funkce.

## 2 Řešení symetricky zatížených rotačních skořepin metodou konečných prvků

Pro řešení symetricky zatížených rotačních skořepin je zvolen konečný prvek, který má šest stupňů volnosti. Vyznačuje se velkou univerzálností a má široké uplatnění. Umožňuje, aby se po dalších úpravách mohl použít také pro řešení rovinných rámu, nosníků a oblouků. Základní teoretické odvození je převzato z [1], [2] a [3]. Výsledná matice tuhosti konečného prvku má 36 členů a je symetrická podle hlavní diagonály.

## 3 Testovací úloha

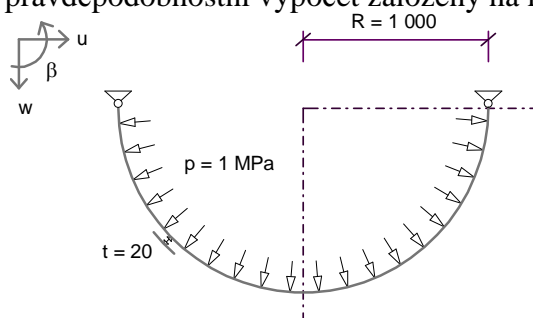
Pro testovací úlohu je zvolená kulová skořepina zatížená vnitřním přetlakem, viz obr. 1. Řešení je provedeno jednak analyticky, a dále metodou konečných prvků s využitím výše odkazovaného konečného prvku. Výpočet je proveden pro různě podrobné sítě

---

<sup>1</sup> Ing. Oldřich Sucharda, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Podéště 1875/17, CZ 708 33 Ostrava-Poruba, oldrich.sucharda@vsb.cz

<sup>2</sup> Ing. Jakub Valihrač, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Podéště 1875/17, CZ 708 33 Ostrava-Poruba, jakub.valihrach@vsb.cz

konečných prvků. Dále je výpočet proveden s uvažováním některých vstupních veličin jako stochastických. Je využita kombinace výpočetních systémů BS Analysis [4] a systému Monte [5] pro pravděpodobnostní výpočet založený na metodě Monte Carlo.



Obr. 1 Schéma konstrukce použité v testovací úloze odvozeného konečného prvku.

#### 4 Využití modelu pro pravděpodobnostní návrh a posudek

Cílem projektanta je navrhnout stavební konstrukci tak, aby splňovala všechna požadovaná kritéria spolehlivosti, tj. z hlediska únosnosti i použitelnosti, příp. také s přihlédnutím k trvanlivosti. Přitom má být výsledný návrh optimální (nejčastěji co nejekonomičtější) a to nejlépe se zohledněním celé doby života konstrukce.

Metodika je rozšířena o oblast plně pravděpodobnostního navrhování konstrukcí, kdy je cílem stanovit hodnoty návrhových parametrů konstrukce tak, aby byla splněna všechna požadovaná kritéria spolehlivosti. Aplikací vhodného optimalizačního kritéria může být vybrána jedna konkrétní sada návrhových parametrů představující optimální návrh. Konstrukce je považována za vyhovující (prohlášena za spolehlivou), je-li splněna podmínka, že pravděpodobnost poruchy je nižší než návrhová pravděpodobnost, a to pro všechna posuzovaná kritéria spolehlivosti [6].

#### Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků České republiky prostřednictvím Studentské grantové soutěže v rámci specifického výzkumu na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava. Registrační číslo projektu je SP/2010151.*

#### Literatura

- [1] VYKUTIL, J. 1981. *Explicit stiffness matrix of multipurpose linear element*, *Int. J. numer. methods eng.* 17, 1981, s. 1877-1881.
- [2] SCHNEIDER, P. 1985. *Výuka MKP na technických vysokých školách*, *Strojírenství*, 35, 1985, s. 390-398.
- [3] VYKUTIL, J., KŘUPKA, V. 1984. *A simplified approach to finite element education*, In *ART in FEM Technology*, Robinson and Associates, England 1984, s. 271-280.
- [4] SUCHARDA, O. 2009. *Implementace konstitutivního modelu železobetonu pro úlohy automatizovaného posudku konstrukcí ve 2D*. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS 1.1.3.1-16, MŠMT ČR, reg. č. 1M0579.
- [5] uFEM Software. On-line: <<http://fast10.vsb.cz/brozovsky/articles/ufem>>
- [6] VALIHRACH, J. 2009. *Navrhování a posuzování spolehlivosti konstrukcí založené na metodě SBRA z hlediska kritérií použitelnosti*. Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS 1.1.2.3-9, MŠMT ČR, reg. č. 1M0579.