

Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební  
VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering



## 11. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE MODELOVÁNÍ V MECHANICE 2013

### 11th INTERNATIONAL CONFERENCE MODELLING IN MECHANICS 2013

„u příležitosti 70. narozenin Doc. Ing. Petra Janase, CSc.“



Sborník rozšířených abstraktů - 22. - 23. 5. 2013 - Proceedings of the extended abstracts



## OBSAH / TABLE OF CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| <b>Balázs Ivan, Melcher Jindřich</b><br>Geometricky nelineární analýza ocelových tenkostěnných nosníků jednoose symetrického průřezu zatížených kolmo k ose symetrie ..... | 1  |
| <b>Baláž Lubomír</b><br>Statická analýza steny valcovej škrupiny .....   | 3  |
| <b>Benčat Ján, Papán Daniel</b><br>Numerické modelovanie a experimentálne overenie zaveseného mosta pre chodcov .....  | 5  |
| <b>Čajka Radim, Fojtík Roman</b><br>Experimentální měření teplot a napjatosti základové desky Národního superpočítačového centra .....                                     | 7  |
| <b>Drahorád Michal</b><br>Přesypané zděné klenbové mosty - interakce zeminy a konstrukce v inženýrských aplikacích .....   | 9  |
| <b>Fillo Ludovít, Halvonik Jaroslav</b><br>Preťaženie betónových lokálne podopretých stropných a základových dosiek .....  | 11 |
| <b>Fojtík Roman, Novotný Tomáš, Hurta Jan</b><br>Experimentální měření tuhosti kruhového ztužidla .....  | 13 |
| <b>Frantík Petr</b><br>Generátor čtyřúhelníkové sítě .....   | 15 |
| <b>Grzywiński Maksym, Iwona Pokorska</b><br>Sensitivity Analysis of Cylindrical Shell .....  | 17 |
| <b>Hájek Radek, Foglar Marek</b><br>Modelování šíření tlakové vlny v uzavřeném prostoru nádražní budovy .....  | 19 |
| <b>Halvonik Jaroslav, Fillo Ludovít</b><br>Preťaženie – príčiny havárie v komplexe trinity .....   | 21 |
| <b>Havlíková Ivana, Drbušková Magdaléna, Šimonová Hana, Láník Jaromír, Keršner Zbyněk</b><br>Iniciace trhlin v tělesech z drátkobetonu .....                               | 23 |
| <b>Holušová Táňa, Seitl Stanislav, Lozano Miguel, Fernández-Canteli Alfonso</b><br>Numerická podpora zkoušky excentrickým tahem aplikovaná na kvazi-křehké materiály ..    | 25 |
| <b>Janas Petr, Koubová Lenka</b><br>Modelové a experimentální ověřování vlastností a únosnosti ocelové obloukové výztuže ..  | 27 |
| <b>Jurčíková Anežka, Rosmanit Miroslav</b><br>Propojení 3D detailu styčnicku s prutovým modelem konstrukce s využitím MPC algoritmu .....                                  | 29 |
| <b>Kafka Jiří</b><br>Simulations of the mechanical behaviour of knitted fabric for technical applications .....  | 31 |
| <b>Konečný Petr, Ghosh Pratenu, Lehner Petr</b><br>Consideration of time-effect on the modeling of chloride diffusion in concrete .....                                    | 33 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Kortiš Ján, Rapanová Nina</b><br>Porovnanie výsledkov statickej a dynamickej numerickej simulácie diagnostickej metódy vozovky .....                      | 35 |
| <b>Kotrasová Kamila</b><br>Analysis of frequencies an liquid in rectangular tank .....   | 37 |
| <b>Králik Juraj</b><br>Probabilistic Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Bubbler Tower Structure Failure .....   | 39 |
| <b>Králik Juraj, Klabník Maroš</b><br>Deterministická a pravdepodobnostná analýza požiarnej odolnosti viacpodlažného oceľového rámu .....                    | 41 |
| <b>Králik Juraj, ml.</b><br>Deterministic and probabilistic analysis of stell hall collaps loaded under extreme snow loads .....                             | 43 |
| <b>Králik Juraj, Tirpáková Mária</b><br>Nonlinear Analysis of Steel Concrete Column Fire Resistance .....  | 45 |
| <b>Kršík Jakub</b><br>Numerický model dutinové desky na pružném podepření s kontaktními prvky .....  | 47 |
| <b>Křivý Vít, Konečný Petr, Urban Viktor</b><br>Materiálové vlastnosti patinujících ocelí použitých při výstavbě mostních konstrukcí v České republice ..... | 49 |
| <b>Kšišňan Jozef, Vodička Roman</b><br>A numerical analysis of interface crack propagation in shearing mode with cohesive and adhesive type contact .....    | 51 |
| <b>Lang Rostislav, Němec Ivan</b><br>Navrhování membránových konstrukcí .....  | 53 |
| <b>Lausová Lenka, Kološ Ivan, Krejsa Martin</b><br>Výpočet únosnosti ocelových konstrukcí za požáru .....  | 55 |
| <b>Magura Martin, Brodniansky Ján</b><br>Poruchy oceľových konštrukcií zaťažených teplotou .....   | 57 |
| <b>Major Maciej, Major Izabela</b><br>Acceleration Wave Propagating in Hyperelastic Mooney-Rivlin and Zahorski Materials ..                                  | 59 |
| <b>Marton Pavol</b><br>Statics analysis of reinforced concrete beams by the exclusion zone of tensile stresses .....   | 61 |
| <b>Marton Pavol</b><br>Statics analysis of multilayer beams in the temperature field .....   | 63 |
| <b>Melcer Jozef, Martinická Ivana</b><br>Vozidlo – cesta riešenie vo frekvenčnej oblasti .....   | 65 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Michalcová Vladimíra, Kuznetsov Sergii, Pospíšil Stanislav</b>  |    |
| Numerické a experimentální modely zatížení objektu od účinků proudového pole . . . . .                   | 67 |
| <b>Mikolášek David, Sucharda Oldřich, Brožovský Jiří</b>   |    |
| Numerické modelování prolamovaného nosníku . . . . .   | 69 |
| <b>Moravčík Milan</b>  |    |
| Prenos vibrácií konštrukciou trate pri prejazde vlakov . . . . .   | 71 |
| <b>Němec Ivan, Sychrová Šárka</b>  |    |
| Parametrická studie odezvy kontejmentu na zatížení nárazem letadla . . . . .                             | 73 |
| <b>Pešek Ondřej, Melcher Jindřich</b>  |    |
| Numerické modelování tlačných prutů z vrstveného konstrukčního skla . . . . .                            | 75 |
| <b>Pospíšil Stanislav, Král Radomil, Kuznetsov Sergii</b>  |    |
| New climatic wind tunel for structural aerodynamics . . . . .  | 77 |
| <b>Průch Ivan, Ignačák Miroslav, Šoltész Július</b>  |    |
| Analýza teplotního pole vybraných konstrukcí v jejich ranném stádiu . . . . .                            | 79 |
| <b>Psočný Martin</b>   |    |
| Nonlinear analysis of buckling and post-buckling . . . . .   | 81 |
| <b>Psočný Martin</b>   |    |
| Load – carrying capacity of compound shell . . . . .   | 83 |
| <b>Rosmanit Miroslav, Přemysl Pařenica</b>   |    |
| Numerický model kombinovaného styčnicku typu ocel-dřevo . . . . .  | 85 |
| <b>Sandanus Jaroslav, Sögel Kristián</b>   |    |
| Modelovanie nosných konštrukcií pamiatkových objektov . . . . .  | 87 |
| <b>Slivanský Miloš</b>   |    |
| Modelovanie vystužených sklených nosníkov v MKP . . . . .  | 89 |
| <b>Sucharda Oldřich</b>  |    |
| Učební materiály zaměřené na pružnost a plasticitu ve stavebnictví . . . . .                             | 91 |
| <b>Sumec Jozef, Minárová Mária</b>   |    |
| Mechanical and Mathematical Modeling of Visco-elastic Continua –<br>Constitutive Equations . . . . .     | 93 |
| <b>Sýkora Miroslav, Holický Milan, Krejsa Jan</b>  |    |
| Model uncertainty in shear resistance of reinforced concrete beams<br>with shear reinforcement . . . . . | 95 |
| <b>Šimonová Hana, Havlíková Ivana, Keršner Zbyněk</b>  |    |
| Studie statistického chování Gumbelova modelu únavové odezvy betonů<br>tříd C30/37 a C45/55 . . . . .    | 97 |
| <b>Štafa Michal, Frantík Petr</b>  |    |
| Pružinové sítě a jejich aplikace . . . . .   | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tvrďá Katarína</b>   |     |
| Probabilistic analysis of the circular foundation plate . . . . .   | 101 |
| <b>Valeš Jan</b>  |     |
| Analýza únosnosti náhodně zakřiveného tlačného tenkostěnného prutu . . . . .                              | 103 |
| <b>Vašek Zdeněk, Janas Petr</b>   |     |
| Mechanické vlastnosti důlních ocelových výztuží . . . . .   | 105 |
| <b>Veselý Václav, Sobek Jakub</b>   |     |
| Numerická studie porušování těles z cementových kompozitů<br>při modifikovaném CT lomovém testu . . . . . | 107 |
| <b>Vořechovská Dita, Teplý Břetislav</b>  |     |
| Modelling of reinforcement corrosion in RC structures . . . . .   | 109 |
| <b>Vořechovský Miroslav, Kaděrová Jana</b>  |     |
| Proces vývoje korelace při náhodných záměnách pořadí elementů . . . . .                                   | 111 |

# GEOMETRICKY NELINEÁRNÍ ANALÝZA OCELOVÝCH TENKOSTĚNNÝCH NOSNÍKŮ JEDNOOSE SYMETRICKÉHO PRŮŘEZU ZATÍŽENÝCH KOLMO K OSE SYMETRIE

GEOMETRICALLY NONLINEAR ANALYSIS OF STEEL BEAMS OF  
MONOSYMMETRIC THIN-WALLED CROSS-SECTIONS LOADED  
PERPENDICULARLY TO THE AXIS OF SYMMETRY

Ivan Balázs<sup>1</sup>, Jindřich Melcher<sup>2</sup>

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá geometricky nelineární analýzou ocelových nosníků jednoose symetrického tenkostěnného průřezu zatížených kolmo k ose symetrie excentricky ke středu smyku. Numerická analýza vybraných příčně zatížených nosníků je provedena v programu Dlubal RFEM metodou konečných prvků. Na základě výsledků je studována vhodnost použití interakčního vztahu pro posouzení ohybu s klopením a kroucením.

## Klíčová slova

Ocel, nosník, ohyb, kroucení, stabilita, napětí, numerické modelování, analýza, MKP.

## Abstract

The paper deals with geometrically nonlinear analysis of steel beams of monosymmetric thin-walled cross-sections loaded perpendicularly to the axis of symmetry eccentrically to the cross-section shear centre. Numerical analysis of selected beams is performed by using Dlubal RFEM code based on finite element method. Accuracy of an interaction formula for bending with lateral torsional buckling and torsion is studied.

## Keywords

Steel, beam, bending, torsion, stability, stress, numerical model, analysis, FEM.

## 1 Úvod

Tento příspěvek se soustředí na problematiku nosníků průřezu U zatížených příčným zatížením působícím excentricky ke středu smyku způsobujícím namáhání ohybem se ztrátou stability (klopením) a kroucením.

Pro jednoose souměrné průřezy zatížené kolmo k ose symetrie byly potřebné vztahy pro řešení problému klopení pro příčné zatížení procházející středem smyku uvedeny v [1]. Vztahy pro výpočet klopení v aktuálně platné normě pro navrhování ocelových konstrukcí [2] jsou také platné pouze pro případy, kdy vektor příčného zatížení protíná střed smyku. Pro ostatní případy je doporučeno použít např. numerické postupy. Interakční vztah pro ohyb s klopením a kroucení není uveden.

<sup>1</sup> Ing. Ivan Balázs, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Veveří 331/95, 602 00 Brno, balazs.i@fce.vutbr.cz

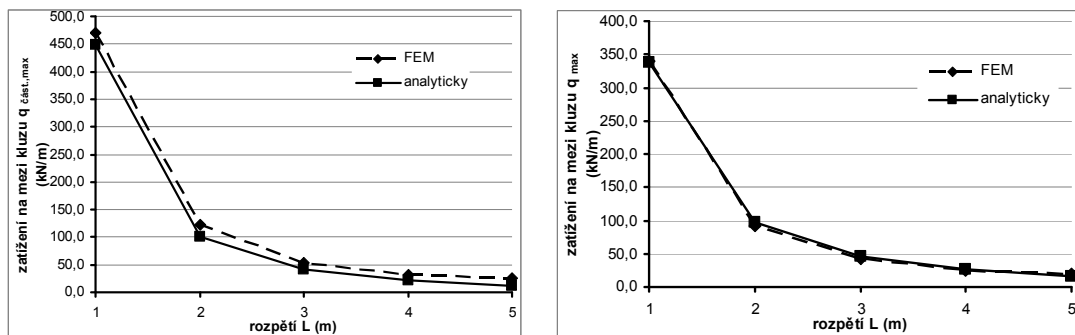
<sup>2</sup> Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Veveří 331/95, 602 00 Brno, melcher.j@fce.vutbr.cz

## 2 Numerická analýza a její výsledky

Předmětem numerického modelování v programu Dlubal RFEM je analýza vybraných tenkostěnných jednoose symetrických průřezů o různém rozpětí zatížených příčnými zatíženími excentricky ke středu smyku.

Numerická analýza v programu RFEM proběhla v několika fázích: po namodelování geometrie, uložení a zatížení byla provedena stabilitní analýza pro získání vlastních tvarů; první z nich byl použit jako počáteční zakřivení (imperfekce). Geometrie nosníku pak byla přizpůsobena počátečnímu zakřivení a model tak byl připraven na geometricky nelineární analýzu imperfektního nosníku podle teorie II. řádu [3] (GNIA analýza).

Výsledky analýzy jsou porovnány s výsledky analytického výpočtu, kdy je studována vhodnost užití jednoduchého interakčního vztahu pro kombinaci ohybu s klopením a kroucení. Jedná se o součet normálového napětí od ohybu redukovaného součinitelem klopení a normálového napětí od kroucení. Obr. 1 ukazuje porovnání výsledků numerické analýzy s výsledky analytického výpočtu při uplatnění interakčního vztahu pro vybrané případy zatížení.



Obr. 1: Porovnání výsledků (částečné a plné spojité zatížení)

## 3 Závěr

V řešených případech vede použití jednoduchého lineárního interakčního vztahu ve většině případů k mírně nižším hodnotám zatížení na mezi kluzu, než které poskytly výsledky geometricky nelineární numerické analýzy.

## Poděkování

*Príspevek byl vypracován v rámci řešení projektu specifického výzkumu č. FAST-J-13-2059 a projektu GAČR č. P105/12/0413.*

## Literatura

- [1] MELCHER, J. Kippen von Trägern als Stabilitätsproblem zweier Gruppen von Querschnittstypen. *Stahlbau*. Berlin: Ernst & Sohn, 1999, roč. 68, č. 1, s. 24-29. ISSN 0038-9145
- [2] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 96 s.
- [3] KINDMANN, R. a WOLF, CH. Geometrische Ersatzimperfectionen für Tragfähigkeitsnachweise zum Biegeknicken von Druckstäben. *Stahlbau*. Berlin: Ernst & Sohn, 2009, roč. 78, č. 1, s. 25-34. ISSN 0038-9145.



# STATICKÁ ANALÝZA STENY VALCOVEJ ŠKRUPINY

## STATIC ANALYSIS WALL OF CYLINDRICAL SHELL

Lubomír Baláž<sup>1</sup>

### Abstrakt

V tomto príspevku prezentujeme niekoľko inžinierskych spôsobov a prístupov modelovania zaťaženie a následný výpočet vnútorných síl a deformácií valcových nádrží.

### Kľúčové slová

valcová nádrž, metóda konečných prvkov, zaťaženie, vnútorné sily, deformácia

### Abstract

In this paper are presented several types of calculate internal forces and deformation cylindrical tank. ANALYTIC METHOD, KRNA, SCIA ENGINEER, R FEM and ANSYS software was used to created of the model and the analysis.

### Keywords

cylindrical tank, finite element method, load, internal forces, deformation

## 1 Úvod

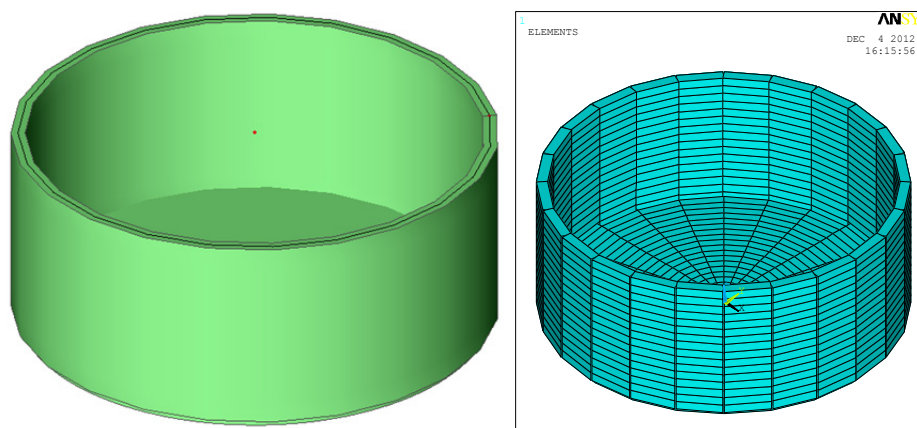
V tomto príspevku sme sa zamerali na modelovanie valcových nádrží, na výpočet vnútorných síl v stene nádrže a priehybu tejto steny. Pre analýzu bol vybraný model valcovej nádrže zo stavebnej praxe. Takáto valcová nádrž je použitá ako fermentor pri zhodnocovaní biologického odpadu a výrobe bioplynu. Stena valcovej nádrže bola počítaná rôznymi programami. Zaťaženie bolo zadané buď formou hydrostatického tlaku zaťažovacím trojuholníkom, alebo pomocou fluid konečných prvkov. Dosiahnuté výsledky sú prezentované v tabuľke 1.

## 2 Model valcovej nádrže

Ako reprezentatívny model valcovej nádrže sme zvolili železobetónovú monolitickú konštrukciu.

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Vnútorný priemer:         | 20 metrov              |
| Výška nádrže:             | 8 metrov               |
| Hrúbka steny:             | 0,6 metra              |
| Hrúbka dna:               | 0,6 metra              |
| Náplň (voda), merná tiaž: | 10 kN / m <sup>3</sup> |

<sup>1</sup>Ing. Lubomír Baláž, Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: lubomir.balaz@stuba.sk



Obr. 1: Tvar valcovej nádrže(vľavo - SCIA ENGINEER, vpravo - ANSYS)

|                     | w (m)    | N (kN/m) | M (kNm/m) | V (kN/m) |
|---------------------|----------|----------|-----------|----------|
| ANALYTICKÉ RIEŠENIE | 0,000205 | 394,60   | 108,12    | 10,14    |
| KRNA                | 0,000222 | 399,30   | 103,15    | 12,10    |
| SCIA ENGINEER       | 0,0002   | 410,12   | 106,28    | 8,97     |
| R FEM               | 0,0002   | 401,32   | 103,01    | 9,41     |
| ANSYS H. T.         | 0,000223 | 417,43   | 29,45     | 10,17    |
| ANSYS FLUID 30      | 0,00024  | 415,95   | 29,85     | 10,56    |
| ANSYS FLUID 80      | 0,00024  | 402,50   | 29,85     | 10,56    |

Tab. 1: Vyhodnotenie maximálnych veličín na stene valcovej nádrže

### 3 Záver

Z prezentovanej analýzy vyplýva, že v dnešnej dobe existuje množstvo spôsobov ako určiť veľkosti priehybov steny valcovej nádrže a vnútorných síl, ktoré v nej pôsobia. Jednoduchšie modelovanie sa oproti zložitému modelovaniu v sofistikovaných programoch líšia len minimálne a na prvotný odhad a návrh konštrukcie úplne postačujú. V tabuľke 1 uvádzame dosiahnuté hodnoty, priehybov, ohybových momentov, priečnych síl a osových síl.

### PodĎakovanie

*Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry MŠ SR, ako projekt VEGA01/0629/12.*

### Literatúra

- [1] BILČÍK, Juraj, GRAMBLIČKA Štefan. *Betónové konštrukcie - Nádrže*. Bratislava STU, SvF. 2004. 283 s. ISBN 80-227-2014-3
- [2] SOBOTA, Jan,. *Stavebná mechanika 2* . BratislavaAlfa. 1980. 352 s.
- [3] STN EN 1991- 1 *Zaťaženie konštrukcií*. Bratislava :Slovenský ústav technickej normalizácie. 2004. 22 s.
- [4] [www.scia-online.com](http://www.scia-online.com)
- [5] <http://www.dlubal.cz>
- [6] <http://www.ansys.com>

# NUMERICKÉ MODELOVANIE A EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ZAVESENÉHO MOSTA PRE CHODCOV

NUMERICAL MODELING AND TESTING OF CABLE-STAYED PEDESTRIAN BRIDGE

Ján Benčat<sup>1</sup>, Daniel Papán<sup>2</sup>

## Abstract

Modeling and testing of the structures is only way of assessing the reliability of assumptions made in numerical modeling and is the most satisfactory means of determining relevant parameters for evaluation existing structures. A comparison of the values of certain quantities obtained by experiment and by theoretical analysis and computation is the necessary prerequisite for both static and dynamic loading tests.

## Keywords

Cable – stayed pedestrian bridge, bridge static and dynamic loading tests, structures diagnostics, spectral analysis of structures, natural frequencies and modes.

## 1 Introduction

Cable – stayed bridges, especially pedestrian slender structures exhibit complex behavior in which the lateral translation, torsion and vertical bending modes are often strongly coupled. It combined spatial dynamic behavior increases the challenges involved in the model improving of the bridges purposes. This strongly combined vibration under load of the pedestrian bridges induces dynamic and static load tests necessity. This paper discussed the experimental and analytical analysis of the cable – stayed pedestrian bridge over the *Hron* river near *Žarnovica* (SK), static and dynamic response via static and dynamic loading tests [1,5,6].



Fig. 1: General view of the cable – stayed pedestrian bridge *Tennis Racket* over the *Hron* River

<sup>1</sup> Ján Benčat, Prof., Ing., Ph.D. University of Žilina, FCE, Structural Mechanics Department, Univerzitná 1, SK-01026 Žilina, E-mail: jan.bencat@gmail.

<sup>2</sup> Daniel Papán, Ing., PhD. University of Žilina, F.C.E, Structural Mechanics Department, Univerzitná 1. SK-01026 Žilina. E-mail: daniel.papan@gmail.com

Ambient vibration tests [1] were also carried out to determine the service dynamic characteristics of the bridge (dynamic load factor – DLF, damping, etc.) and basic modal parameters in the frequency range 0.3 Hz to 10 Hz via spectral analysis means [7].

The experimental investigation was complemented by development of a simplified *Finite Element Model* (FEM), so that the main assumptions adopted in model were assessed through the comparison between measured and designed dynamic and modal parameters [1,2,3,4], see also Tab. 1.

| Calculated frequency $f_{(i)}$<br>[Hz] | Measured frequency $f_{(i)}$<br>[Hz] | Natural mode       |
|--|--------------------------------------|--------------------|
| $f_{(2)} = 1,224$                      | $f_{(2)} = 1,131$                    | 1 bending vertical |
| $f_{(3)} = 1,903$                      | $f_{(3)} = 1,654$                    | 1 torsion          |
| $f_{(5)} = 2,851$                      | $f_{(5)} = 2,507$                    | 2 torsion          |
| $f_{(7)} = 3,724$                      | $f_{(7)} = 3,582$                    | 3 torsion          |

Tab. 1: Calculated and measured bridge natural frequencies

## 2 Conclusions.

- 1) The static and dynamic behavior of the pedestrian cable – stayed bridge confirmed good agreement between numerical (FEM) and experimental static deflections (SLT) and dynamic parameters – natural modes and frequencies and DLF, (DLT).
- 2) The numerical model can be greatly affected by the sag of the cable and geometrical stiffness; if such effects are neglected in the FEM modal analysis, the resulting theoretical and experimental dynamic properties can be different.
- 3) The vibration under the common service load acting was safety but during monitoring of the bridge it sometimes appeared not comfortable for the pedestrians using.
- 4) Nowadays, the increased service vibrations are reduced by structural modifications following from the Static and Dynamic loading test results [1].

## Acknowledgement

*We kindly acknowledge the research project VEGA, Nr.G1/0169/12 granted by Scientific Grant Agency of the Slovak Republic Ministry of Education. We should also like to thank the Civil Engineering Faculty – University of Žilina for additional feed in this field research activity.*

## References

- [1] BENČAT, J. *Report on static and dynamic test results of the cable – stayed pedestrian bridge over the Hron river*, No. 6 – 3 – 20/SvF/06, ZU, Žilina, 2006.
- [2] ENV 1993 – 1– 4, EUROCODE 3: *Design of steel structures*. Supplementary rules for stainless steel.
- [3] EURINOX, *Pedestrian bridges in stainless steel, Building series*, Volume 7, Luxembourg, 2004.
- [4] The Steel Construction Institute: *Structural design of stainless steel*. SCI Publication P291, Ascot, UK 2001.
- [5] Slovak Standard No.73 6209 – Loading test of bridges.
- [6] Slovak Standard No.73 6203 – Loading of bridges.
- [7] BENDAT, J. S; PIERSOL, A. G., *Engineering applications of correlation and spectral analysis, (2nd edition)*, Wiley Interscience, New York, 1993.

# EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ TEPLOT A NAPJATOSTI ZÁKLADOVÉ DESKY NÁRODNÍHO SUPERPOČÍTAČOVÉHO CENTRA

EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF TEMPERATURES AND STRESSES IN THE FOUNDATION SLAB OF NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER

Radim Čajka<sup>1</sup>, Roman Fojtík<sup>2</sup>

## Abstrakt

V příspěvku je popsán způsob experimentálního měření teplot a napětí železobetonové základové desky během výstavby Národního superpočítačového centra v Ostravě.

## Klíčová slova

Experimentální měření, teplota, napjatost, betonové základové konstrukce, kluzné spáry

## Abstract

In the paper is described the method of experimental temperature and stress measurement of reinforced concrete foundation slab during building-up of National Supercomputing Centre in Ostrava.

## Keywords

Experimental measurement, temperature, stress, concrete foundation, sliding joints

## 1 Úvod

Počátkem roku 2013 byla v rámci „OP VaVPI projektu IT4 Inovations“ zahájena výstavba Centra excelence - Národního superpočítačového centra v areálu VŠB – Technické univerzity Ostrava. S ohledem na náročnost stavby, složité základové poměry a betonáž v zimních podmínkách bylo rozhodnuto ověřit během výstavby průběh teplot a stav napjatosti základové desky.

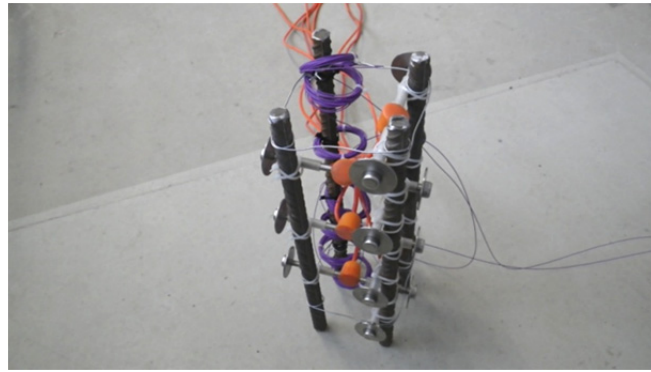
## 2 Měření teplot a napjatosti železobetonové základové desky

Foliové tenzometry jsou nalepeny na betonářskou výztuž, která je umístěna v obou hlavních směrech při horním a spodním povrchu žb. desky. Sledování změny napjatosti betonové desky, je zajištěno použitím strunových tenzometrů, které jsou umístěny v podélném i příčném směru po výšce železobetonové desky v úrovních po cca 90 mm v měřicím pilíři. Tato čidla rovněž umožňují měření změn teplot, které v počátečním stadiu vznikají vlivem vývoje hydratačního tepla cementu a kolísáním teplot vnějšího prostředí [1].

---

<sup>1</sup>Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava – Poruba, radim.cajka@vsb.cz

<sup>2</sup>Ing. Roman Fojtík, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava – Poruba, roman.fojtik@vsb.cz



Obr 1. Sestava měřicího pilíře osazeného do železobetonové desky

### 3 Závěr

Experimentální ověření teoretických předpokladů změn napjatosti základových konstrukcí vlivem kolísání teplot vnějšího prostředí, vývoje hydratačního tepla a objemových změn betonu je nezbytné pro verifikaci navržených výpočetních modelů. Výsledky měření potvrdily teoretické výpočty [6] a příznivý vliv hydratace betonové směsi [1], [2], [3] na teplotu kluzných spár i v zimním období [4], [5].

### Poděkování

*Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, podpora specifického vysokoškolského výzkumu Koncepčního rozvoje FAST VŠB-TU Ostrava v roce 2013 a částečného využití výsledků řešení projektu Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi.*

### Literatura

- [1] ČAJKA, R. Teplotní účinky velkoplošných základových konstrukcí. *Beton a zdivo* 1-2/1993.
- [2] ČAJKA, R. Vývoj hydratačního tepla při betonáži základu komínu Elektrárny Dětmárovice. *Konference s mezinárodní účastí "Betonářské dny 2001"*, 28.-30. listopadu 2001 v Pardubicích, ISBN 80-238-7595-7
- [3] ČAJKA, R. Napjatost železobetonových základových desek s ohledem na teplotu prostředí při betonáži. *Sborník XII. mezinárodního symposia „Sanace 2002“*, 16. - 17. května 2002, Brno, ISSN 1211-3700.
- [4] ČAJKA, R., MATEČKOVÁ, P.: Temperature distribution of slide joint in reinforced concrete foundation structures. *17th International Conference on Engineering Mechanics 2011*, Svratka 9.5.-12.5. 2011. ISBN 978-80-87012-33-8, WOS: 000313492700017
- [5] JANULÍKOVÁ, M., ČAJKA, R., MATEČKOVÁ, P., STARÁ, M. Modelování základových konstrukcí s kluznou spárou s využitím výsledků laboratorních zkoušek asfaltových pásů. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ročník XII, 1/2012, ISSN 1213-1962
- [6] ČAJKA, R., Numerical Solution of Transient Temperature Field of Layered Plane Structures. *In Proceedings of the 3rd International Conference on Mathematical Models for Engineering Science (MMES'12)*, WSEAS Press, Paris, France, December 2-4, 2012, pp. 29-34, ISBN 978-1-61804-141-8

# PŘESYPANÉ ZDĚNÉ KLENBOVÉ MOSTY - INTERAKCE ZEMINY A KONSTRUKCE V INŽENÝRSKÝCH APLIKACÍCH

BURIED MASONRY ARCH BRIDGES – MODELLING OF THE SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN ENGINEERING APLICATIONS

Michal Drahorád<sup>1</sup>

## Abstrakt

Tato práce se zabývá možnostmi modelování interakce zděných klenbových mostních konstrukcí s materiálem zásypu v inženýrských aplikacích. Hlavním cílem práce je vývoj numerického modelu konstrukce vystihujícího s dostatečnou přesností skutečné chování mostu na úrovni použitelné v běžné inženýrské praxi. V článku jsou uvedeny základní předpoklady, definice modelu interakce zeminy s klenbou a rozbor dosažených výsledků.

## Klíčová slova

Klenbový most, interakce se zeminou, zemní tlak

## Abstract

The paper deals with modeling of soil-structure interaction of buried masonry arch bridges. The main scope of this work is developing of a numerical model with sufficient accuracy for engineering applications. Basic presumptions, numerical model definition and analyses of results are introduced in the paper.

## Keywords

Masonry arch bridge, soil interaction, earth pressure

## 1 Úvod

Zděné klenbové mosty s přesypávkou jsou jedním z nejstarších druhů trvalých mostů. Stavba těchto mostů je z řemeslného hlediska relativně jednoduchá a jejich únosnost značná. To je i důvodem jejich rozsáhlého rozšíření jak po světě, tak i v ČR. V současné době lze odhadovat, že se celkový počet aktivně užívaných zděných klenbových mostů na komunikační síti v ČR pohybuje kolem 10.000, přitom jejich průměrné stáří přesahuje 100 let. Uvážíme-li předpokládanou životnost konstrukce 100 let a vývoj zatížení dopravou po dobu jejich užívání, je zřejmé, že tyto mosty vyžadují, nebo v nejbližší době budou vyžadovat, zásadní opravu, zesílení, či dokonce náhradu novou konstrukcí.

S ohledem na výše uvedený počet aktivně užívaných klenbových mostů a s ohledem na současný stav veřejných financí nebude možné všechny nevyhovující mosty nahradit

---

<sup>1</sup> Ing. Michal Drahorád, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, E-mail : [michal.drahorad@fsv.cvut.cz](mailto:michal.drahorad@fsv.cvut.cz)

novými ani je v nejbližší době opravit. Proto nabývá na významu stanovení skutečného stavu a únosnosti, resp. zatížitelnosti, zděných klenbových mostů a v souvislosti s touto úlohou je zásadní i spolupůsobení zděné klenbové konstrukce s materiálem zásypu.

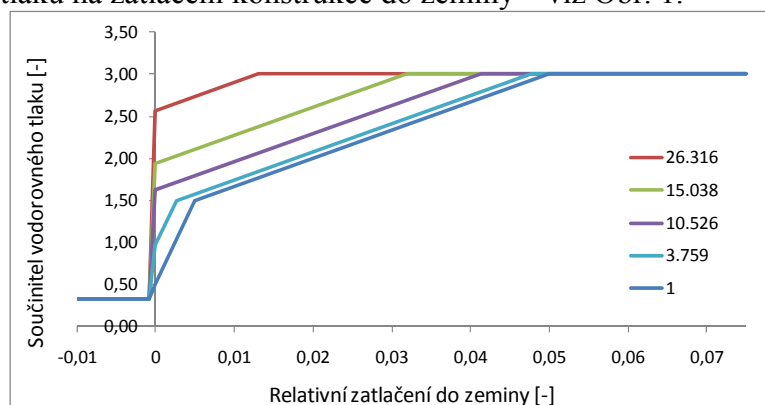
## 2 Model interakce

Protože vlastní zděná klenbová konstrukce je velmi tuhá, je v rámci modelu konstrukce zásyp modelován jako silové, deformačně závislé, zatížení. To s sebou přináší i výhodné snížení numerické náročnosti modelu, který je následně podroben materiálově nelineární analýze. Velikost zatížení se stanoví na základě geometrie konstrukce, objemové tíhy materiálu zásypu (svislý směr) a zatlačení deformované konstrukce do zeminy (vodorovný směr). Pro stanovení velikosti vodorovného zatížení se využije závislost velikosti zemního tlaku na zatlačení do zeminy stanovená podle zásad mechaniky zemin.

Protože materiál zásypu klenby je zpravidla tvořen nesoudržnými zeminami, jsou pro stanovení mezních vodorovných tlaků využity klasické vztahy odvozené z rankinovy teorie zemních tlaků. Zásadní význam pro mezilehlé hodnoty vodorovného tlaku má zejména hutnění zásypu. Pro stanovení součinitele bočního tlaku v klidu je využito jákyho vztahu doplněného o vliv překonsolidace (součinitele OCR).

$$K_{0,OCR} = (1 - \sin \varphi') \cdot OCR^{\sin \varphi'} \quad (1)$$

Z uvedených základních hodnot vodorovného tlaku je potom sestavena závislost vodorovného tlaku na zatlačení konstrukce do zeminy – viz Obr. 1.



Obr. 1: Závislosti součinitele vodorovného tlaku na zatlačení do zeminy pro různé hodnoty OCR

## 3 Závěr

Uvedený model interakce zeminy byl implementován do numerického modelu konstrukce a je v současnosti ověřován v praxi. Další výzkum je zaměřen na velikost překonsolidačního napětí a distribuci proměnných dopravních zatížení v zásypu.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Technologické agentury České republiky. Registrační číslo projektu je TA03031099.*

## Literatura

- [1] FOGLAR, M., KRÍSTEK, V. Centre-line optimisation of buried arch bridges. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering, 165 (3), 2012, pp. 159-168.



# PRETLAČENIE BETÓNOVÝCH LOKÁLNE PODOPRETÝCH STROPNÝCH A ZÁKLADOVÝCH DOSIEK

## PUNCHING OF CONCRETE FLAT SLABS AND FOOTINGS

Eudovít Fillo<sup>1</sup>, Jaroslav Halvonik<sup>2</sup>

### Abstrakt

V príspevku je prezentovaný jav pretlačenia betónových lokálne podopretých stropných a základových dosiek. Uvedené sú obmedzenia CEN/TC250/SC2 – max. šmykovej odolnosti takýchto konštrukcií s krehkým - náhlým spôsobom porušenia. Prezentované sú tiež grafické závislosti max. hrúbky dosiek v závislosti na zaťažení, rozpätí a stupni vystuženia.

### Kľúčové slova

pretlačenie, lokálne podopretá doska, krehké - náhle porušenie, max. šmyková odolnosť

### Abstract

Paper deals with punching phenomenon of concrete flat slabs and footings. Presented are limits of CEN/TC250/SC2 – max. shear resistance of these structures with brittle and sudden mode of failure. There are also presented graphic relations between slab thickness and loads, spans and reinforcement.

### Keywords

punching, flat slab, brittle failure, progressive collapse

## 1 Úvod

Vzhľadom na existujúce zlyhania lokálne podopretých dosiek a netypický náhly spôsob porušenia CEN/TC250/SC2 Subkomisia pre betónové konštrukcie pripravila obmedzenia – max. šmykovej odolnosti takýchto konštrukcií. Jednotlivé členské štáty CEN upravili tieto obmedzenia do svojich NA. V príspevku uvádzame tieto obmedzenia a ich vplyv na návrh lokálne podopretých stropných a základových dosiek.

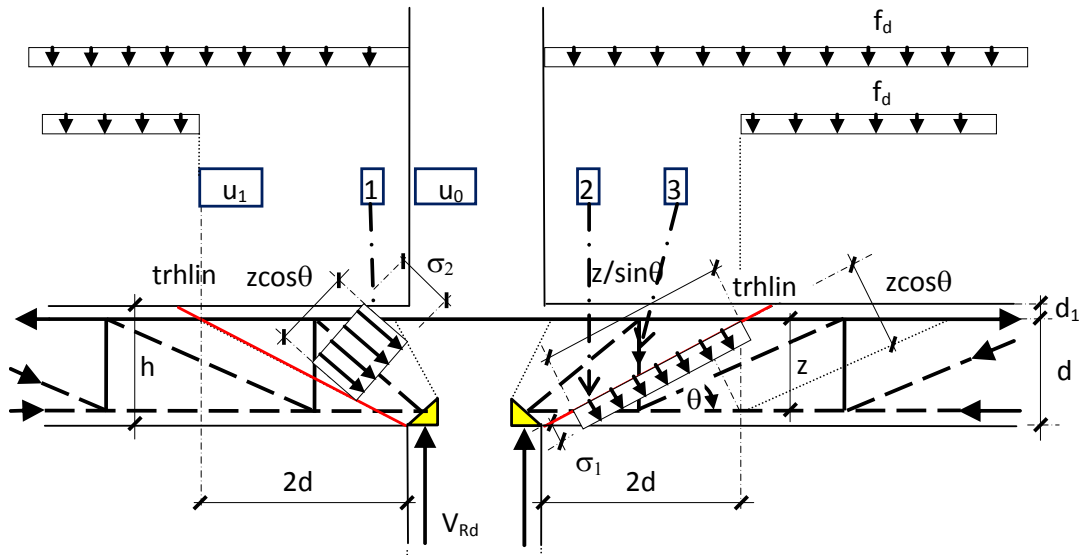
## 2 Pretlačenie dosky

Na obr. 1 je schematicky znázornený jav pretlačenia bodovo podopretej dosky - porušenie tlakovej diagonály (drvenie betónu) a šmykové porušenie v prvom kontrolnom obvode, betónu resp. šmykových tŕňov v ťahu. Uvádzané obmedzenia sa týkajú celkovej šmykovej odolnosti a túto hodnotu nemožno prekročiť aj za predpokladu vyššieho vystuženia šmykovou výstužou.

---

<sup>1</sup> prof.Ing.Eudovít Fillo,PhD, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

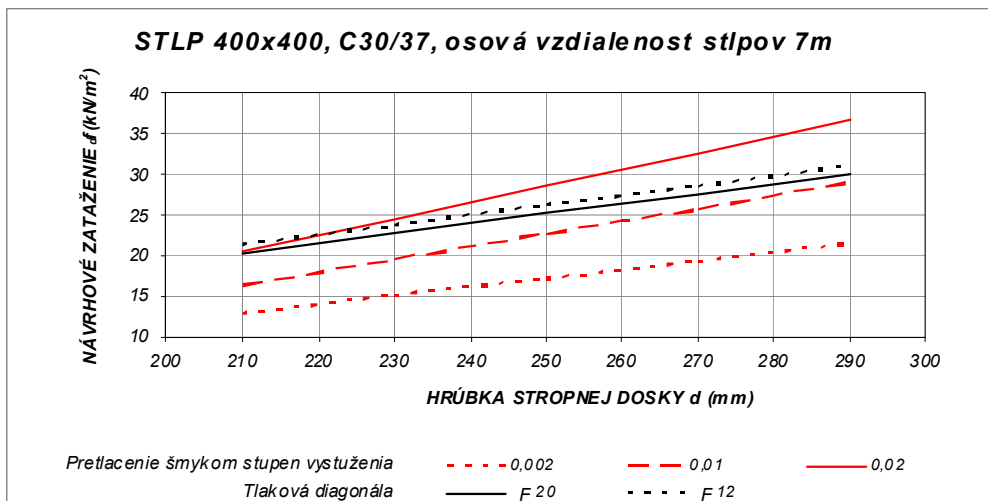
<sup>2</sup> prof.Ing.Jaroslav Halvonik,PhD, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava



Obr. 1: Model pretlačenia lokálne podopretej dosky

### 3 Návrh hrúbky dosky

Na základe nových obmedzení šmykovej odolnosti boli vypočítané a zobrazené závislosti hrúbky stropnej a základovej dosky na rozpätí - vzdialenosti stĺpov, stupňa vystuženia a veľkosti zaťaženia.



Obr. 2: Návrh hrúbky bodovo podopretej dosky

### Pod'akovanie

Príspevok vznikol za finanční podpory VEGA No. 1/0857/11

### Literatura

- [1] BILČÍK, J. – FILLO, L. – BENKO, V. – HALVONÍK, J.: *Betónové konštrukcie. Navrhovanie podľa EN 1992-1-1*, Bratislava 2008, 374s.
- [2] DRŽÍKOVÁ, D. – FARKAŠOVÁ, K.: *Upravené kritériá pre pretlačenie stropných a základových dosiek*. Práca ŠVK, Bratislava 2013, 20s.

# EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ TUHOSTI KRUHOVÉHO ZTUŽIDLA

## EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF STIFFNESS OF CIRCULAR BRACES

Roman Fojtík<sup>1</sup>, Tomáš Novotný<sup>2</sup>, Jan Hurta<sup>3</sup>

### Abstrakt

Vysoké a štíhlé konstrukce vyžadují zvýšené nároky na vodorovné ztužení, především z důvodu zatížení od větru a seismicity. Jednou z možností vyztužení těchto konstrukcí je využití nového ztužujícího systému s názvem „Kruhový ztužující systém“, který je v současné době podrobován laboratornímu zkoušení.

### Klíčová slova

experiment, ztužení, ocel, numerický model

### Abstract

Tall and slender structures have higher demands on the horizontal bracing mainly due to wind and seismic actions. One option for the reinforcement of these structures is to use a new stiffening system called "circular reinforcing system" which is currently subjected to laboratory testing.

### Keywords

experiment, bracing, steel, numerical model

## 1 Úvod

Výstavba objektů, jejíž konstrukce musí odolávat horizontálním silám, tvořeným především proudem větru, vody, zemětřesením a mnoha dalšími, klade zvýšené nároky na ztužení odolávající těmto silám. Mezi tyto konstrukce patří stožáry, rozhledny, výškové budovy a další. Velké štíhlosti vertikálních konstrukcí, vyžadující vyšší tuhosti ztužidel, přináší prostor pro nové netradiční řešení [1].

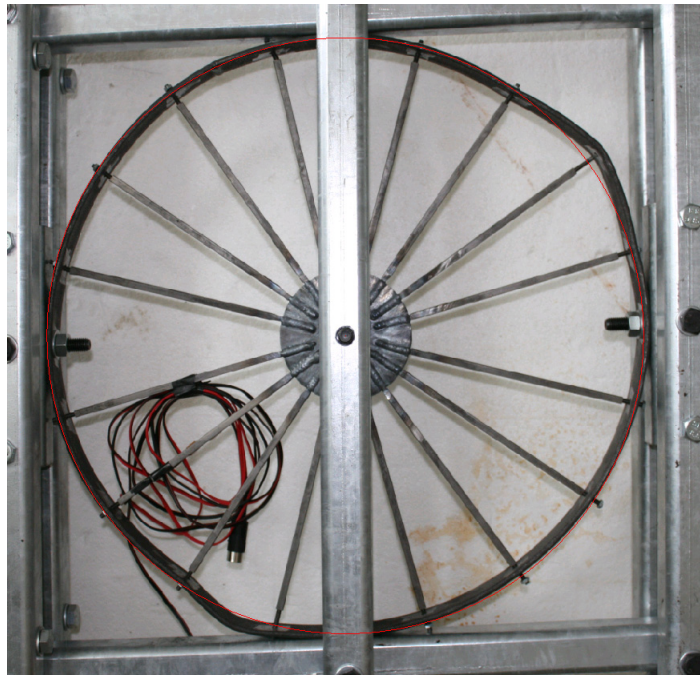
Jedním z těchto netradičních řešení je i „Kruhový ztužující systém“ [2], [4], který je podrobován laboratornímu zkoušení. Zkoušky jsou zaměřeny především na smykovou tuhost těchto prvků. Dále se také ověřují napjatosti ve vybraných bodech a připravují se dynamické zkoušky. Nejdůležitějším zjišťovaným parametrem je právě tuhost systému ve smyku, která je rozhodující pro praktické zabudování do konstrukce. Smykovým zkouškám jsou podrobovány vzorky 1. etapy, které se skládají ze dvou zkušebních souborů. První soubor je tvořen vzorky zmenšeného „Kruhového ztužidla“ bez předpínacích sil. Vzorky druhého souboru jsou již s předpětím.

---

<sup>1</sup> Ing. Roman Fojtík, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, roman.fojtik@vsb.cz

<sup>2</sup> Dr. Ing. Tomáš Novotný, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, [tomas.novotny@vsb.cz](mailto:tomas.novotny@vsb.cz)

<sup>3</sup> Ing. Jan Hurta, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Laboratoř stavebních hmot, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, jan.hurta@vsb.cz



Obr. 1: experimentální zkoušky kruhového ztužidla

## 2 Závěr

V současnosti jsou nové konstrukce navrhovány především pomocí softwaru využívajících MKP. Těmito prostředky je možné modelovat téměř vše, co si člověk zamane, ale ne vždy výsledky korespondují se skutečností. Právě zkoušené zmenšené modely by měly ukázat, zda numerické simulace odpovídají reálnému chování zkoušených vzorků. Momentálně probíhá intenzivní zkoušení experimentální konstrukce kruhového ztužidla a dílčí výsledky budou uvedeny v připravované prezentaci k tomuto článku.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory specifického vysokoškolského výzkumu pro rok 2011, 2012 a 2013 přidělený VŠB-TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky a také z nadačního příspěvku z prostředků NIF program „Věda a výzkum pro život 2011“.*

## Literatura

- [1] STUDNIČKA, J., MACHÁČEK, J., VOTLUČKA, L. *Ocelové konstrukce 20 – pozemní stavby*. Praha: ČVUT v Praze, 1998. ISBN 80-01-01556-4. 269 s.
- [2] FOJTÍK1, R. a M. ROSMANIT. A New Pre-Stressed Bracing System for Buildings. *CC2009: The 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Funchal, Madeira, Portugal, September 2009, Proceedings and CD, ISBN: 978-1-905088-32-4.
- [3] HOFFMANN, K. *An Introduction to Measurements using Strain Gages*. Germany: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989.
- [4] FOJTÍK1, R. a T. NOVOTNÝ2. Experimentální ověření numerických modelů konstrukce obručového ztužidla. *Modelování v mechanice 2012*. Ostrava: 2012, ISBN 978-80-248-2694-3.

# GENERÁTOR ČTYŘÚHELNÍKOVÉ SÍTĚ

## QUADRILATERAL MESH GENERATOR

Petr Frantík<sup>1</sup>

### Abstrakt

Článek pojednává o generování sítě čtyřúhelníků pro potřeby metody konečných prvků. Sít' je generována na libovolné množině bodů, pomocí Deloneho triangulace. Tvar sítě je optimalizován pomocí dynamické simulace.

### Klíčová slova

Čtyřúhelníková sít', Deloneho triangulace, tvarová optimalizace, dynamická simulace.

### Abstract

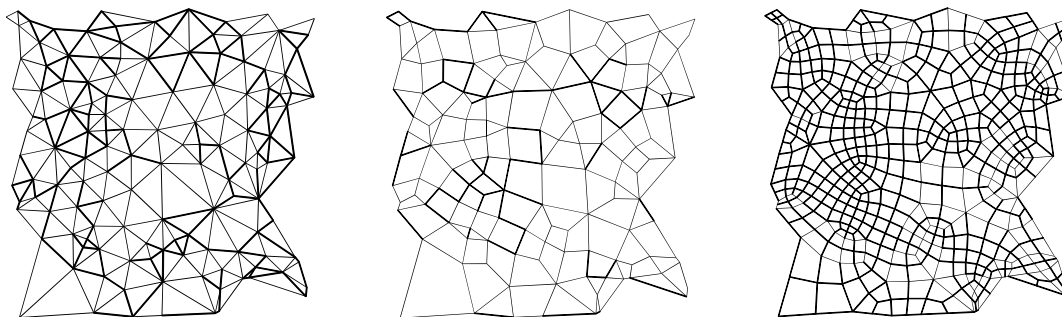
The paper is focused on making meshes of quadrilaterals for application of finite element method. The mesh is generated on arbitrary set of points with help of the triangulation Delaunay. The shape of the mesh is optimized by a dynamical simulation.

### Keywords

Quadrilateral mesh, triangulation Delaunay, shape optimization, dynamical simulation.

## 1 Úvod

Čtyřúhelníkové sítě se intenzivně užívají pro výpočty deformací a napětí v rovinných úlohách mechaniky deformovatelných těles pomocí metody konečných prvků. Každý čtyřúhelník sítě by měl být tvarově co nejbližší čtverci z důvodu výstižnosti aproximovaných veličin a numerické stability. Zde prezentovaný postup vytváření je založen na pěti jednotlivých technikách použitelných samostatně.



Obr. 1: Posloupnost vytváření sítě s optimalizací

Nejprve je na množině bodů provedena triangulace, viz obr. 1. Vzniklé trojúhelníky jsou poté spojovány do čtyřúhelníků, dokud nezůstanou trojúhelníky, které již nemají vhodné partnery ke spojení. Vzniklá smíšená sít' se rozdělí tak, že vznikne sít'

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

čtyřúhelníků s přibližně dvojnásobnou hustotou. Odstraní se specifické kosočtverečné útvary. V každé fázi se přitom provádí optimalizace tvaru sítě, která mění polohy uzlů sítě.

## 2 Spojování trojúhelníků

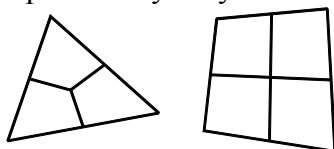
V této fázi se prochází všechny trojúhelníky. Pro každý trojúhelník je nalezena trojice sousedních trojúhelníků. Pro tři čtýřúhelníky vzniklé spojením původního trojúhelníka s jedním z partnerů je spočítáno bezrozměrné číslo, tzv. index pravidelnosti (regularity)  $r$ , pro které platí:

$$r = \frac{A}{C^2}, \quad (1)$$

kde  $A$  je plocha čtýřúhelníka a  $C$  je jeho obvod. Spojení partnerů se provede pro čtýřúhelník s nejvyšším indexem pravidelnosti, pokud tento index překročí určitou prahovou hodnotu. Výsledkem je smíšená síť obsahující trojúhelníky a čtýřúhelníky, viz obr. 1 uprostřed.

## 3 Rozdělení

Síť s čtýřúhelníky získáme z předchozího výsledku tím, že vytvoříme nové uzly v těžišti každého  $n$ -úhelníka a ve středech všech hran sítě [1]. Každý trojúhelník respektive čtýřúhelník se rozpadne na tři respektive čtyři čtýřúhelníky, viz obr. 2.

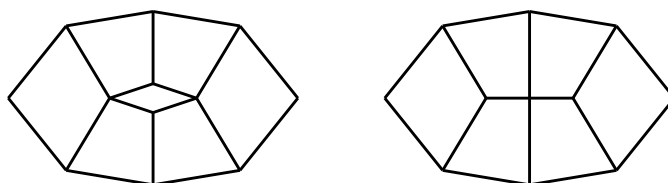


Obr. 2: Rozdělení  $n$ -úhelníků

Po provedení rozdělení lze síť znovu podrobit optimalizaci (obr. 2 vpravo).

## 4 Odstranění kosočtverců

Výše popsany postup generování sítě typicky vytváří nevhodné kosočtverečné úvary znázorněné na obrázku 3. Tento útvar lze snadno detekovat a odstranit sloučením bližších protilehlých uzlů kosočtverce.



Obr. 3: Kosočtverečný útvar a jeho odstranění

*Prezentované výsledky byly získány za finanční podpory projektu specifického vysokoškolského výzkumu registrovaného na VUT v Brně pod č. FAST-S-12-34.*

## Literatura

- [1] BOROUCHEKI, H. a FREY, P. J., Adaptive triangular--quadrilateral mesh generation, *International journal for numerical methods in engineering*, vol. 41, 915-934, 1998

# SENSITIVITY ANALYSIS OF CYLINDRICAL SHELL

Maksym Grzywiński<sup>1</sup>, Iwona Pokorska<sup>2</sup>

## Abstract

The paper deals with some aspects of structural sensitivity analysis and its application in the engineering practice. The consideration is illustrated by numerical results concerning an industrial thin shell structure modeled as a 3-D structure.

## Keywords

Sensitivity analysis, shell structure, finite element method.

## 1 Introduction

In the sensitivity analysis a variability of some functionals is investigated that characterize the behavior of structural system and depend on a number of design variables. All the magnitudes which affect the structural behavior of a system under consideration can serve as the variables, for instance the cross-sectional areas and lengths of particular elements, Young's moduli of used material etc. These functional can in general depend on the current states of displacements and stresses as well as their admissible values called the design constraints.

One of the first paper on the sensitivity analysis was written by CAMPBELL and ZIENKIEWICZ [1] followed over recent years by an increasing number of paper devoted to this subject. Relatively many paper have been published in the aeronautical periodical (HAFTKA and MRÓZ [2], AURORA and CARDOSO [3]). The sensitivity analysis has found its main applications in optimization problems, though. The goal of this paper is to indicate suitability of such analyses in the state-of-the-art structural design and inspection, in particular, of structural systems.

In this paper a linear sensitivity analysis of a thin shell structure subjected to static load is presented under the constraints on the nodal displacements; comprehensive aspects of computer implementation is discussed.

## 3 Example of analysis

### 3.1 Description of structure

This example the response of a thin shell structure is considered. Fig. 3.1 shows the half of a cylindrical shell clamped at boundaries under uniformly distributed pressure  $p = 15 \text{ kN/m}^2$ . The remaining input data are: radius  $R = 2,5 \text{ m}$ , length  $L = 12 \text{ m}$ , thickness  $t = 0,10 \text{ m}$ , Young modulus  $E = 30 \text{ MPa}$ , Poisson ratio  $\nu = 0,2$ .

---

<sup>1</sup> Maksym Grzywiński, Ph.D., Czestochowa University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Building, Construction and Engineering, Poland, 42-200 Czestochowa, ul. Akademicka 3, tel.: (+48) 343 250 924, e-mail: mgrzywin@bud.pcz.czest.pl

<sup>2</sup> Iwona Pokorska, Ph.D., Czestochowa University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Theory of Structures, Poland, 42-200 Czestochowa, ul. Akademicka 3, tel.: (+48) 343 250 920, e-mail: pokorska@bud.pcz.czest.pl

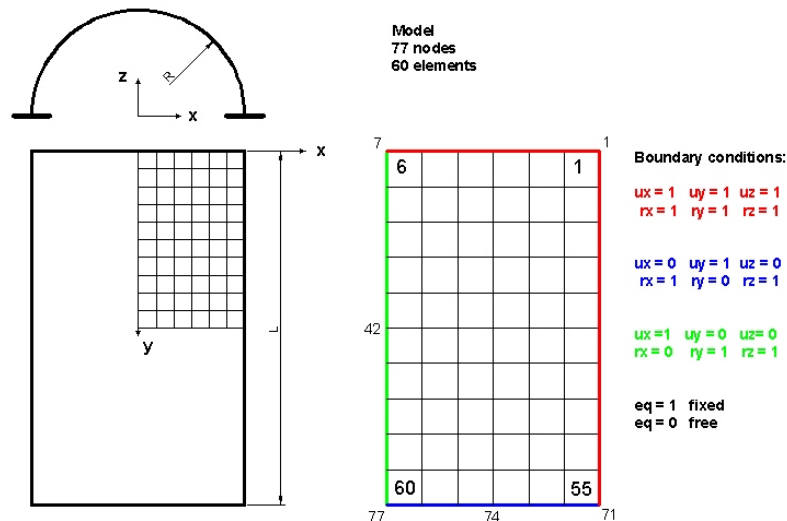


Fig. 3.1: 60-element shell with mesh grid

## 4 Conclusion

Static sensitivity analysis of 3-D shell structure is presented in the paper under displacement constraints. The conclusions drawn are directed to the practicing structural designer and consulting expert. Thus the classical methods can be supplemented with the sensitivity analysis which has otherwise been treated as a tool in problem of structural optimization.

## References

- [1] ZIENKIEWICZ, O.C., CAMPBELL, J.S. Shape optimization and sequential linear programming, In. GALLAGHER, R.H., ZIENKIEWICZ, O.O. eds. *Optimum Structural Design*. Wiley. 1973. ISBN 0471290505. 372 p.
- [2] HAFTKA, R.T., MRÓZ, Z. First- and second-order sensitivity analysis of linear and nonlinear structures. *AIAA Journal*, 1986, Vol. 24, No. 7, pp. 1187-1192 (6 p). ISSN 0001-1452
- [3] CARDOSO, J. B., ARORA J. S. Variational method for design sensitivity analysis nonlinear structural mechanics, *AIAA Journal*, 1988, Vol. 26, No. 5, pp. 595-603 (8 p). ISSN 0001-1452
- [4] HAUG, E.J., CHOI, K.K, KOMKOV, V. *Design Sensitivity Analysis of Structural Systems*. Academic Press, Inc., 1986. ISBN 0123329205. 381 p.
- [5] KLEIBER, M., HIEN, T.D. *The Stochastic Finite Element Method*. Wiley, 1992. ISBN 047193626X. 322 p.
- [6] POKORSKA, I., KUBICKI, K., KYSIK, A. Design sensitivity of structures. *Bulletin of the Czestochowa University of Technology, Civil Engineering Series*, Czestochowa, 2005; Vol. 12, pp. 59–65 (6 p). ISSN 0526-5916.
- [7] GRZYWIŃSKI, M., HIEN, T.D. Static sensitivity analysis of bar structure. *Bulletin of the Czestochowa University of Technology, Civil Engineering Series*, Czestochowa, 2006; Vol. 13, pp. 19–28 (10 p). ISSN 0526-5916.
- [8] GRZYWIŃSKI, M., HIEN, T.D. Static and dynamic sensitivity analysis of bar structure. *Bulletin of the Koszalin University of Technology, Mechanical Engineering Series*, Koszalin, 2007; Vol. 40, pp. 113–120 (8 p). ISSN 1640-4572.



# MODELOVÁNÍ ŠÍŘENÍ TLAKOVÉ VLNY V UZAVŘENÉM PROSTORU NÁDRAŽNÍ BUDOVY

MODELLING OF BLAST WAVE PROPAGATION WITHIN  
CONTAINED SPACE OF A RAILWAY STATION BUILDING

Radek Hájek<sup>1</sup>, Marek Foglar<sup>2</sup>

## Abstrakt

Cílem příspěvku je analýza šíření tlakové vlny po výbuchu v uzavřeném prostoru budovy nádraží. Příspěvek je zaměřen zejména na počítačové modelování a pochopení dynamiky tlakové vlny a jejího šíření prostorem v interakci s pevnými částmi budov a dalšími překážkami. Jsou navrženy betonové zábrany přispívající k rychlejší disipaci uvolněné energie a k omezení rozsahu škod způsobených výbuchem.

## Klíčová slova

výbuch, tlaková vlna, MKP analýza, zábrany proti šíření tlakové vlny

## Abstract

The main objective of this paper is an analysis of blast wave propagation within the contained space of a railway station building. The paper is focused on computer modelling and understanding of blast wave dynamics in interaction with the solid building. Concrete barriers are proposed for faster energy dissipation and reduction of the damage caused by the explosion.

## Keywords

explosion, pressure wave, FEM analysis, barriers against the pressure wave spreading

## 1 Úvod

Vzhledem k současnému vzestupu hrozby teroristického útoku je výzkum v oblasti zatížení zejména veřejných budov a jejich vnitřního prostředí výbuchem značně aktuální. Budovy typu nádražních hal, letišť, ambasad apod. by měly být navrženy tak, aby zabezpečily co největší možnou míru bezpečnosti osob uvnitř a v blízkém okolí.

Hlavním požadavkem na každou takovou budovu je zajištění její statické funkce pro jakýkoli výbuch, ať už způsobený teroristickým útokem nebo nehodou. Druhým požadavkem je pokusit se redukovat množství potenciálně nebezpečných úlomků vnitřního vybavení, např. skleněné střepy a kusy nábytku, které jsou při výbuchu vymrštěny do vzduchu.

Díky vývoji v počítačové technice a programovém vybavení je možné provádět numerické analýzy jak samotného výbuchu, tak hlavně chování okolního vzduchu a objektů v jeho dosahu. S přihlédnutím k výsledkům provedených simulací jsou navržena

<sup>1</sup> Ing. Radek Hájek, České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7, 16629 Praha 6, radek.hajek@fsv.cvut.cz

<sup>2</sup> Ing. Marek Foglar, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7, 16629 Praha 6, marek.foglar@fsv.cvut.cz

různá uspořádání zábran, která mají za poslání šířící se výbuchovou vlnu zpomalit či utlumit. Důležitým kritériem bylo mimo schopnosti snížit razanci přetlakové vlny také zachování funkčnosti a prostupnosti interiéru nádražní budovy.

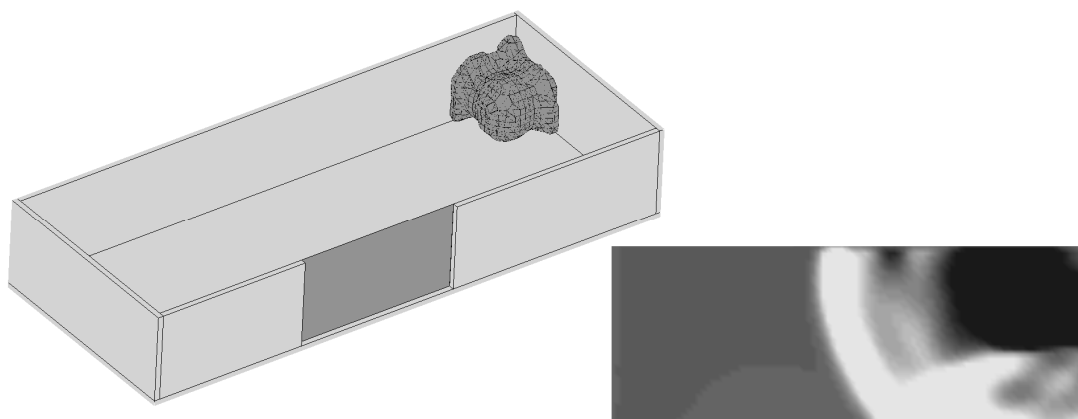
## 2 Zatížení výbuchem

Podstata zatížení vyvolaného výbuchem spočívá v šíření tlakové vlny, tedy oblasti stlačeného vzduchu. Tlaková vlna se pohybuje z epicentra výbuchu a nabývá značné rychlosti, ta často překračuje rychlost zvuku. To znamená, že proces šíření tlakové vlny v uzavřeném prostoru proběhne v řádu milisekund, což musí být bráno v potaz při uspořádání a nastavení výpočetního modelu.

Ačkoli výbuch ve veřejné budově může vzniknout při nehodě, v naprosté většině případů se spojuje s teroristickým útokem. Ten má určitá specifika, se kterými je třeba uvažovat.

## 3 MKP analýza

Za účelem analýzy šíření tlakové vlny v uzavřeném rozsáhlém prostoru, např. nádražní budovy, byl vytvořen jednoduchý výpočetní model (Obr. 1). Simulace výbuchu byla provedena programem pro výpočty explicitní dynamiky LS-DYNA, pracujícím v rámci robustního výpočetního programového balíku ANSYS.



Obr. 1: Příklad počítačového modelu nádražní budovy s probíhajícím výbuchem v rohu budovy bez zábran (vlevo) a vodorovný řez vzduchem s odrazem tlakové vlny ve stejném čase (vpravo)

## 4 Závěr

Tento příspěvek reprezentuje úvod do problematiky modelování chování tlakové vlny v interiéru veřejné budovy a zajištění bezpečnosti jejich uživatelů. Výsledky analýzy ukazují, že vhodnými prostředky je možné změnit chování tlakové vlny, tím omezit její destruktivní potenciál a zredukovat počet potenciálních obětí výbuchu. Pro budoucí výzkum je stěžejní ověřit přesnost získaných výsledků porovnáním s experimentálními daty a, bude-li nutné, provést kalibraci výpočetního modelu.

## Poděkování

*Tento příspěvek vznikl za finanční podpory grantu ČVUT č. SGS13/035/OHK1/1T/11, výzkumného projektu Ministerstva vnitra České republiky č. VG20132015114 a projektu Grantové agentury České republiky č. 13-30441S.*

# PRETLAČENIE – PRÍČINY HAVÁRIE V KOMPLEXE TRINITY

## PUNCHING – THE REASONS OF FAILURE IN COMPLEX TRINITY

Jaroslav Halvonik<sup>1</sup>, Ľudovít Fillo<sup>2</sup>

### Abstrakt

Príspevok je venovaný objasneniu príčin zrútenia nosnej konštrukcie garáží v polyfunkčnom komplexe Trinity, ku ktorej došlo v júli roku 2012 v Bratislave. Lokálne zlyhanie strešnej dosky malo za následok úplnú deštrukciu päť poschodovej budovy, ktorej stropné konštrukcie boli navrhnuté ako lokálne podopreté dosky.

### Kľúčové slova

pretlačenie, lokálne podopretá doska, krehké porušenie, reťazové zrútenie

### Abstract

Paper deals with clarifying of the reasons of car garage structural collapse in multifunctional complex Trinity in Bratislava which occurred in Bratislava in July 2012. Local failure of roof slab caused total destruction of five story building, where floors were designed as RC flat slabs.

### Keywords

punching, flat slab, brittle failure, progressive collapse

## 1 Úvod

V nedeľu 1. júla 2012 v ranných hodinách došlo ku zrúteniu stropných konštrukcií garáží obchodno-obytneho komplexu Trinity v Bratislave, pozri obr.1. Nakoľko zrútená časť nebola skolaudovania nedošlo našťastie ku strate na ľudských životoch ani ku zraneniam osôb.

## 2 Popis konštrukcie

Polyfunkčný komplex Trinity tvoria tri dilatačné celky A,B,C. Každý dilatačný celok pozostáva zo suterénov, podnoží a obytnej časti. Nosný systém suterénov, ktoré slúžia ako garážové státi a podnoží na ktorých mali byť situované obchodné prevádzky predstavujú lokálne podopreté dosky hrúbky 220 mm, okrem dosky nad 1.PP, ktorej hrúbka je zväčšená na 350 mm a v mieste stĺpov ďalej zosilnená hlavicami hrúbky 500 mm. Dosky sú väčšinou podopreté stĺpmi 400×500 mm, alebo kruhovými stĺpmi s  $\phi$  600 mm a pod obytnou časťou 500×800 mm. Dosky mali maximálne rozpätia 7,5×6,0 m. Obytnú časť tvoria tri výškové budovy s 22, resp. 26 poschodiami, kde je navrhnutý stenový nosný systém. V súčasnosti je dokončený dilatačný celok „A“ a hrubá stavba dilatačného celku „B“. V prípade dilatačného celku „C“ sú dokončené podnože.

<sup>1</sup> prof.Ing.Jaroslav Halvonik,PhD, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

<sup>2</sup> prof.Ing.Ľudovít Fillo,PhD, Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava



Obr. 1: Pohľad na zrútenú časť konštrukcie

### 3 Zlyhanie konštrukcie

V objekte dilatačného celku B sa zrútila časť, ktorá mala slúžiť ako parkovací dom a wellness. Strecha objektu bola navrhnutá ako zelená s premennou vrstvou zeminy hrúbky 1050 až 1300 mm. Táto vrstva zeminy bola umiestnená na lokálne podopretej doske hrúbky len 200 mm.



Obr. 2: Charakteristický tvar poruchovej zóny pri pretlačení stĺp - doska

Charakteristický tvar poruchovej zóny ukazuje, že k zlyhaniu došlo v dôsledku pretlačenia silne zaťaženej dosky. Zlyhanie malo krehký charakter a bolo progresívne - reťazové, t.j. pretlačenie dosky okolo prvého stĺpa spôsobilo preťaženie oblasti susedných stĺpov a takto sa postupne rozšírilo po celej konštrukcii. Pád strešnej dosky spôsobil postupne zrútenie ďalších stropných dosiek a celkový kolaps budovy garáži.

### PodĎakovanie

*Príspevok vznikol za finančnej podpory VEGA No. 1/0857/11*

### Literatura

- [1] BILČÍK, J. – FILLO, Ľ. – BENKO, V. – HALVONÍK, J.: *Betónové konštrukcie. Navrhovanie podľa EN 1992-1-1*, Bratislava 2008, 374s

## INICIACE TRHLIN V TĚLESECH Z DRÁTKOBETONU

### CRACK INITIATION IN STEEL FIBRES REINFORCED CONCRETE SPECIMENS

Ivana Havlíková<sup>1</sup>, Magdaléna Drbušková<sup>2</sup>, Hana Šimonová<sup>3</sup>, Jaromír Láník<sup>4</sup>,  
Zbyněk Keršner<sup>5</sup>

#### Abstrakt

V příspěvku se kvantifikuje odpor proti stabilnímu šíření trhlin drátkobetonovými zkušebními tělesy, která jsou před testem opatřena zářezem a namáhána v tříbodovém ohybu. Porovnávají se odezvy těles s drátky délky 38 a 52 mm. Pro vyhodnocení je použit lomový model „dvojí- $K$ “.

#### Klíčová slova

Iniciace trhliny, lomový model „dvojí- $K$ “, beton s rozptýlenými drátky.

#### Abstract

The aim of this paper is to quantify crack initiation in steel fibres reinforced concrete specimens. Response of notched specimens with fibre lengths 38 and 52 mm in three-point bending is compared. The double- $K$  fracture model is used.

#### Keywords

Crack initiation, double- $K$  fracture model, steel fibres reinforced concrete.

## 1 Úvod

Kompozity na bázi cementu patří k nejpoužívanějším materiálům inženýrských staveb. Představují kompozity velmi adaptabilní a použitelné pro různé účely v konstrukční praxi díky svému charakteru a technologii výroby. Hlavním reprezentantem tohoto materiálu je beton. Jeho aplikační možnosti lze dále rozšiřovat přidávkou různých vláken, která mohou již při relativně malém objemovém zastoupení v betonové směsi pozitivně ovlivnit v budoucím kompozitu zejména odolnost proti šíření trhlin. V předkládaném příspěvku jde o vlákna ocelová – drátky – a pozornost je zde zaměřena k vystižení jejich přínosu v prvotním stádiu porušování kompozitu.

V příspěvku je použit lomový model „dvojí- $K$ “. V principu tento model vychází z konceptu působení kohezivních sil na lících efektivní trhliny kombinovaného s kritériem rozvoje trhliny založeným na faktoru intenzity napětí. Předností modelu je popis různých úrovní šíření trhliny: tj. iniciační, která odpovídá počátku stabilního šíření trhliny (při dosažení úrovně faktoru intenzity napětí rovné  $K_{lc}^{ini}$ ) a kritickou, která

---

<sup>1</sup> Ing. Ivana Havlíková, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, havlikova.i@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Bc. Magdaléna Drbušková, dtto, Ústav stavební mechaniky, DrbuskovaM@study.fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> Ing. Hana Šimonová, dtto, Ústav stavební mechaniky, simonova.h@fce.vutbr.cz

<sup>4</sup> Ing. Jaromír Láník, dtto, Ústav stavebního zkušebnictví, lanik.j@fce.vutbr.cz

<sup>5</sup> prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, Ústav stavební mechaniky, kersner.z@fce.vutbr.cz

koresponduje s počátkem nestabilního šíření trhliny (při dosažení lomové houževnatosti  $K_{Ic}^{un}$ ).

## 2 Testování drátkobetonových těles

Testovaná tělesa byla připravena z betonu třídy C25/30, do kterého byly přidány ocelové drátky tloušťky 1 mm. V sadě testovaných těles s označením *D* šlo o drátky typu MEZ 10/52 délky 52 mm, v sadě *K* pak drátky typu MEZ 10/38 délky 38 mm. Množství těchto drátků bylo v obou případech 30 kg/m<sup>3</sup>.

Zkoušky v třibodovém ohybu byly prováděny na tělesech ve tvaru trámce s centrálním zářezem. Stáří těles bylo 37 dní. Celkem bylo odzkoušeno 24 trámců (dvanáct z každé sady). Nominální rozměry těles byly 150×150×550 mm, rozpětí činilo 500 mm. Počáteční zářezy byly před samotným testováním vytvořeny pilou s diamantovým kotoučem. Hloubka tohoto zářezu byla přibližně 20 % výšky tělesa. Během lomových zkoušek byly zaznamenávány *P-CMOD* diagramy, z nichž byla dále odečtena vstupní data pro model „dvojí-*K*“ k určení hodnot lomově-mechanických parametrů obou betonů.

## 3 Vyhodnocení výsledků lomového modelu

Získané výsledky jsou prezentovány v podobě poměru  $K_{Ic}^{ini}/K_{Ic}^{un}$ , tj. poměru hodnot iniciační složky lomové houževnatosti k celkové lomové houževnatosti, a poměru  $P_{ini}/P_{max}$ , tj. poměru hodnot síly, při které se začne trhlina stabilně šířit k maximální dosažené síle. Získané poměry byly pro oba druhy betonu (pro zkušební sadu *D*, resp. *K*) statisticky vyhodnoceny, byl tedy spočítán aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a variační koeficient – tyto hodnoty shrnuje Tab. 1.

|               | poměry                     | střední hodnota [-] | směrodatná odchylka [-] | variační koeficient [%] |
|---------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Sada D</b> | $K_{Ic}^{ini}/K_{Ic}^{un}$ | 0,525               | 0,058                   | 11,1                    |
|               | $P_{ini}/P_{max}$          | 0,818               | 0,085                   | 10,3                    |
| <b>Sada K</b> | $K_{Ic}^{ini}/K_{Ic}^{un}$ | 0,522               | 0,051                   | 9,9                     |
|               | $P_{ini}/P_{max}$          | 0,792               | 0,058                   | 7,4                     |

Tab. 1: Vyhodnocení relativních hodnot lomové houževnatosti a zatížení na počátku stabilního šíření trhliny pro sadu *D* (ocelové drátky délky 52 mm) a *K* (ocelové drátky délky 38 mm)

## 4 Závěr

V příspěvku byla kvantifikována iniciace trhlin v drátkobetonových zkušebních tělesech s využitím lomového modelu „dvojí-*K*“. Ukázalo se, že ocelová vlákna se značnou měrou podílejí na zhouževnatění kompozitu již v prvotním stádiu zatěžování těles. Z hlediska odporu proti stabilnímu šíření trhliny z iniciačního zářezu není však v odezvě těles z betonů s krátkými a dlouhými drátky významný rozdíl.

## Poděkování

*Prezentované výsledky byly získány za finanční podpory juniorského projektu specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně č. FAST-J-13-2078 a Ústavu stavební mechaniky FAST VUT a podporovány projektem GA ČR č. P104/11/0833.*

# NUMERICKÁ PODPORA ZKOUŠKY EXCENTRICKÝM TAHEM APLIKOVANÁ NA KVAZI-KŘEHKÉ MATERIÁLY

## NUMERICAL SUPPORT FOR COMPACT TEST APPLIED ON QUASI-BRITTLE MATERIALS

Táňa Holušová<sup>1</sup>, Stanislav Seitl<sup>2</sup>, Miguel Lozano<sup>3</sup>, Alfonso Fernández-Canteli<sup>4</sup>

### Abstrakt

Problematika stanovení rychlosti šíření trhliny v kvazi křehkých materiálech je v současné době jedním ze základních trendů stavební lomové mechaniky. Cílem příspěvku je zachycení vlivu okrajových podmínek vyjádřenými změnou polohy nosných ocelových tyčí a délky iniciačního zářezu na průběh zkoušky excentrickým tahem. Numerická studie je provedena v konečně prvkovém systému ATENA. Na závěr je uvedeno porovnání s pilotním experimentem.

### Klíčová slova

Excentrický tah, cementový kompozit, zbytková únosnost, Síla-CMOD diagram.

### Abstract

One of the fundamental trends in study of building materials is the determination of a crack propagation rate in quasi-brittle materials. The aim of this contribution is the quantification of influence of different boundary conditions for modify compact tension test. The different boundary conditions are expressed by changing position of grip steel bars and various starting notch lengths. The study is performed in finite element software ATENA. The trends of numerical results and pilot experimental data are compared.

### Keywords

Compact tension, cement-based composite, residual resistance, Load-CMOD diagram.

Ve stavebních konstrukcích, jejichž hlavní složku tvoří nejpoužívanější materiál dnešní doby, beton, vznikají v průběhu jejich životnosti trhliny - v závislosti na dominantním zatížení konstrukce se může jednat o chemicky vzniklé trhliny či trhliny vzniklé smrštěním atd., v tomto případě jsou studovány tzv. únavové trhliny. Výpočtové postupy pro odhad zbytkové únosnosti poškozené konstrukce jsou klíčové v predikci dalšího postupu únavové trhliny. Experimentálně naměřená data slouží pak jako vstupní lomové mechanické parametry do konečně prvkových modelů.

Příspěvek je věnován numerické podpoře experimentálního měření cementových kompozitů pomocí systému ARAMIS [3], viz obr. 1. V prvním kroku numerické studie

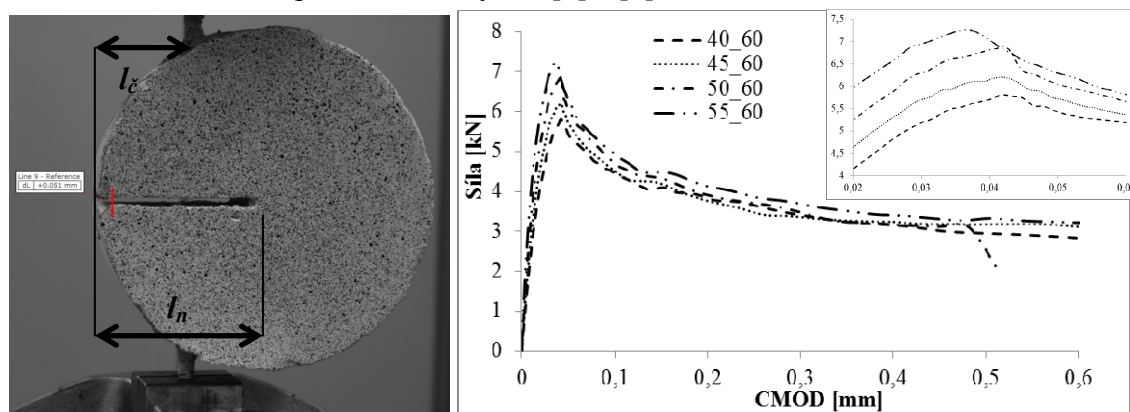
<sup>1</sup> Ing. Táňa Holušová, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, holusova.t@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Ing. Stanislav Seitl, Ph. D., Akademie věd České republiky, Ústav fyziky materiálů, v. v. i., seitl@ipm.cz

<sup>3</sup> MSc. Miguel Lozano, University of Oviedo, Dpt. of Construction and Manufacturing Engineering, labresuniovi@gmail.com

<sup>4</sup> Prof. Alfonso Fernández-Canteli, University of Oviedo, Dpt. of Construction and Manufacturing Engineering, afc@uniovi.es

byl model kalibrován s využitím podobnosti se vzorkem pro klínové štípání [1], [6] a standardním vzorkem pro excentrický tah [4] a [5].



Fotografie zkušebního tělesa umístění ocelových tyčí  $l_c = 40, 45, 50$  a  $55$  mm a délka iniciačního zářezu  $l_n = 60$  mm a výsledné průběhy Síla-CMOD diagramu z programu ATENA [2]

Pro ilustraci experimentálního testu je na obr. 1 vlevo uveden vzorek uchycený do čelistí přes implementované tyče s označením umístění polohy ocelových tyčí  $l_c$  a délkou zářezu  $l_n$ . Na obr. 1 vpravo je uveden příklad vlivu změny polohy nosných ocelových tyčí výstup v podobě Síla-CMOD diagramu, kdy je vidět nárůst síly s rostoucí vzdáleností od počátku tělesa.

V příspěvku byla provedena numerická studie vlivu okrajových podmínek vyjádřenými změnou polohy nosných ocelových tyčí a délky iniciačního zářezu na průběh zkoušky excentrickým tahem. Na vytvořených modelech zkušebních těles v software ATENA byly provedeny odpovídající výpočty metodou konečných prvků s využitím modelu kohezivní trhliny.

Z provedené numerické analýzy plyne, že změnou polohy nosných ocelových tyčí dosáhneme maximálně odchylky mezi hodnotami lomové práce 10 %.

## Poděkování

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky číslo projektu P104/11/0833, Juniorského specifického výzkumu FAST-J-13-2045 a Grantové agentury the Asturian Regional Government, projekt SV-PA-11-012.

## Literatura

- [1] BRÜHWILER, E., WITTMANN, F. H. The wedge splitting test, a new method of performing stable fracture mechanics test. *Engineering Fracture Mechanics*. 1990, č. 35, s. 117-125, ISSN: 0013-7944
- [2] Červenka consulting, s. r. o. – [www.cervenka.cz](http://www.cervenka.cz)
- [3] GOM Optical Measuring Techniques – [www.gom.com](http://www.gom.com)
- [4] MURAKAMI ET AL. *Stress Intensity Factors Handbook*, Oxford Pergamon Press, 1986. Edice 1. ISBN 00-803-4809-2. 640 s.
- [5] TADA, H., PARIS, P. C., IRWIN, G. R. *Stress Analysis of Cracks Handbook*, Third Edition, ASME Press, New York. ISBN 0791801536
- [6] VESELÝ, V., HOLUŠOVÁ, T., SEITL, S. Numerical prediction of parasitic energy dissipation in wedge splitting tests on concrete specimens. *Engineering mechanics 2012*, CD, s. 1497-1504, ISBN 978-80-86246-40-6



## MODELOVÉ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ A ÚNOSNOSTI OCELOVÉ OBLOUKOVÉ VÝZTUŽE

MODEL AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF PROPERTIES  
AND CARRYING CAPACITY OF STEEL ARC REINFORCEMENT

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

### Abstrakt

Tento článek se zabývá modelováním ohybových zkoušek profilu TH-29. Experimentálně potvrzené výsledky byly podkladem pro zařazení tohoto profilu do třídy průřezu 1. Dále se článek věnuje numerickému modelování zatěžování kompletů důlní výztuže a srovnání získaných výsledků únosnosti s výsledky experimentálních zkoušek na zkušebním zařízení.

### Klíčová slova

Ocelová oblouková výztuž, třída průřezu, efektivní ohybová tuhost.

### Abstract

This paper deals with the simulation of steel profile TH-29 bending tests. The experimentally verified results were basis for the classification of this cross-section as the class 1. Further the paper discusses numerical simulation of steel arc reinforcements and compares its results of carrying capacity with results obtained by experimental tests.

### Keywords

Steel arc reinforcement, cross-section class, effective bending stiffness.

## 1 Úvod

Ocelové obloukové výztuže se montují zpravidla ze speciálních válcovaných profilů. Jsou konstruovány tak, aby měly dostatečnou plastickou rezervu a odolávaly velkým deformacím. Tyto profily jsou z geometrického hlediska podstatně složitější než profily aplikované v ocelových konstrukcích pozemních a inženýrských staveb. S touto skutečností se nepočítá v ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Profily ocelové obloukové výztuže nelze dle této normy korektně zařadit do příslušné třídy profilů.

Výsledky modelování profilu TH-29 z oceli H500M metodou konečných prvků umožnily sestavit křivky efektivní ohybové tuhosti jako funkce relativního natočení [1]. Ty pak byly podkladem pro simulování ohybových zkoušek, které umožnily zařadit

---

<sup>1</sup> Doc. Ing. Petr Janas, CSc., VŠB – TUO, FAST, Katedra 228, L. Poděště 1875, 708 33 Ostrava, email: petr.janas@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Lenka Koubová, Ph.D., VŠB-TUO, FAST, Katedra 228, L. Poděště 1875, 708 33 Ostrava, email: lenka.koubová@vsb.cz

tento profil TH-29 do třídy průřezu 1 ve smyslu uvedené normy. Toto zařazení bylo ověřováno i experimentálními ohybovými zkouškami.

Získané křivky efektivní ohybové tuhosti byly podkladem i pro modelové určování únosnosti a vlastností celých kompletů ocelové obloukové výztuže. Tyto únosnosti i vlastnosti byly experimentálně zjišťovány na zkušeniím zařízení, které je instalováno v GIG Katovice.

## 2 Modelování ohybových zkoušek

Modelování ohybových zkoušek profilu TH-29 z vyvíjené oceli H500M vychází ze znalostí efektivní tuhosti tohoto profilu. Předpokládá se přitom, že tyč je zatěžována třibodovou ohybovou zkouškou, při které se měří úhel natočení  $\varphi_a$  nad podporami při dané hodnotě ohybového momentu  $M_s$  ve středu nosníku.

Profil TH-29 byl zatěžován z vnitřní a vnější strany profilu. Hodnotí se úhel natočení  $\varphi_a$  na vzestupné větvi získané křivky a úhel natočení  $\varphi_a'$  na sestupné větvi získané křivky při dosažení  $M_s = M_{pl}$ . Je-li poměr  $\varphi_a' / \varphi_a \geq 4$ , lze tento profil zařadit do třídy průřezu 1. Vypočtené výsledky byly potvrzeny experimentálními zkouškami.

## 3 Modelování zkoušek kompletů důlní výztuže

V roce 2012 proběhly v GIG Katovice zkoušky důlních výztuží. Otevřená oblouková výztuž SP16/4 z profilu TH-29 a z oceli H500M v nepoddajném provedení byla při zkoušce vystavena působení aktivních i pasivních sil.

Výsledky numerického modelování této výztuže vycházející ze znalostí efektivní ohybové tuhosti tohoto profilu ukázaly velmi dobrou shodu s výsledky získanými experimentálními zatěžovacími zkouškami.

## 4 Závěr

Software zpracovaný na základě postupů uvedených v [2] umožňuje při alternativním zatěžování ocelové obloukové výztuže a při pečlivě odvozených hodnotách efektivní ohybové tuhosti profilu TH-29 z vyvíjené oceli věrohodně modelovat skutečné chování prvků i celých kompletů ocelové obloukové výztuže.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Technologické Agentury České republiky, TAČR. Registrační číslo projektu je TA01010838.*

## Literatura

- [1] MARKOPOULOS, A., JANAS, P., PODEŠVA, J. Náhradní ohybová tuhost profilu TH-29. In *New Trends in Statics and Dynamics of Building 2010*, Bratislava 21. - 22. 10. 2010. Mezinárodní konference. Sborník příspěvků, Bratislava 2010, s. 101-102. ISBN 978-80-227-3373-1.
- [2] KOUBOVÁ, L. Deformační metoda v nelineární mechanice. Disertační práce. Ostrava 2012.

# PROPOJENÍ 3D DETAILU STYČNÍKU S PRUTOVÝM MODELEM KONSTRUKCE S VYUŽITÍM MPC ALGORITMU

INTERCONNECTION OF THE 3D JOINT DETAIL AND THE BEAM MODEL  
OF STRUCTURE USING THE MPC ALGORITHM

Anežka Jurčíková<sup>1</sup>, Miroslav Rosmanit<sup>2</sup>

## Abstrakt

Tato práce je zaměřena na vytvoření komplexního modelu detailu ocelového styčnicku, který je propojen se zjednodušeným prutovým modelem celé konstrukce příhradového vazníku za pomoci kontaktních prvků a metody MPC (Multi-Point Constraints) a na následné porovnání takto získaných výsledků s výsledky na samostatně řešeném styčnicku. Práce navazuje na řešení svařovaného ocelového styčnicku, který vychází z příkladu z praxe. Při tvorbě jeho numerického modelu bylo zapotřebí vyřešit problém vhodných okrajových podmínek pro tento detail. Jako řešení, které by bylo nejbližší realitě, se nabízelo právě výše zmíněné propojení detailu s celou konstrukcí.

## Klíčová slova

Ocelový styčník, MKP, MPC, kontaktní prvky.

## Abstract

This work focuses on the creation of a complex model of the steel joint detail, which is connected to the simplified beam model of the whole truss using the contact elements and the MPC method (Multi-Point Constraints) and subsequently on comparison of results thus obtained with the results from the separately solved joint. This paper follows up on solving of the welded steel joint, which is based on practical example. During the numerical modeling a problem with the choice of appropriate boundary conditions for this detail has appeared. As a solution, that could be closest to reality, seemed to be the mentioned connection of a detail and whole structure.

## Keywords

Steel joint, FEM, MPC, contact elements.

## 1 Úvod

Při posuzování svařovaných ocelových styčnicků může nastat problém v podobě omezeného rozsahu použití normy ČSN EN 1993-1-8 (geometrické podmínky, omezení materiálových charakteristik, pouze určité typy styčnicků s danými způsoby zatížení). Ve stavební praxi se však často objevují styčnický, které nevyhovují omezením daných

---

<sup>1</sup> Ing. Anežka Jurčíková, Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 391, e-mail: anezka.jurcikova@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 398, e-mail: miroslav.rosmanit@vsb.cz.

Eurokódem a nelze je tedy přesně posuzovat na základě normových vztahů pro výpočet únosnosti styčníků. Roste tak potřeba ověření chování a únosnosti takových styčníků.

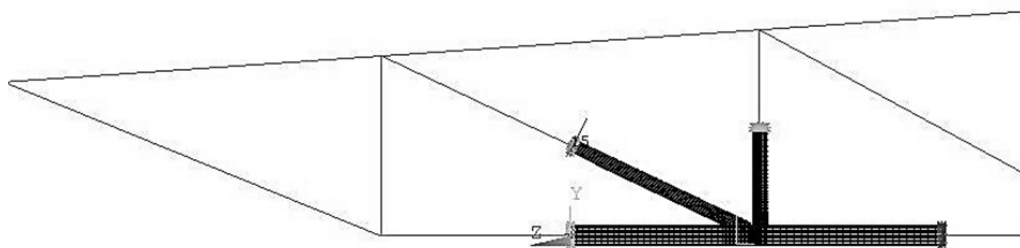
V práci, ze které se zde vychází, byl řešen styčník z praxe, jehož zvláštností je to, že vybočuje z mezí, které udává Eurokód pro použití vztahů pro výpočet únosnosti takového styčnicku. Konkrétně se jedná o porušení jedné z geometrických podmínek, kde úhel napojení tažené diagonály na spodní pás je menší než  $30^\circ$ . Cílem této práce je tedy vytvořit model, který by vystihoval chování styčnicku v kontextu celé konstrukce.

## 2 Popis řešené konstrukce

Konstrukcí, kterou se tato práce zabývá a na které se nachází řešený styčník, je ocelový příhradový vazník s pásy z HEA profilů a s RHS (obdélníkový dutý profil) mezipásovými pruty. S ohledem na detail styčnicku byly uvažovány dvě návrhové situace – nejdříve s výztuhou umístěnou jen pod tlačenu svislicí a poté s výztuhou také pod taženou diagonálou.

## 3 MKP model – okrajové podmínky

Jako možný způsob řešení problému zavedení vhodných okrajových podmínek do modelu se nabízelo propojení 3D detailu konstrukce s prutovými prvky, pomocí kterých by byla konstrukce vymodelována jako celek (viz Obr. 1). Chování sledovaného styčnicku je pak vyvozeno vzájemným působením jednotlivých prvků vaznicku, což je blízké skutečnému chování konstrukce. Pro toto spojení byly použity kontaktní prvky CONTA 175 a TARGE 170 s využitím MPC (Multi-Point Constraints).



Obr. 1. Propojení prutového a 3D modelu

## 4 Závěr

Byl vytvořen funkční model 3D detailu styčnicku, který je propojen s prutovým modelem zbytku konstrukce ocelového příhradového vaznicku. Díky metodě MPC (Multi-Point Constraints), která využívá kontaktní prvky (elementy typu CONTA 175 a TARGE 170), se oba modely chovají jako jeden celek a chování sledovaného styčnicku tak vyplývá z působení okolních prvků konstrukce, což odpovídá skutečnému působení.

Výhodou takového modelu je jednodušší zadávání okrajových podmínek (podpory, zatížení) a především to, že chování řešeného detailu lze sledovat v kontextu celé konstrukce. Nevýhodou je však, že je model limitován únosností celé konstrukce (resp. jejích prvků) a ne únosností konkrétního styčnicku (nemožnost dosažení post-kritického chování styčnicku). Ukázalo se, že tento typ propojení je vhodný pro základní ověření skutečného chování styčnicku.

## Poděkování

*Príspevek byl realizován za finanční podpory projektu MŠMT číslo SP2013/169 (Studentská grantová soutěž VŠB - TUO).*

# SIMULATIONS OF THE MECHANICAL BEHAVIOUR OF KNITTED FABRIC FOR TECHNICAL APPLICATIONS

Jiří KAFKA<sup>1</sup>

## Abstract

Knitted fabrics are widely used in medical and technical applications. Extend these applications of knitted fabrics is possible, when smart materials like NiTi are used. NiTi (Nitinol) belongs to the shape memory alloy (SMAs) group from smart materials. SMAs show unusual but intelligent material behaviour, such as superelasticity (ability to recover large elastic strain) and shape memory effect (ability of a deformed SMA model to recover its initial shape, when it is heated). The paper presents 3D modeling method and simulations of the mechanical behaviour of the NiTi knitted fabric.

## Keywords

knitted fabrics, shape memory alloy, finite element method

## Introduction

Shape memory alloys show unusual but intelligent material behaviour such as superelasticity (ability to recover large elastic strain) and shape memory effect (ability of a deformed SMA model to recover its initial shape when it is heated). In this paper is presented a 3D modelling method of weft knitted and the mechanical behaviour of knitted fabrics from NiTi and its superelasticity.

## 1 Material parameters

For the determination of material parameters is used uniaxial tensile test of a NiTi yarn. The tested specimen had the diameter 0.1mm and the initial longitude 50mm. The tensile test was performed for the room temperature 20°C. The experimental data were verified with FE model from SOLID elements HEXA7.

## 2 FE model

The numerical simulations of the mechanical loading were carried out by means of the commercial software MSC Marc/Mentat 2012. For the model are chosen eight-noded hexahedral HEXA7. The elements are defined by eight nodes having three degrees of freedom at each node, viz. transformations in the nodal x,y and z directions. The element type has large strain capabilities. The model is defined with structural (Auricchio's) shape memory model, which is based on superelasticity.

---

<sup>1</sup> Ing. Jiří KAFKA, Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti, Studentská 2, 461 17, Liberec, Česká republika, jiri.kafka@tul.cz

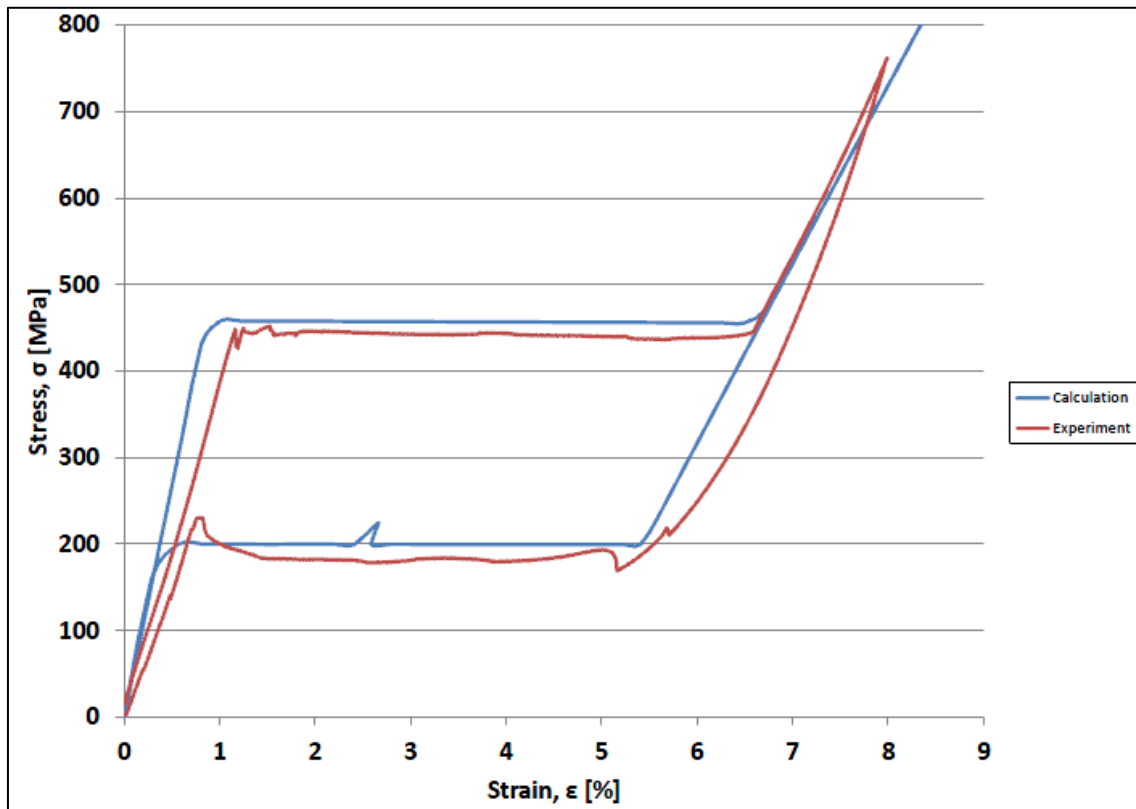


Figure 1 – Comparison of experimental data and calculation

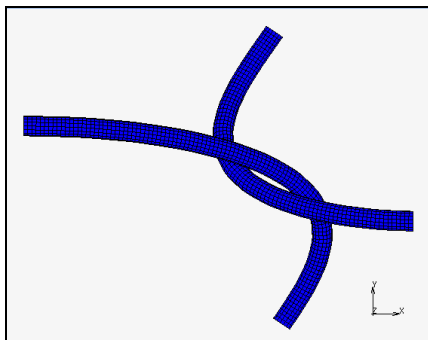


Figure 2 – FE mesh

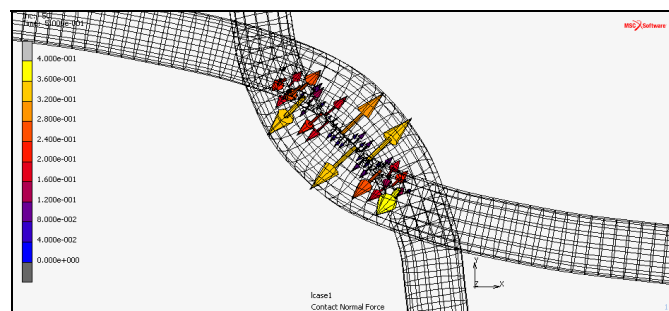


Figure 3 – Contact normal force

The complete experiments research the reactions of the knitted fabric for the loading in the y-direction and the fixing in the x-direction (see Figure 2). The loading in the y-direction for FE simulation is represented by a point load 2N. The point load is defined to the middle point of the top and bottom face of wires. The fixing in the x-direction is described by the symmetrical conditions. The left and the right boundary faces have forbidden the displacement in the x-direction and the rotations in y- and z-direction.

### Acknowledgement

*This work was supported by national financial resources of Ministry of Education of Czech Republic for specific university research.*

# CONSIDERATION OF TIME-EFFECT ON THE MODELING OF CHLORIDE DIFFUSION IN CONCRETE

ZOHLEDNĚNÍ VLIVU ČASU NA MODELOVÁNÍ  
DIFUZE CHLORIDŮ BETONEM

Petr Konečný<sup>1</sup>, Pratanu Ghosh<sup>2</sup>, Petr Lehner<sup>3</sup>

## Abstract

This paper deals with the application of time-dependent diffusion coefficient for the ingress of chlorides into reinforced concrete bridge deck. A finite element-based diffusion model is used in order to model the chloride ion ingress into concrete and to evaluate the influence of diffusion coefficient change over time.

Description of the diffusion of High Performance Concrete (HPC) is based on the laboratory study while the concrete cover is based on the in-situ measurements.

## Keywords

Reinforced concrete, corrosion, reinforcement, chlorides, initiation, diffusion coefficient, time-dependency.

## 1 Introduction

This paper is focused on the enhancement of a finite element based probabilistic corrosion initiation model [3] that is focused on reinforced concrete bridge deck 2-D chloride ingress. The development of the model [3] follows the initial 1-D approach [4]. The chloride ion concentration at the reinforcement level of concrete slab is evaluated with respect to the time-dependency of diffusion coefficient and compared with the solution with diffusion coefficient constant over time.

## 2 Chloride Ingress Induced Deterioration

### 2.1 Service Life

If one considers the corrosion process driven by chloride ingress as the governing durability issue then service life  $t_{\text{service}}$  can be expressed by Equation (1),

$$t_{\text{service}} = t_{\text{initiation}} + t_{\text{propagation}} \quad (1)$$

where  $t_{\text{initiation}}$  is the period before the onset of corrosion and  $t_{\text{propagation}}$  is the time for corrosion to reach an unacceptable damage level once it has started.

### 2.2 Mechanism of Chloride Ingress and Transportation Model

Diffusion is the primary variable by which chlorides penetrate to the level of reinforcing steel to initiate corrosion. It is widely accepted that Fick's 2<sup>nd</sup> law of diffusion can

---

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

<sup>2</sup> Pratanu Ghosh, Ph.D. California State University, Fullerton, pratanug@gmail.com;

<sup>3</sup> Petr Lehner, Bc. VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, student, petr.lehner.st@vsb.cz;

represent the rate of chloride penetration into concrete as a function of depth and time, see [2]. The solution of the governing differential equation is done numerically using finite element solution [3].

$$\frac{dC_{x,t}}{dt} = D_c \cdot \frac{d^2 C_{x,t}}{dx^2} \quad (2)$$

where  $C_{x,t}$  is the concentration of chlorides (percent by mass of total cementitious materials) at time  $t$  (years) and depth  $x$  (meters), and  $D_c$  is the apparent diffusion coefficient ( $\text{m}^2/\text{year}$ ). The chloride diffusion coefficient  $D_c$  is described herein as a function of time according to [1].

The estimated behavior of time-dependent diffusion coefficient is shown in the Fig. 1.

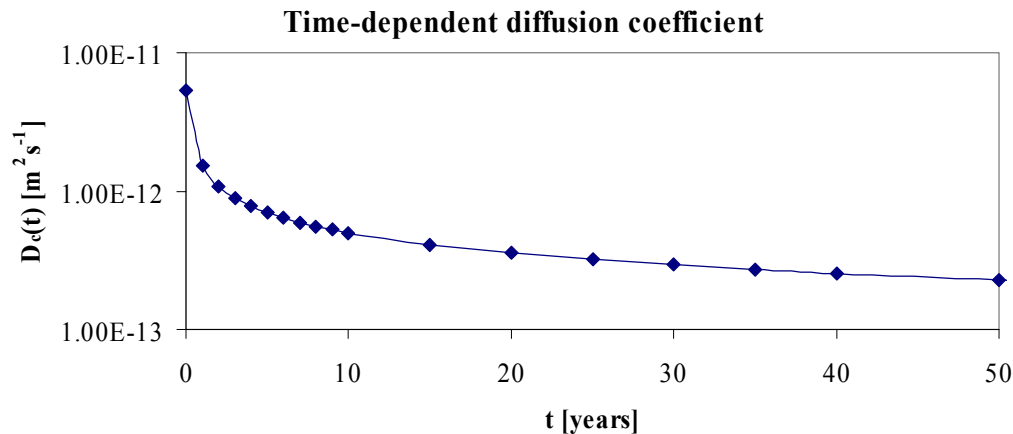


Fig. 1: Time dependent diffusion coefficient for the chloride penetration to concrete

## Acknowledgements

*This project has been completed thanks to the financial support provided to VSB-Technical University of Ostrava by the Czech Ministry of Education, Youth and Sports through the Institutional support for conceptual development of science, research and innovations for the year 2013.*

## References

- [1] BENTZ, E., and M. D. A. THOMAS. Life-365 Service Life Prediction Model, Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Costs of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides, 2001.
- [2] BODDY, A., BENTZ, E., THOMAS, M., D., A., And HOOTON, R.D.; "An overview and sensitivity study of a multi- mechanistic chloride transport model." *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp. 827-837.
- [3] KONEČNÝ, P., TIKALSKY, P. J. AND TEPKE, D. G. (2007) Performance Evaluation of Concrete Bridge Deck Affected by Chloride Ingress: Simulation-Based Reliability Assessment and Finite Element Modeling, In journal: *Transportation Research Record*, vol. 2020/2007, Transportation Research Board of the National Academies, ISSN: 0361-1981, Washington, DC, U.S.A.
- [4] 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.



## POROVNANIE VÝSLEDKOV STATICKEJ A DYNAMICKEJ NUMERICKEJ SIMULÁCIE DIAGNOSTICKEJ METÓDY VOZOVKY

THE COMPARISON BETWEEN RESULTS OF STATICK AND DYNAMIC NUMERICAL  
SIMULATION OF DIAGNOSTIC METHOD OF PAVEMENT

Ján Kortiš<sup>1</sup>, Nina Rapanová<sup>2</sup>

### Abstrakt

Zariadenie FWD Dynatest používané na diagnostiku únosnosti vozoviek zaťažuje povrch vozovky silovým impulzom a merajú sa relatívne priehyby v okolí pôsobenia silového impulzu. V článku sú uvedené dve možnosti analýzy a to statická analýza, kedy neuvažujeme s pôsobením zotrvačných síl a dynamická analýza, pri ktorej uvažujeme aj s pôsobením zotrvačných síl.

### Kľúčové slová

numerická simulácia, diagnostika vozoviek, silový impulz

### Abstract

FWD Dynatest, which is a diagnostic device used to measure the current condition of the pavement from bearing capacity point of view, loads the surface of the pavement by a force impulse. The article describe two possibilities of analysis. The first one is static analysis, which does not include mass forces and the second one is dynamic analysis, which takes into account mass forces.

### Keywords

numerical simulation, diagnostic of pavements, impulse

## 1 Úvod

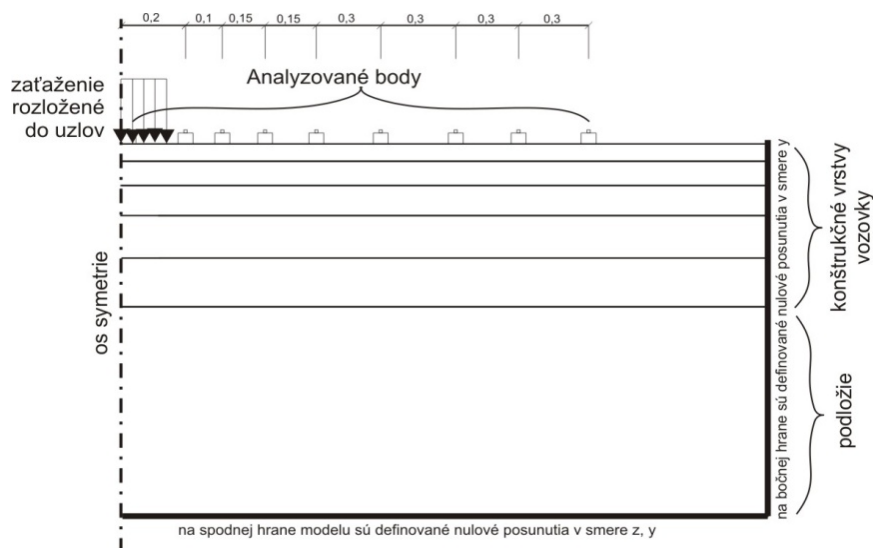
Pri diagnostike únosnosti vozoviek je jednou z možností využiť zariadenia pracujúce na báze merania priehybovej kotliny na povrchu vozovky vyvolanej silovým impulzom. Aby bolo možné lepšie analyzovať výsledky meraní diagnostického zariadenia, je vhodné zrealizovať aj numerickú simuláciu vozovky zaťaženej silovým impulzom. Zaťaženie vozovky silovým impulzom je možné riešiť v statickom, alebo dynamickom režime. Dynamická analýza vyžaduje väčšie nároky na prípravu výpočtového modelu. Následná interpretácia výsledkov je nenáročná, pretože sa viac menej obmedzuje len na analýzu maximálnych priehybov v sledovaných miestach na povrchu vozovky.

---

<sup>1</sup> Ján Kortiš, Ing. PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Katedra stavebnej mechaniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, jan.kortis@fstav.uniza.sk

<sup>2</sup> Nina Rapanova, Ing., Žilinská univerzita v Žiline, Katedra cestného staviteľstva, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, nina.rapanova@fstav.uniza.sk

Na účely porovnania statickej a dynamickej analýzy bol vytvorený výpočtový model, ktorý reprezentuje zloženie konštrukčných vrstiev vozovky na podloží. Zaťaženie charakterizuje tlak pôsobiaci na kruhovú dosku meniaci sa v závislosti od silového impulzu. Poloha bodov v ktorých boli analyzované výsledky (ich vzdialenosť od osi zaťaženia) bola totožná s polohou bodov, v ktorých sa meria priehyb povrchu vozovky pri diagnostike zariadením FWD Dynatest.



Obr. 1: Schematické zobrazenie výpočtového modelu

## 2 Záver

Pri tvorbe výpočtových modelov za účelom interpretácie výstupov metód dynamickej diagnostiky vozoviek, ktoré povrch vozovky zaťažujú silovým impulzom, je možné využiť statickú aj dynamickú analýzu. Statická analýza však umožňuje len hodnotenie maximálnych výchyliek v jednotlivých analyzovaných bodoch na povrchu vozovky. Vypočítané hodnoty maximálnych výchyliek pri statickej analýze sú takmer porovnateľné s maximálnymi výchylkami získanými pri dynamickej analýze. V prípade dynamickej analýzy je možné hodnotiť aj celkový časový priebeh priehybov povrchu vozovky a tie následne porovnať s experimentálne nameranými hodnotami.

## Pod'akovanie

*Článok vznikol ako súčasť riešenia grantových úloh VEGA 1/0804/12 Vplyv materiálového zloženia asfaltovej zmesi na charakteristiky textúry povrchu vozovky a produkciu emisií a VEGA 1/0259/12 Dynamická analýza konštrukcií dopravných stavieb.*

## Literatúra

- [1] <http://www.dynatest.com/>
- [2] GSCHWENT, I. a kol.: Katalóg konštrukcií vozoviek. Bratislava 2011, ISBN 978-80-8076-083-0.
- [3] TP 3/2009, Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek.
- [4] Adina Theory and modeling guide
- [5] John Lysmer and R.L. Kuhlemeyer, Finite Dynamic Model for Infinite Media, Proc. ASCE, Vol. 95, No.EM4, 1969, August

# ANALYSIS OF REQUENCIES AN LIQUID IN RECTANGULAR TANK

## FREKVENČNÁ ANALÝZA KVAPALINY V PRAVOUHLEJ NÁDRŽI

Kamila Kotrasová<sup>1</sup>

### Abstract

Ground-supported tanks are used to store a variety of liquids. During earthquake activity the liquid exerts impulsive and convective pressures (sloshing) on the walls and bottom of the rectangular tank. This paper provides theoretical background for analytical calculating of circular frequencies and hydrodynamic pressures developed during an earthquake in rectangular container. Analytical results of first natural frequency are compared with experiment

### Keywords

Frequency, fluid, rectangular tank

## 1 Introduction

Seismic event is certainly one of the most critical external events regarding safety of industrial plants, as demonstrated by recent earthquakes. If industrial facilities store large amount of hazardous materials, accidental scenarios as fire, explosion or toxic dispersion may be triggered, thus possibly involving working people within the installation, population living in close surrounding or in urban area where the industrial installation is located. Liquid storage tanks are considered essential lifeline structures. Knowledge of frequency properties of containers with fluid during an earthquake and is important for good analysis and design of earthquake resistant structures/facilities – tanks.

## 2 Fluid in rectangular tank

For tanks, walls of which can be assumed as rigid, a solution of the Laplace equation for horizontal excitation can be obtained in a form, so that the total pressure is again given by the sum of impulsive and convective pressures by use of absolute summation rule:

$$P_{HDw} = P_{HDw} + P_{HDCw} \quad (1)$$

Consider a rectangular container as shown in Fig. 1, and at the instant under consideration let the surface of the fluid be horizontal and let the walls of the container have a horizontal acceleration  $\ddot{u}_o$  in the  $x$  – direction.

When the walls of the container are given acceleration, the membranes will be accelerated with the fluid and the fluid will also be squeezed vertically with respect to the membranes.

---

<sup>1</sup> Ing. Kamila Kotrasová, PhD. Technical University of Košice, Civil Engineering Faculty, Vysokoškolská 4,04200 Košice, (kamila.kotrasova@tuke.sk)

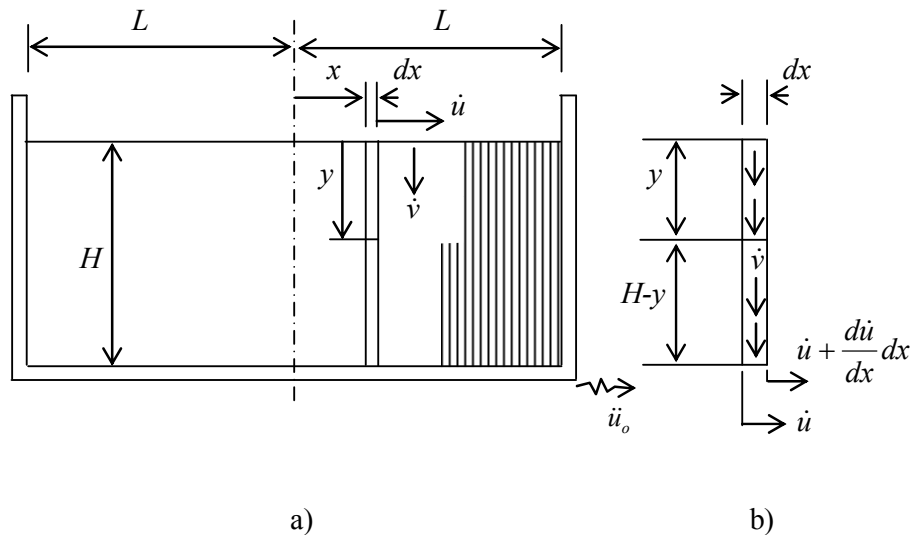


Fig. 1. Rectangular tank is filled with water

The circular frequencies are then for the nth mode

$$\omega_n^2 = \frac{g}{L} n \sqrt{\frac{5}{2}} \tanh n \sqrt{\frac{5}{2}} \frac{H}{L}. \tag{2}$$

### 3 Experimental analysis of fluid in rectangular tank

The experiment was made with a rectangular tank with inner ground parameters 192 mm x 392 mm and height 242 mm, made of glass. The tank was filled with water by using potassium permanganate; the height of filling of water was 150 mm. The container was excited by horizontal harmonious motion of various frequencies with amplitudes of 5 mm and 10 mm (see Fig. 2).

For a rectangular tank with inner parameters 192 mm x 392 mm and height 242 mm, at which the tank was filled with water to the height of 50 mm, the first natural frequency is given  $f_1 = 0,875$  Hz, it was calculated by using of equation (2).

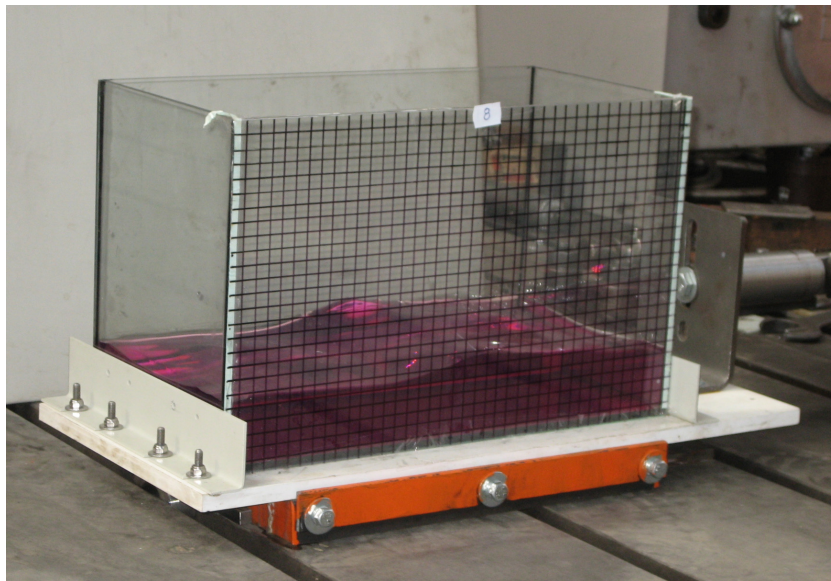


Fig. 2: Detail of experiment

# PROBABILISTIC NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BUBBLER TOWER STRUCTURE FAILURE

PRAVDEPODOBNOŠTNÁ NELINEÁRNA ANALÝZA PORUŠENIA ŽELEZOBETÓNOVEJ KONŠTRUKCIE BARBOTÁŽNEJ VEŽE

Juraj Králik<sup>1</sup>

## Abstract

This paper describes the reliability analysis of concrete bubbler tower structure for VVER 440 under high internal overpressure. There is showed summary of calculation models and calculation methods for the probability analysis of the structural integrity considering degradation effects and high internal overpressure. The uncertainties of the resistance and the calculation model were taking in the account in the RSM method.

## Keywords

Probability, Nonlinearity, Failure, Reinforced Concrete, NPP, ANSYS, RSM

## Abstrakt

V článku je opísaná analýza spoľahlivosti železobetónovej barbotážnej veže pre VVER 440 od vnútorného pretlaku. Prezentujú sa výpočtové modely a metódy pravdepodobnostnej analýzy porušenia konštrukcie zohľadniac efekty degradácie a vysokého vnútorného pretlaku. Neurčitosti modelu a odolnosti a výpočtové procedúry založené na aproximačnej metóde RSM.

## Kľúčové slová

Pravdepodobnosť, nelinearita, porucha, železobetón, JE, ANSYS, RSM

## 1 Introduction

The International Atomic Energy Agency set up a program to give guidance to its member states on the many aspects of the safety of nuclear power reactors (NPP) [1]. The bubbler tower (BT) is the most importance structure in the case of the accident of the pipe coolant system in the Reactor hall (Fig.1). The extreme pressure and the steam radioactivity are eliminated in the space of BT. In this paper the nonlinear analysis of the concrete BT structure resistance for mean values of loads, material properties and higher overpressure than BDBA (Beyond Design Basic Accident) is presented. Following these results the probability check of the structural integrity may be realized for the random value of the loads and material properties by RSM method [2]. On the base of the IAEA requirements the experimental test of the airtightness of hermetic zone must be realized each 10 years of NPP performance. The stiffness of structure is tested during this experiment too. The experimental results were compared with the results of numerical

---

<sup>1</sup> Prof.Ing.Juraj Králik,CSc. Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, Radlinského 11, Bratislava 813 68, SR, e-mail: juraj.kralik@stuba.sk

analysis of the structures on the FEM calculation model. For a complex analysis of the concrete structure for different kind of loads, ANSYS software and the program CRACK [2] were provided to solve this task (Fig.1). The airtightness of the hermetic zone and stiffness resistance of the structures was tested by compression of the interior space of NPP. The pressure increased with the speed of 25kPa by 2hours and each compression step. The results of the measurements were recorded at pressure 0, 25, 50, 75 and 100kPa.

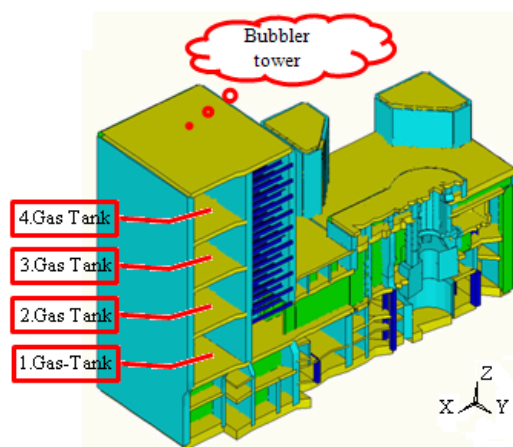


Fig.1: Calculation model of boubbler tower

## 2 Probabilistic nonlinear analysis of the structure reliability

The nonlinear solution was realized using the layered shell element SHELL91 from the ANSYS library and program CRACK with concrete nonlinear model and the experimental results. The stiffness matrix of reinforced concrete layered shell element for the  $l^{th}$ -layer can be written in the following form

$$[D_{cr}^l] = [T_{c,\sigma}^l]^T [D_{cr}^l] [T_{c,\varepsilon}^l] + \sum_{j=1}^n [T_s^l]^T [D_s^l] [T_s^l] \quad (1)$$

where  $[T_{c,\sigma}]$ ,  $[T_s]$  are the transformation matrices for concrete and reinforcement separately. The probability of BT-structure failure is calculated from the probability of the reliability function  $RF$  in the form,

$$P_f = P(RF < 0) = P(1 - F_u(I_{\varepsilon l}; J_{\varepsilon 2}; \square \varepsilon_u) / \varepsilon_u < 0) \quad (2)$$

where the failure function  $F_u(\cdot)$  is the so-called crushing or total damage function. Resulting from variability of input quantity 25 simulation steps on the base of RSM method under system ANSYS-CRACK was realized.

## 3 Conclusion

The probability of loss BT-structure integrity was calculated from  $10^6$  Monte Carlo simulations for 25 steps of approximation method RSM on the full structural FEM model. The probability analysis was realized for structural FEM model considering the concrete cracking. The mean value of the failure pressure is equal to 609,7kPa and its 5% kvantil is equal to 369,3kPa.

## Acknowledgement

*The project was realized with the financial support of the Grant Agency of the Slovak Republic. The project registration number is VEGA 1/1039/12.*

## 4 References

- [1] KRÁLIK, J. Probability Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Containment Damage due to High Internal Overpressure. *Engineering mechanics*. EACR Brno, Vol.12, No.2, 2005, pp.113-125.
- [2] KRÁLIK, J. *Safety and Reliability of Nuclear Power Buildings in Slovakia. Earthquake-Impact-Explosion*. Edition STU Bratislava, 2009, pp.305.

# DETERMINISTICKÁ A PRAVDEPODOBNOŠTNÁ ANALÝZA POŽIARNEJ ODOLNOSTI VIACPODLAŽNÉHO OCEĽOVÉHO RÁMU

DETERMINISTIC A PROBABILITY ANALYSES OF THE MULTISTOREY OF THE  
STEEL FRAME FIRE RESISTANCE

Juraj Králik<sup>1</sup>, Maroš Klabník<sup>2</sup>

## Abstrakt

Článok sa zaoberá problematikou elastického a plastického riešenia požiarnej odolnosti viacpodlažného rámu. Prostredníctvom rôznych modelov je simulované požiarne zaťaženie v jednotlivých podlažiach. Porovnané sú modely s tuhými a podajnými styčnicami. Požiarna odolnosť je skúmaná na vplyv teploty, stálych a premenných zaťažení. Deterministická analýza je spracovaná podľa požiadaviek eurokódov. Pre pravdepodobnostný prístup riešenia danej problematiky bol použitý pravdepodobnostný a citlivostný postprocesor programu Ansys.

## Kľúčové slová

Požiarne odolnosť, deterministická a pravdepodobnostná analýza, nelineárna analýza

## Abstract

This paper deals with an elastic and plastic solution of the multistorey steel frame under fire loads. The deterministic and probability analysis of the fire resistance of the steel structure is considered. Through various models are simulated fire load in individual floors. Models are compared with rigid and semi-rigid joint. The deterministic analysis is based on the Eurocode's requirements. The executed fire resistance analysis of the steel structures is investigated as the influence of temperature, permanent and variable loads. The analysis takes into account both the non-linear behaviour. The Response Surface Method for the nonlinear analysis of the fire structure reliability was used on program ANSYS. The sensitivity analysis of the various input parameters shows the significant influence of the considered loads and the material properties.

## Keywords

deterministic and probability analysis, fire resistance, non-linear behaviour

Hlavnou úlohou požiarnej ochrany stavieb je účinná ochrana ľudských životov a majetku. Na dosiahnutie tohto cieľa existuje dokumenty, normy a právne predpisy založené na rôznych prístupoch k riešeniu problému. [3]. Konštrukcie vystavené účinkom požiaru je možné riešiť zjednodušene pomocou tabuliek a grafov. V súčasnosti sa takýmto spôsobom spravidla analyzujú len samostatné konštrukčné prvky.

1. Prof. Juraj Králik, Ph.D, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, 813 68 Bratislava, Radlinského 11, telephone : +421.2.59 274 690 , e-mail. : juraj.kralik@stuba.sk

2. Ing. Maroš Klabník, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, 813 68 Bratislava, Radlinského 11, telephone : +421.2.59 274 206 , e-mail. : xklabnik@stuba.sk

Zjednodušené výpočtové metody spolu s empirickými formuláciami sú široko používané v každodennej projekčnej praxe. Ich hlavnou výhodou je jednoduchá formulácia kritických teplôt, ktoré namáhajú konštrukciu. Na globálnu analýzu celej konštrukcie sa využívajú presnejšie modely, vystihujúce správanie konštrukcií pri vysokých teplotách. [5] Existujú normové postupy, ktoré vymedzujú a exaktne opisujú možnosti použitia jednotlivých výpočtových modelov. Definícia vlastností materiálu, ako aj podmienky zaťaženia, je možné definovať deterministicky alebo pravdepodobnostne. V prípade deterministického prístupu sú stanovené podmienky zaťaženia a odolnosti. V prípade pravdepodobnostného prístupu sú podmienky stanovené s premennými hodnotami zaťaženia a vlastností materiálu, ktoré sú popísané pomocou histogramov. [2] [7].

## PodĎakovanie

*Projekt bol realizovaný za pomoci finančnej podpory zo štátnych prostriedkov Grantovej agentúry Slovenskej republiky. Registračné číslo projektu je VEGA 1/0740/11.*

## Literatúra

- [1] BAILEY C.G. *Fire design of steel framed structures*, in *Steel and Composite Structures*. Leiden: Taylor & Francis/Balkema, 2007, Vol. 1, p. 57-65. ISBN 978-0-415-45141-3
- [2] BUCHANNAN. H. *Structural design for fire safety*, John Wiley & Sons 2000, ISBN 0-471-89060-X.
- [3] EN 1991-1-1. 2002. *Eurocode 1 Actions on structures. Part 1-1 General actions. Densities, self-weight, imposed loads for buildings*, CEN, 2002.
- [4] HANDBOOK 5, *Design of Buildings for the Fire Situation*, Guide to basis of structural reliability and risk engineering related to Eurocodes supplemented by practical examples, Leonardo da Vinci Pilot project CZ/02/B/F/PP-134007, Luxemburg 10/2005.
- [5] HOLICKÝ, M. SCHLEICH, J. B. Fire Safety Assessment using Bayesian Causal Network. *Foresight and Precaution Conference*, Edinburgh, May 2000.
- [6] CHAN, S. L., and CHAN, B. H. M. "Refined plastic hinge analysis of steel frames under fire." *Steel Composite Struct.*, 1(1), 111–130, 2001.
- [7] JANAS, P., KRAJSA, M., KREJSA, V. Using the Direct Determined Fully Probabilistic Method for determination of failure. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Esrel 2009. 7-10 september 2009, Prague. Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications – Briš, Guedes Soares & Martorell (eds), 2010 Taylor & Francis Group, London. pp 1467-1474 (8 p). ISBN 978-0-415-55509-8*



DETERMINISTIC AND PROBABILISTIC ANALYSIS OF  
STELL HALL COLLAPS LOADED UNDER EXTREME SNOW LOADS

Juraj Králik<sup>1</sup>

**Abstract**

Engineering structures are designed to resist all expected loadings without failure. However, structural failures do happen occasionally, mainly due to inadequate design and construction, especially for extreme loads. The main aim of this contribution is to find out the maximum load carrying capacity of the steel frame. Account is taken of geometrical and material nonlinearity of structural elements.

**Keywords**

Extreme, snow, nonlinearity, material, stability, probability, LHS, ANSYS

**1 Introduction**

This paper deals with the resistance of the steel hale frame of the nuclear power plant (NPP) in locality J.Bohunice. The international organization IAEA in Vienna [2] set up the design requirements for the safety and reliability of the NPP structures. The extreme environmental events (e.g. wind, temperature, snow, explosion...) are the important loads from the point of the NPP safety performance. The extreme snow loads are defined with the probability of mean return period equal to one per 10<sup>4</sup> years This paper deals with the analysis of the steel frame loaded with extreme snow load. The IAEA standards require setting up the probability of the structure failure during the extreme loads. The critical steel frame of hall structure was investigated. The FEM model consist the beam and mass elements of ANSYS program - BEAM188 and MASS21.

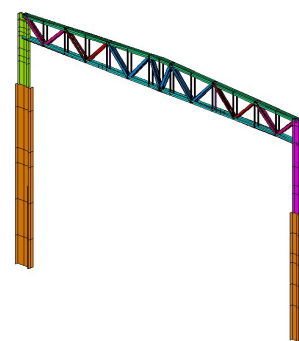


Fig.1: Calculation model of the NPP hall frame

**2 Loads and Load Combinations**

The load combination was considered in accordance of Eurocodes and IAEA requirements for the deterministic and probabilistic analysis.

- **Deterministic method – extreme design situation**

$$E_d = G_d + Q_d + A_{Ed} + T_d \tag{1}$$

- **Probabilistic method – extreme design situation**

$$E = G + Q + A_E + T = g_{var} \cdot G_k + q_{var} \cdot Q_k + a_{var} \cdot A_{Ek} + t_{var} \cdot T_k \tag{2}$$

where  $g_{var}$ ,  $q_{var}$ ,  $a_{var}$ ,  $t_{var}$  are the variable parameters defined in the form of the histogram calibrated to the load combination in compliance with Eurocode [1] and  $G_k$  ( $G_d$ ) is the characteristic (e.g. design) value of the permanent dead loads,  $Q_k$  ( $Q_d$ ) - the characteristic (e.g.design) value of the permanent live loads,  $A_{E.k}$  ( $A_{Ed}$ )- the characteristic (e.g. design) value of the extreme snow loads,  $T_k$  ( $T_d$ ) - the characteristic (e.g. design) value of the

<sup>1</sup>Ing. Juraj Králik, PhD., STU Bratislava, Fakulta Architektúry, Nám. slobody 19, juraj\_kralik@fa.stuba.sk

temperature load. The extreme snow load is defined twice the characteristic snow load value as  $S_A = 1.52 \text{ kN/m}^2$ . The characteristic value of the climate effects were used as follows, the absolute year minimum per 100 years  $-30,8^\circ\text{C}$ , the internal temperature of environment  $25^\circ\text{C}$ .

### 3 The nonlinear analysis

The limit state of the steel frame was considered to utilise the geometric and material nonlinearity in program ANSYS. The geometric nonlinearity is based on the theory of the large strain, which is often used for elastic-plastic elements. The elastic-plastic model of steel material was taken in compliance with the Von Mises yield function. The Newton-Raphson iteration method to solve nonlinear equations was taken.

### 4 The probabilistic approach

The limit state of the steel frame was investigated in relation with the level of the extreme snow loads using the deterministic and probabilistic analysis. The characteristic values of the material and load was taken in the case of deterministic analysis. The limited snow load is determined from the linearized failure function for the critical element in the form

$$g(N, M) = 1 - (N_o + \eta_u N_{Ex}) / N_R - (M_o + \eta_u M_{Ex}) / M_R = 0, \quad (3)$$

where  $N_o, M_o$  (e.g.  $N_{Ex}, M_{Ex}$ ) are the normal forces and bending moment from the normal loads (e.g. extreme loads),  $N_R, M_R$  are the design values of the resistance forces and bending moment,  $\eta_u$  is the factor of the failure. The failure snow loads are defined as follows

$$S_u = \eta_u \cdot S_{Ex} \quad (4)$$

The fragility curve of the extreme snow was calculated on the base of the nonlinear deterministic analysis of the steel frame for median values of input data. The probability of the structure failure was calculated for the various levels of the snow loads. The density of probability and the cumulative probability function were determined using simulation on the base of LHS method.

### 5 Conclusion

This paper presents the reliability analysis of the steel hall frame resistance due to extreme snow loads. The extreme loads were defined for mean return period equal to one per  $10^4$  years in accordance of the IAEA requirements for NPP structures. The geometric and material nonlinearity were taken into account. The deterministic and probabilistic analysis of the structure failure was investigated. The limit state (frame collapse) was obtained for the factor  $\eta_u = 6,2$ .

### Acknowledgement

*This paper was written with the support of Slovak Grant Agency VEGA. Registration number is 1/1039/12.*

### References

- [1] Králik, J. *Safety and Reliability of Nuclear Power Buildings in Slovakia. Earthquake-Impact-Explosion*. Edition STU Bratislava, 305 p, 2009.

# NONLINEAR ANALYSIS OF STEEL CONCRETE COLUMN FIRE RESISTANCE

NELINEÁRNA ANALÝZA POŽIARNEJ ODOLNOSTI OCELOBETÓNOVÉHO STĽPA

Juraj Králik<sup>1</sup>, Mária Tirpáková<sup>2</sup>

## Abstract

The objective of this work is the design of the steel concrete composite column of fire effects considering the material and geometrical nonlinearity. This paper is aimed to the simple and detailed analysis of the structural fire resistance in accordance of the Eurocode requirements. On the base of the nonlinear analysis using ANSYS software the fire resistance of the three types of columns is investigated.

## Keywords

Steel concrete column, fire, nonlinearity, temperature, ANSYS

## Abstrakt

Cieľom práce bolo posúdenie spriahnutého oceľobetónového stĺpa na účinky požiaru za uváženia fyzikálnej a geometrickej nelinearity. Práca sa zaoberá zjednodušenou a podrobnou analýzou požiarnej odolnosti konštrukcií podľa požiadaviek Eurokódov. Nelineárnou analýzou v programe ANSYS sa porovnáva požiarna odolnosť troch typov stĺpov.

## Kľúčová slová

Oceľobetónový stĺp, požiar, nelinearita, teplota, ANSYS.

## 1 Introduction

Experiences from fire cases and their consequences are the main reasons for the developing of the fire safety standards. A list of codes, standards, and other legal documents being used to achieve this aim are based on the simple numerical methods [2 and 3]. The column is one from the most importance element in the case of the fire. The fire resistance of composite steel-concrete structures is calculated according to EN1994-1-2 [1]. Three methods are available in order to evaluate the fire resistance: the tabulated data method, the simple calculation models and the advanced calculation models. The simple calculation models compute the ultimate load of the element by means of formulas or design charts, established on the basis of experimental data. The advanced calculation models suppose an advanced numerical analysis of the elements, parts of the structure, or of the entire structure under fire, using specialized software for nonlinear analysis of the structures on dependency of temperature.

---

<sup>1</sup> Prof.Ing.Juraj Králik,CSc. Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, Radlinského 11, Bratislava 813 68, SR, e-mail: juraj.kralik@stuba.sk

<sup>2</sup> Bc.Mária Tirpáková, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, Radlinského 11, Bratislava 813 68, SR, e-mail: xtirpakova@is.stuba.sk

## 2 FEM model of the composite steel-concrete column

The composite steel-concrete column consists the steel profile I600 from S235, concrete rectangular section 550/800mm from C30/37 and the reinforcement 8Ø28mm from B500B. The FEM model consist of 3 800 elements SOLID65, 784 SHELL181 and 1396 LINK180 in program ANSYS. The material model of the steel elements was defined for the Von Mises yield function and multilinear isotropic hardening stress-strain diagram. In the case of concrete the Drucker-Prager yield function was taken.

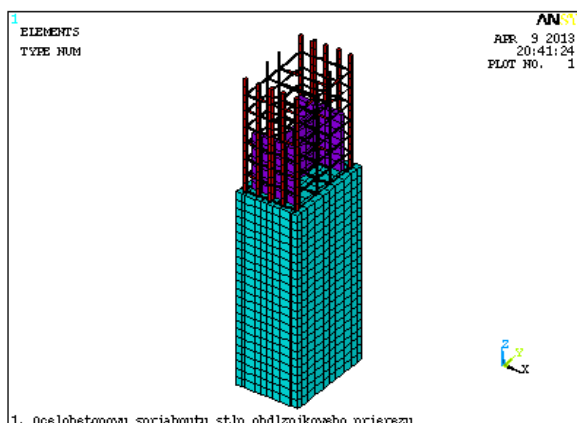


Fig.1: FEM model of steel concrete column

## 3 Material and geometric nonlinearity

The stress-strain diagrams for the steel and concrete were considered in accordance of Eurocode [1 and 2] on dependency of temperature level. The reduction factors are defined for steel ( $k_{u,\theta} = f_{au,\theta} / f_{ay}$ ,  $k_{p,\theta} = f_{ap,\theta} / f_{ay}$ ,  $k_{max,\theta} = f_{max,\theta} / f_{ay}$ ,  $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_{ay}$ ) and for concrete ( $k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_c$ ), where  $f_{au,\theta}$ ;  $f_{max,\theta}$ ;  $f_{ap,\theta}$ ;  $f_{c,\theta}$  are characteristic strengths of steel and concrete during fire and  $f_{ay}$ ;  $f_c$  are strengths at reference temperature 20°C.

## 4 Conclusions

This paper deals with the analysis of the fire resistance of two types of column - composite steel-concrete (SC) and reinforced concrete (RC) for four models – M1 (SC column loaded by full section), M2 (SC column loaded by steel profile), M3 (RC column only), M4 (S column from I600 only). The load was considered for 20%, 40%, 60% and 80% level of design normal force  $N_{Rd}$  and temperature of 200, 400, 500, 700 and 900°C. The limit state was achieved for following situations : model M1 - 40%  $N_{Rd}$  and 820°C, M2 - 60%  $N_{Rd}$  and 900°C, M3 - 40%  $N_{Rd}$  and 700°C, M4 - 40%  $N_{Rd}$  and 900°C. The composite steel-concrete column (model M2) loaded by steel profile has the highest level of fire resistance.

## Acknowledgement

*The project was realized with the financial support of the Grant Agency of the Slovak Republic (VEGA). The project registration number is VEGA 1/1039/12*

## References

- [1] EUROCODE 4, “Design of Composite Steel and Concrete Structures: Structural Rules – Structural Fire Design”, Part 1-2, prEN1994-1-2:2000, Final Draft, 2003.
- [2] HOLICKY et al. Handbook 5. Design of Buildings for the Fire Situation. Project CZ/02/B/F/PP – 134007, 2005.
- [3] WALD,F. et al. Experimental behaviour of a steel structure under natural fire, Fire Safety Journal ,Volume 41, Issue 7, October 2006, p. 509-522.

# NUMERICKÝ MODEL DUTINOVÉ DESKY NA PRUŽNÉM PODEPŘENÍ S KONTAKTNÍMI PRVKY

NUMERICAL MODEL OF HOLLOW CORE PLATE ON ELASTIC SUPPORT WITH  
CONTACT ELEMENTS

Jakub Kršík<sup>1</sup>

## Abstrakt

Cílem příspěvku je popsat tvorbu numerického modelu dutinové stropní desky na pružném podepření s kontaktními prvky v programu ANSYS. Výpočet je proveden v časových krocích, které simulují postup výstavby a zatěžování skutečné desky. Deformace celého modelu a normálových a smykových napětí ve vybraných řezech jsou vyhodnoceny.

## Klíčová slova

Beton, předpětí, ANSYS, kontaktní prvek, normálové napětí

## Abstract

The objective of this paper is to describe the numerical model of the hollow core ceiling slab on elastic supports with contact elements in ANSYS program. Calculation is executed in time steps, which correspond to real construction and loading steps. Evaluation of normal and shear stresses in selected sections of the slab is presented.

## Keywords

Concrete, pre-stress, ANSYS, contact element, deformation, normal stress

## 1 Úvod

Stropní dutinové panely typu Spiroll jsou používány na zastřešení hal o větším rozponu, kde by použití běžného železobetonového stropu nebylo ekonomické. Okolo 20 % těchto hal používá skeletový nosný systém. V tomto systému jsou panely ukládány přímo na průvlaky, které se mohou vlivem zatížení deformovat. Na takto zdeformovaných stropních panelech vzniká přídatné smykové napětí, které snižuje únosnost panelu.

Cílem článku je popsat tvorbu MKP modelu desky. Popsat zatížení, nastavení výpočtu a jeho průběh. Vyhodnotit výslednou deformaci desky, normálové a smykové napětí ve vybraných řezech.

## 2 Popis modelu

Modelovaná deska, popsaná v tomto článku, vychází ze skutečného zatěžovacího testu Finského výzkumného institutu pod číslem VTT-S-07331-06 [1] z roku 2006. Deska se skládá z 8 panelů délky 9 m, výšky 0,4 m, a šířky 1,2 m. Panely jsou zmonolitněny do

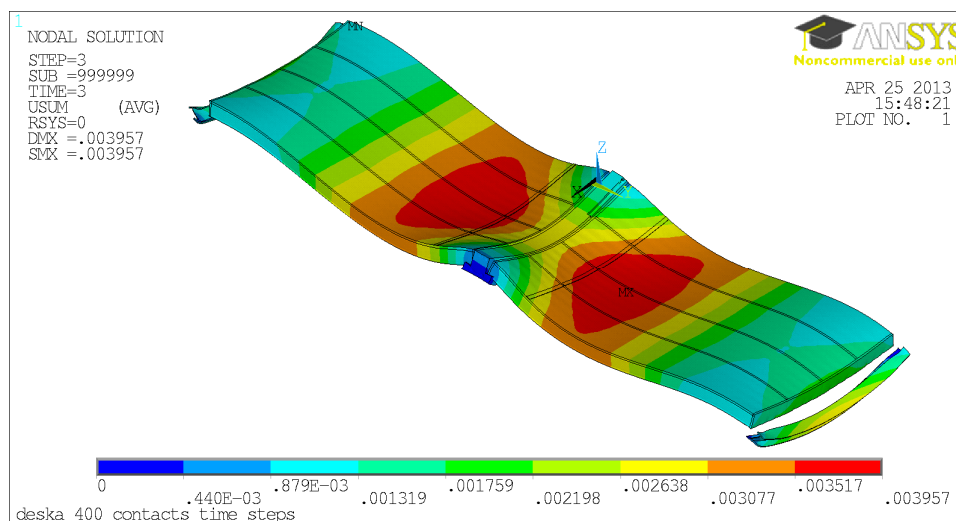
---

<sup>1</sup> Jakub Kršík, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00, Brno, email: krsik.j@fce.vutbr.cz

desky. U vnějšího okraje je deska uložena na ocelový nosník HE260A a u vnitřního okraje na betonový panel z předpjatého betonu. Předpokládá se, že tyto nosníky se budou pod zatížením deformovat jako prosté nosníky.

Pro modelování objemů jsou použity konečné prvky SOLID 185. Předepjaté a betonářské výztuže jsou modelovány z konečných prvků BEAM 188. Kontakty mezi deskou a podpurnými nosníky jsou modelovány kontaktním párem z prvků TARGE 170 a CONTA 173.

Použité materiálové charakteristiky vychází z hodnot naměřených v experimentu. Pro modelování vztahu mezi silou a deformací jsou použity multilineární pracovní diagramy s izotropickým zpevněním.



Obr. 1: Deformace desky s plným zatížením

### 3 Závěr

Byl vytvořen model s kontaktními prvky, který se chová korektně a který je použitelný pro další vyhodnocení deformací a napětí. Aby se vypočtené hodnoty deformací shodovaly s hodnotami z experimentu, tak je třeba provést vhodné úpravy materiálových charakteristik a předpětí, které povedou ke správnějšímu modelu.

### 4 Poděkování

*Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu Specifického výzkumu FAST-J-13-1890.*

### Literatura

- [1] PAJARI, M. *Load test on hollow core slab floor with prestressed concrete beam*. Research report NO VTT-S-07331-06, Technical Research Centre of Finland (VTT), Helsinki, 76 s., 2006
- [2] NAVRÁTIL, J. *Předpjaté betonové konstrukce*. 1. Vydání. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2008, ISBN 978-80-214-4393-8. 274 s.
- [3] ŠMIŘÁK, S. *Pružnost a plasticita I pro distanční studium*. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 1999, ISBN 80-214-1151-1. 210 s.
- [4] ČSN EN 1992-1-1 *Eurocode2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Český normalizační institut, Praha, 2005, 210 s.
- [5] ANSYS 13.0 Reference manual

# MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI PATINUJÍCÍCH OCELÍ POUŽITÝCH PŘI VÝSTAVBĚ MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ

## MATERIAL PROPERTIES OF WEATHERING STEELS USED IN BRIDGE STRUCTURES IN THE CZECH REPUBLIC

Vít Křivý<sup>1</sup>, Petr Konečný<sup>2</sup>, Viktor Urban<sup>3</sup>

### Abstrakt

V článku je uvedeno statistické vyhodnocení reálných materiálových vlastností patinujících ocelí použitých na výstavbu dálničních mostů v České republice v rozmezí let 2001 až 2007. Hodnocení je zpracováno pro sortiment válcovaných plechů z oceli S355J2W. Vyhodnoceny jsou pevnostní vlastnosti oceli, plastické vlastnosti oceli, křehkolomové vlastnosti oceli a chemické složení oceli. V článku jsou rovněž odvozeny reálné hodnoty dílčích součinitelů materiálu odpovídající příslušným třídám spolehlivosti RC1 až RC3 podle evropské normy EN 1990.

### Klíčová slova

patinující ocel, ocelové mosty, materiálové vlastnosti, histogram

### Abstract

The article contains a statistical evaluation of the real material properties of weathering steels used for the construction of motorway bridges in the Czech Republic between 2001 and 2007. The evaluation is performed for a range of hot rolled plates made of S355J2W steel. There is an evaluation of the strength properties, plasticity properties and impact properties of the steel and its chemical composition. The article also contains derived real values of partial factors of materials corresponding to the relevant reliability classes RC1 to RC3 pursuant to the European standard EN 1990.

### Keywords

weathering steel, bridge structures, material properties, histogram

## 1 Řešená problematika

Předkládaný článek se zabývá vyhodnocením reálných materiálových vlastností patinujících ocelí použitých na výstavbu dálničních mostů v České republice. Hodnocení je zpracováno pro sortiment tlustých plechů z oceli S355J2W. Statisticky zpracovány a vyhodnoceny jsou následující vlastnosti materiálu:

---

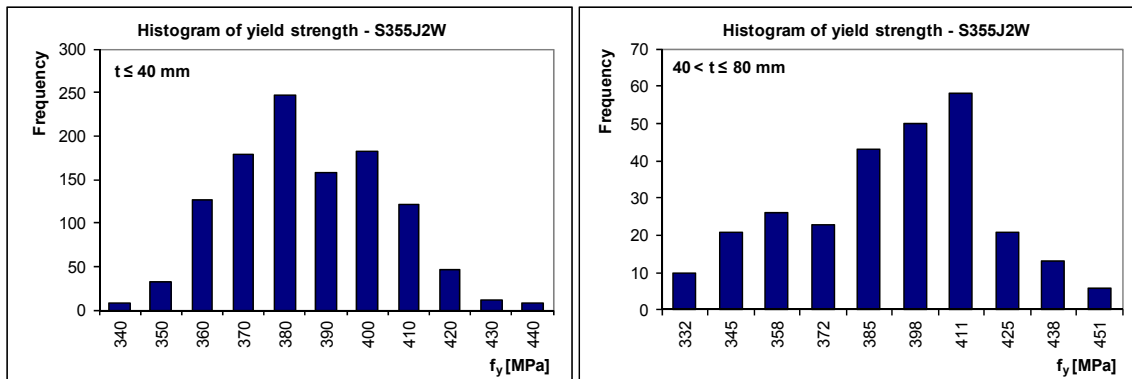
<sup>1</sup> Ing. Vít Křivý, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, L. Poděšť 1875, Ostrava-Poruba, vit.krivy@vsb.cz

<sup>2</sup> Ing. Petr Konečný, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděšť 1875, Ostrava-Poruba, petr.konecny@vsb.cz

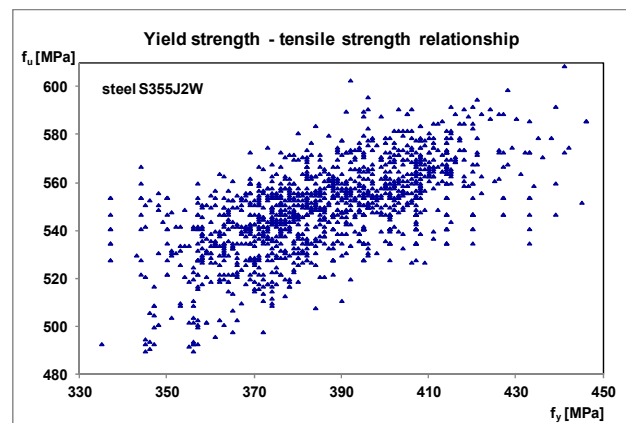
<sup>3</sup> Ing. Viktor Urban, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, L. Poděšť 1875, Ostrava-Poruba, viktor.urban.st@vsb.cz

- pevnostní vlastnosti (mez kluzu  $f_y$  a pevnost v tahu  $f_u$  – viz obrázek 1);
- plastické vlastnosti (tažnost  $A5$  a poměr  $f_u / f_y$ );
- křehkolomové vlastnosti (nárazová práce  $KV$ );
- chemické složení oceli (prvky ovlivňující tvorbu patiny, index atmosférické korozní odolnosti  $I$ , uhlíkový ekvivalent  $CEV$ ).

V rámci statistickém zpracování hodnot meze kluzu oceli  $f_y$  jsou pro příslušné tloušťkové skupiny rovněž odvozeny charakteristické hodnoty  $X_k$  a návrhové hodnoty  $X_d$  odpovídající třídám spolehlivosti podle normy EN 1990.



Obr. 1: Histogramy meze kluzu  $f_y$



Obr. 2: Závislost meze kluzu  $f_y$  a pevnosti v tahu  $f_u$

## 2 Zhodnocení

Z provedených statistických analýz vyplývá, že patinující oceli použité na výstavbu dálničních mostů v České republice spolehlivě splňují požadavky evropských norem technických dodacích podmínek a norem pro navrhování konstrukcí.

Významným výsledkem plynoucím ze statistické analýzy pevnostních vlastností oceli S355J2W je doporučení k užívání vyšších hodnot dílčích součinitelů materiálů než uvádí normy pro navrhování ocelových konstrukcí. Pro konstrukce zařazené do třídy spolehlivosti RC2 lze bezpečně doporučit hodnotu  $\gamma_{M0} = 1,15$ , pro konstrukce zařazené do třídy spolehlivosti RC3 pak hodnotu  $\gamma_{M0} = 1,20$ .

Různá chemická složení patinujících ocelí, která jsou v souladu s požadavky normy technických dodacích podmínek EN 10025-5, vykazují nezanedbatelné rozdíly v korozní odolnosti. V rámci objednávky materiálu třídy S355J2W se doporučuje uplatňovat požadavek na minimální hodnotu indexu atmosférické korozní odolnosti  $I = 6,4$ .



# A NUMERICAL ANALYSIS OF INTERFACE CRACK PROPAGATION IN SHEARING MODE WITH COHESIVE AND ADHESIVE TYPE CONTACT

Jozef Kšíňan<sup>1</sup>, Roman Vodička<sup>2</sup>

## Abstract

The crack propagation problem in the interface of a layered structure is discussed. In order to simulate the delamination process, the mathematical models have been developed. A numerical approach for contact problem is focused on the comparison of analysed models with cohesive and adhesive type contacts in the shearing crack mode. The delamination of interface is governed by energetic formulation. The contribution demonstrates the model behaviour which occurs in many aspects of engineering practise.

## Keywords

interface crack, energetic approach, shearing crack mode, quadratic programming, adhesive contact, cohesive contact, mathematical model.

## 1 Introduction

Recently, the analysis of crack propagation process has a considerable influence to design and development of structural constructions and materials. In this study the variational approach and energetic concept formulation for modelling the interface rupture is proposed. The developed mathematical models of interface rupture distinguish two active interface variables which conveniently define a plastic response of the interface and its failure. The general objective of investigation is the mutual comparison of analysed models with defined adhesive and cohesive contact in shearing crack mode.

## 2 Concept of layered structure model of interface failure

An essential concept of investigated layered structure has been defined by a planar domain  $\Omega \subset R^2$  bounded by *Lipschitz boundary*  $\partial\Omega = \Gamma$ . The investigation discusses the rupture of interface  $\Gamma_c$  in the sense of *shearing crack mode* (Mode II). The interface failure mechanism determines two variables: a *damage variable*  $\zeta$  and *plastic slip*  $\pi$ .

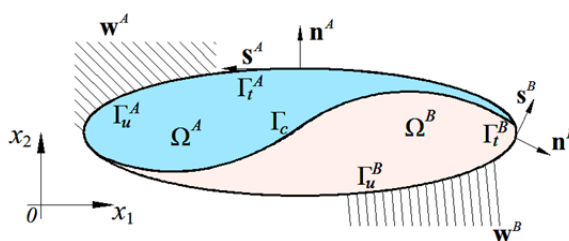


Fig. 1: The concept of layered structure.

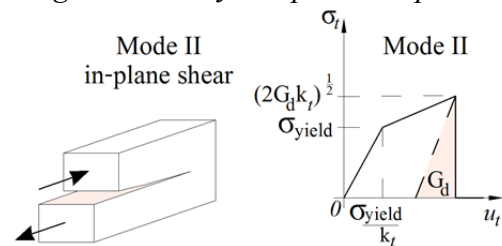


Fig. 2: Schematic description of shearing crack mode.

<sup>1</sup> Ing. Jozef Kšíňan, Technical University of Košice, Civil Engineering Faculty, Department of Structural Mechanics, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovakia, jozef.ksinan@tuke.sk

<sup>2</sup> doc. Ing. Roman Vodička, PhD., Technical University of Košice, Civil Engineering Faculty, Department of Applied Mathematics, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovakia, roman.vodicka@tuke.sk

### 2.1 Adhesive and cohesive type contact interface

Proposed model defines two types of contact. The **adhesive-type contact** yields a discontinuous response of the *stress*  $\sigma$  and *damage parameter*  $\zeta$ . The **cohesive-type contact** assumes rather an engineering approach which supposes a continuous response.

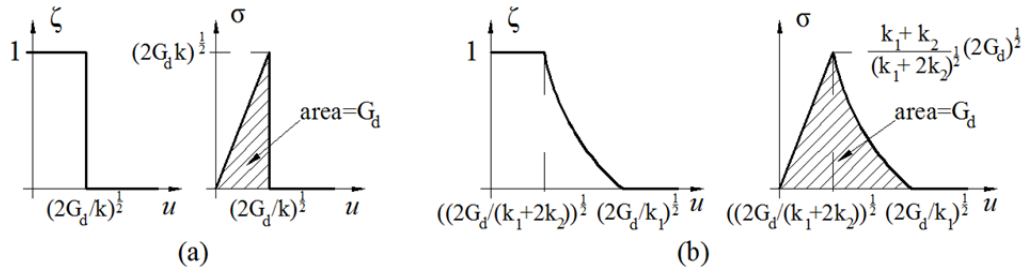


Fig. 3: Damage parameter  $\zeta$  and mechanical stress  $\sigma$  (a) adhesive model and (b) cohesive model.

### 2.2 Achieved results of the analysis of interface rupture model by shearing slip

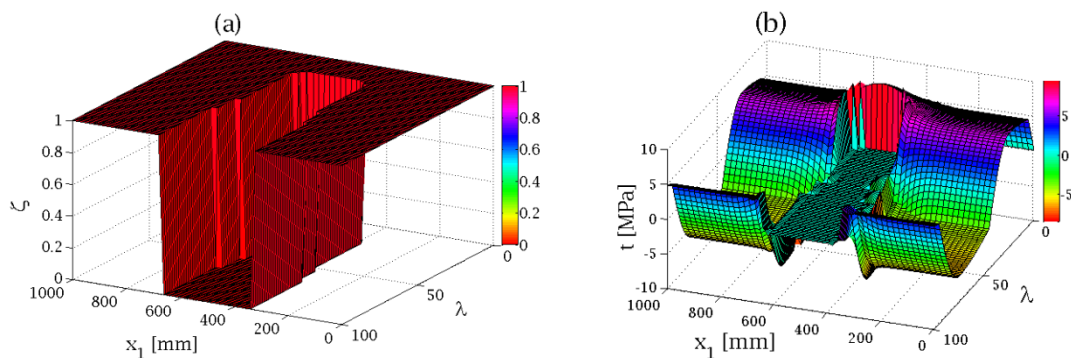


Fig. 4: The adhesive model parameters (a) damage parameter  $\zeta$ , (b) mechanical stress  $\sigma$ .

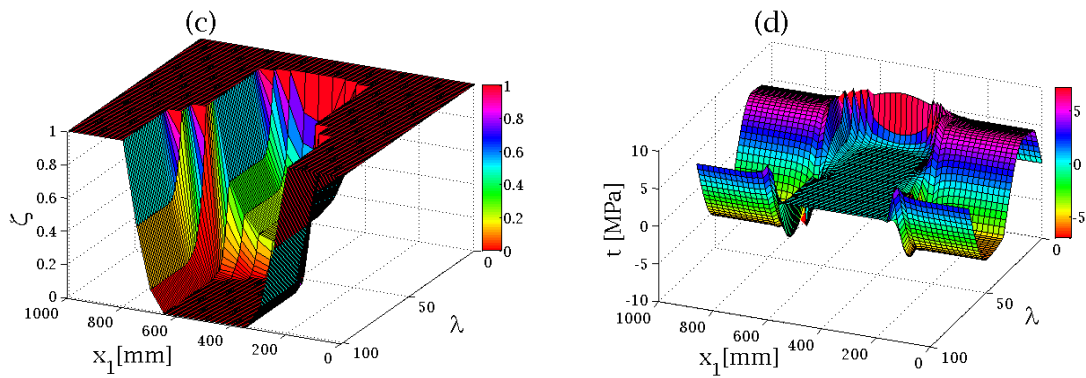


Fig. 4: The cohesive model parameters (c) damage parameter  $\zeta$ , (d) mechanical stress  $\sigma$ .

## 3 Conclusion

The published study yields the comparison analysis of the model response with adhesive and cohesive type contact, respectively. The proposed numerical models for both types of contact confirm the expected response in accordance with the applied theory and enable its applicability in engineering practise.

### Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support from the grant VEGA 1/0201/11.

# NAVRHOVÁNÍ MEMBRÁNOVÝCH KONSTRUKCÍ

## DESIGN OF MEMBRANE STRUCTURES

Rostislav Lang<sup>1</sup>, Ivan Němec<sup>2</sup>

### Abstrakt

Tento příspěvek se věnuje otázce navrhování a výpočtu membránových konstrukcí. V teoretické části bude pojednáno o problematice hledání výchozích tvarů, tedy o takzvané teorii form-finding. V praktické části bude prezentován návrh a výpočet membránové konstrukce zastřešení stadionu na konkrétním příkladu. Tato práce byla vypracována s ohledem na záměr firem Ing. Software Dlubal s.r.o. a FEM consulting s.r.o. vytvořit modul pro hledání výchozích tvarů membránových konstrukcí, jenž by byl následně implementován do softwaru RFEM.

### Klíčová slova

Membránové konstrukce, form-finding, počáteční rovnovážný stav, nelineární výpočet, izotropní pole napětí, ortotropní pole napětí

### Abstract

The subject of this article is the question of design and analysis of membrane structures. The first part of this article deals with the problem of form-finding. It is the problem of searching the initial shape of membrane structure. In the second part of the article an example of design and analysis of the membrane structure of a stadium roof is presented. The work was carried out with respect to the intention of companies Ing. Software Dlubal s.r.o. and FEM consulting s.r.o. to create the module for searching initial shapes of membrane structures, which will be implemented to software RFEM.

### Keywords

Membrane structures, form-finding, initial equilibrium state, nonlinear analysis, isotropic stress field, orthotropic stress field

## 1 Úvod

Při navrhování membránových konstrukcí je určení počátečního tvaru a napjatosti jednou z klíčových otázek. Pro dosažení požadované únosnosti, stability a tvarové stálosti je nutné membránu předeplnout a tím do ní vnést geometrickou tuhost. Orientace radiálních složek předpětí je determinována volenou geometrií konstrukce. U membránových konstrukcí proto nelze oddělit samotný návrh tvaru od statické a dynamické analýzy.

Počáteční rovnovážný stav membránové konstrukce musí zaručit existenci pouze tahových napětí po celou dobu její životnosti. Při žádné kombinaci zatížení nesmí dojít

<sup>1</sup> Ing. Rostislav Lang, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, Brno, lang.r@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> doc. Ing. Ivan Němec, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, Brno, nemec@fem.cz

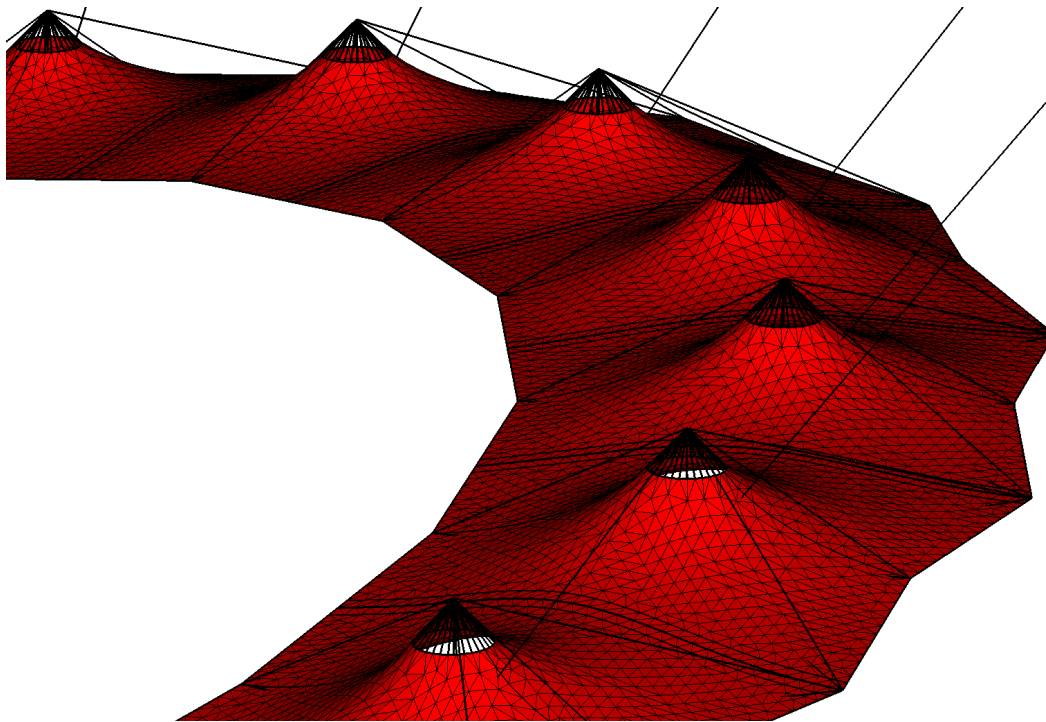
ke vzniku tlakových napětí, jejichž důsledkem by bylo vrásnění, které způsobuje estetické a někdy i statické znehodnocení stavby.

Vlastní tíha membrány je velice nízká a proto příliš nepřispívá ke stabilizaci tvaru, jak tomu může být například u betonových konstrukcí. V procesu hledání počátečního rovnovážného stavu membránové konstrukce tak obvykle vytváříme tvar prostřednictvím požadavku na výsledné napětí. V souvislosti s touto skutečností dochází k hledání takové plochy mezi danými hranicemi, jejíž povrch je minimální. Takovýto tvar má totiž speciální vlastnost, kterou je jeho izotropního předpětí. Pro mnoho případů je tato varianta velice výhodná, protože vykazuje značnou geometrickou tuhost. Jsou však i takové případy, ve kterých tento požadavek vede k chybnému řešení a je nutné najít jiný vhodný tvar. K tomu účelu využíváme předepisování anizotropního (často ortotropního) pole napětí, jehož výsledkem je jiný vhodný tvar membránové konstrukce.

## 2 Návrh a výpočet membránové konstrukce zastřešení stadionu

Cílem praktické části této práce byl návrh a výpočet membránové konstrukce zastřešení stadionu. Bylo nutné uvažovat jak konstrukční a dispoziční, tak i estetické požadavky na uvažovanou stavbu. Vysoká pozornost byla nejdříve věnována návržení nosného lanového systému a následně samotné membráně, kterou tento lanový systém vynáší.

Lanový systém musí zajišťovat jak potřebné statické požadavky, tak i nerušený výhled diváka z tribun. Lanový systém je vynášen na vně stojící sloupy. Potřebné vlastnosti zajišťují vhodně navržené křivosti lan a míra jejich předpětí.



Obr. 1: Část globálního modelu membránové konstrukce

## Literatura

- [1] OTTO, F. and RASCH, B., Finding Form, Edition Axel Menges, 1996. ISBN 978-3930698660. 240 pp.
- [2] FUND, A. I., Form-finding structures, Massachusetts Institute of Technology, 2008

# VÝPOČET ÚNOSNOSTI OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ ZA POŽÁRU

## LOAD BEARING CAPACITY OF STEEL STRUCTURES UNDER FIRE LOADING

Lenka Lausová<sup>1</sup>, Ivan Kološ<sup>2</sup>, Martin Krejsa<sup>3</sup>

### Abstrakt

Příspěvek je zaměřen na výpočet únosnosti ocelových konstrukcí za požáru. Pro řešení těchto úloh je použit nově vytvořený program v programovacím prostředí MATLAB pro výpočet rovinných prutových konstrukcí zatížených vedle silového zatížení také rostoucí teplotou v době požáru. Při výpočtu jsou respektovány změny tepelných i mechanických vlastností materiálu v závislosti na dosažené teplotě v průřezu konstrukce.

### Klíčová slova

Požár, ocelová konstrukce, únosnost, napětí, deformace, nelinearita.

### Abstract

This paper shows a solution of a load bearing capacity of steel structures under fire loading. The newly created program in MATLAB for assessment of plane beam structures under mechanical or fire load was used for solution of selected examples. In the program there were respected changes of material characteristics from growing temperature.

### Keywords

Fire, steel structure, load bearing capacity, stress, strain, nonlinearity.

## 1 Konstrukce zatížené požárem

Při řešení konstrukcí zatížených požárem teplotní deformace na každém prutu zatěžují ostatní části konstrukce. U staticky neurčitých konstrukcí je vazbami v podporách zabráněno teplotní dilataci a v konstrukci následně vznikají vnitřní síly vlivem rostoucí teploty. Při požáru se jedná o nestacionární šíření tepla a tak v závislosti na čase se spolu s teplotou mění nelineárně také mechanické vlastnosti oceli (mez kluzu, modul pružnosti v tahu a tlaku, délková roztažnost) [1]. Vnitřní síly se tedy mění v závislosti na čase požáru vlivem rostoucí teploty a také vlivem klesajícího modulu pružnosti v tahu a tlaku. Průřez konstrukcí může být ohříván rovnoměrně nebo nerovnoměrně jak po výšce průřezu, tak i po délce prutu, což je také potřeba při výpočtu zohlednit.

---

<sup>1</sup> Ing. Lenka Lausová, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděšť 1875, 708 33, Ostrava-Poruba, [lenka.lausova@vsb.cz](mailto:lenka.lausova@vsb.cz)

<sup>2</sup> Ing. Ivan Kološ, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděšť 1875, 708 33, Ostrava-Poruba, [ivan.kolos@vsb.cz](mailto:ivan.kolos@vsb.cz)

<sup>3</sup> doc. Martin Krejsa, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděšť 1875, 708 33, Ostrava-Poruba, [martin.krejsa@vsb.cz](mailto:martin.krejsa@vsb.cz)

## 2 Metody řešení

V rámci disertační práce autora článku je vytvořen software v programovacím prostředí MATLAB pro výpočet rovinných prutových ocelových konstrukcí zatížených vedle silového zatížení také rostoucí teplotou v čase požáru, kde jsou respektovány nelineární změny materiálových charakteristik v závislosti na změně teploty. Nárůst teploty v průřezu je řešen přírůstkovou metodou [2], pro statický výpočet konstrukce je zvolena obecná deformační metoda. Podle teorie I. řádu není zaručen dostatečně přesný výpočet v případě štíhlých prutů namáhaných kombinací tlaku s ohybem. V programu lze tedy použít výpočet pro geometricky nelineární úlohy, ve kterém je postup naprogramován podle teorie II. řádu [3], a je provedeno pružnostní posouzení konstrukce. Předpokladem je řešení přímých prutů stálého, ale ne tenkostěnného průřezu.

Program lze použít obecně pro výpočet vnitřních sil a napětí od libovolného silového a/nebo teplotního zatížení na jakoukoliv konstrukci. Pro ocelové konstrukce lze výpočet provést také pro zatížení požárem, kdy nárůst teploty v průřezu se řídí některou z nominálních teplotních křivek, kdy teplota plynu je závislá pouze na čase trvání požáru.

Teplotní zatížení na konstrukci je možné v programu získat těmito způsoby:

- u ocelových konstrukcí přestupem tepla z teploty plynu v požárním úseku, kdy nárůst teploty plynu je řízen některou z nominálních teplotních křivek (normová, uhlovodíková, křivka pomalého zahřívání, křivka vnějšího požáru) pro průřez nechráněný nebo chráněný protipožární ochranou;
- zadáním přímo na průřez známou hodnotou teploty (rovnoměrná nebo nerovnoměrná teplota po výšce průřezu).

## 3 Závěr

Vytvořený software poslouží k vyhodnocování účinků silového a teplotního zatížení na rovinné prutové konstrukci včetně posouzení konstrukce s uvažováním pružného chování materiálu. Programem lze řešit stacionární a pro ocelové konstrukce také nestacionární teplotní úlohy. Zatížení teplotou v čase požáru se odvíjí v závislosti na volbě typu teplotní křivky a na typu průřezu (chráněný, nechráněný). Pro řešení štíhlých prutů namáhaných kombinací tlaku s ohybem je možné použít geometricky nelineární výpočet.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků v rámci schváleného Specifického výzkumu SP2012/100 a finančního přispění projektu Koncepčního rozvoje vědy a výzkumu Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava 2013.*

## Literatura

- [1] KRÁLIK, J. & KRÁLIK, J. jr. Seismic analysis of reinforced concrete frame-wall systems considering ductility effects in accordance to Eurocode. *Engineering structures*. DEC 2009. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.07.029.
- [2] WALD, F. & kolektiv. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: ČVUT, 2005. 336 pp. ISBN 80-01-03157-8.
- [3] BENDA J. a kol. *Statika stavebních konstrukcí II*. CERM, s.r.o. Brno 1993. ISBN 80-7204-025-1.

# PORUCHY OCELOVÝCH KONŠTRUKCIÍ ZAŤAŽENÝCH TEPLOTOU

## FAILURES OF STEEL STRUCTURES LOADED BY TEMPERATURE

Martin Magura<sup>1</sup>, Ján Brodniansky<sup>2</sup>

### Abstrakt

Nízkocyklová únava materiálu spôsobená nerovnomerným ohriatím konštrukcie je jednou z hlavných príčin porúch konštrukcií v energetickom priemysle. Potrubné konštrukcie, ktorých priemer ku hrúbke steny je do 150, považujeme za ohybovo tuhé nosníky. Ak je tento pomer vyšší hovoríme o konštrukciách škrupinových. Do tejto kategórie je možné zaradiť plynovodné potrubia alebo aj komínové telesá kruhové či štvorcové slúžiace na odvod horúcich spalín.

### Kľúčové slová

nízkocyklová únava, zaťaženie teplotou, komín

### Abstract

Low-cycle thermal fatigue is one of the dominant failure modes in high temperature structural components of energetical industry equipment. Pipelines serve to transport media in liquid state. Ducts, with a ratio of pipe diameter to wall thickness up to 150 are considered as simple beams. Ducts with higher ratio serving to transport gas or exhaust, are considered as shell elements. These ducts can be round shaped or box shaped with large diameters.

### Keywords

thermal stress, low cycle fatigue, uneven temperature, gas-turbine chimney

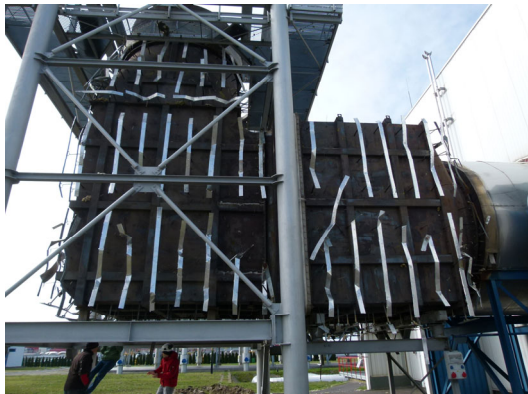
## 1 Úvod

Nízkocyklová únava materiálu spôsobená nerovnomerným ohriatím konštrukcie je jednou z hlavných príčin porúch konštrukcií v energetickom priemysle.

Mnohé konštrukcie zaťažené teplotou majú nesprávne riešené konštrukčné detaily, čo vedie k ich poruchám. Pri diagnostických prehliadkach konštrukcií komínov turbosústrojenstiev (obr.1) boli nájdené závažné poruchy stien, výstuh (obr.2) a prírub vo forme trhlín, ktoré mali značnú dĺžku. V príspevku je uvedený popis porúch, príčin ich vzniku, analýza napätosti v konštrukcii a návrh úprav takýchto porúch. Analyzovaný je výfukový trakt turbosústrojenstva. Posudzované boli časti tlmiča hluku (obr.3), kolena a komína (obr.4) a samotného komína. Na základe prepočtov boli navrhnuté úpravy.

<sup>1</sup> Ing. Martin Magura, STU v Bratislave, Stavebná fakulta, KKDK, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, martin.magura@stuba.sk

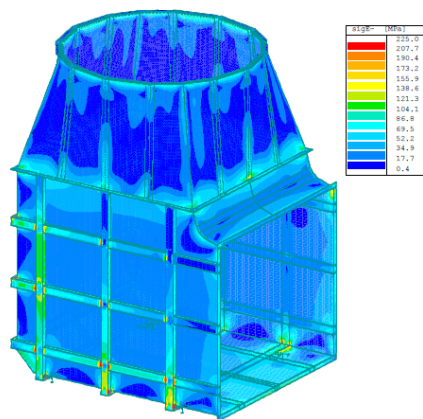
<sup>2</sup> Prof. Ing. Ján Brodniansky, PhD., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, KKDK, jan.brodniansky@stuba.sk



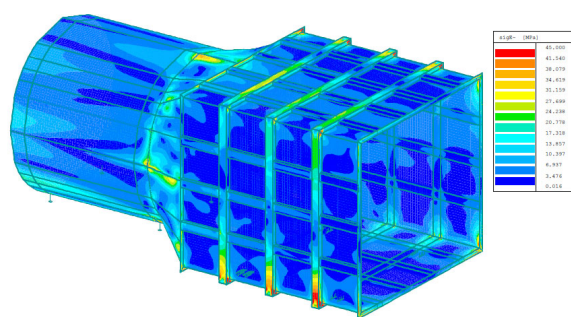
Obr. 1 Posudzovaná konštrukcia



Obr. 2 Detail poruchy výstuh



Obr. 3 Model kolena komína



Obr. 4 Model tlmiča hluku

## 2 Záver

Predložený článok na základe diagnostických prehliadok z praxe poukazuje na dôležitosť návrhu oceľových konštrukcií na účinky nerovnomerného ohriatia konštrukcie. Ukázané sú poruchy, analyzované príčiny ich vzniku a sú navrhnuté opatrenia.

## Pod'akovanie

Projekt bol realizovaný za podpory VEGA 1/0929/12.

## Literatúra

BRODNIANSKY, J., MAGURA, M. *Statický posudok a návrh opravy konštrukcie komína R27MW Stroja R2 na KS02 v lokalite Jablonov*. Vydanie. Bratislava: STU SvF, 2011.



# ACCELERATION WAVE PROPAGATING IN HYPERELASTIC MOONEY-RIVLIN AND ZAHORSKI MATERIALS

Maciej Major<sup>1</sup>, Izabela Major<sup>2</sup>

## Abstract

The paper presents the issues of the propagation of acceleration wave in the cylinder made of hyperelastic incompressible Mooney – Rivlin and Zahorski materials. It is considered the speed of acceleration wave propagation and the shape of the front of propagating surfaces of discontinuity. The analytical results are presented graphically.

## Keywords

acceleration wave, hyperelastic materials, rubber

## 1 Strain analysis

We consider a circular cylinder with the initial radius  $R$  and  $R_1$ , wherein  $R < R_1$ , which is made of incompressible elastic material. We assume the cylindrical material coordinate system  $\{X^\alpha\} = \{R, \Theta, Z\}$  so that the axis  $X^3$  coincides with the axis of the cylinder. For the current configuration we also assume cylindrical coordinate system  $\{x^i\} = \{r, \vartheta, z\}$ . The initial deformation is described by the formulas, according to [3]

$$r = \sqrt{R^2 + c}; \quad \vartheta = \Theta; \quad z = Z \quad (1)$$

where  $c$  is the parameter describing the deformation.

The equation of motion for the initial deformation (1) for incompressible material is in the form (comp. [3])

$$A_i^{\alpha\beta} x_k^k \Big|_{\alpha\beta} + p \Big|_{\alpha} X^{\alpha,i} = 0 \quad (2)$$

The first-order tensor of the material function for the elastic material has the coordinates, (comp. [4]):

$$A_i^{\alpha\beta} = 2\sigma_1 g_{ik} g^{\alpha\beta} + 2\sigma_2 \left[ 2x_i^\alpha x_k^\beta - g_{ik} C^{\alpha\beta} - x_i^\alpha x_k^\beta + (I_1 g_{ik} - B_{ik}) g^{\alpha\beta} \right] + 4\sigma_{11} x_i^\alpha x_k^\beta \quad (3)$$

For further calculations, we assume the Zahorski material determined by the elastic constants  $C_1, C_2, C_3$

$$W(I_1, I_2) = \sigma \rho_R = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) + C_3(I_1^2 - 9) \quad (4)$$

Assuming that  $C_3 = 0$  we obtain the equation for function  $p$  for the Mooney-Rivlin material, comp. [4]. Discussion is limited to axially-symmetric surface of discontinuities  $\Sigma$ . The equation of surface is the following, (see [4]):

$$t = \psi(r, z) \quad (5)$$

<sup>1</sup> M.Major, Ph.D., Czestochowa University of Technology, Department of Building, ul. Akademicka 3, Czestochowa, Poland, e-mail: mmajor@pcz.czest.pl

<sup>2</sup> I.Major, Ph.D., Czestochowa University of Technology, Department of Building, ul. Akademicka 3, Czestochowa, Poland, e-mail: admin@major.strefa.pl

According to [4] acoustic tensor  $q_{ik}$  and reduced acoustic tensor  $q_{ik}^*$  are [4]:

$$q_{ik} = A_i^\alpha k^\beta x^r_\alpha x^s_\beta n_r n_s; \quad q_{ik}^* = q_{ik} - q_{rk} n_i n^r \quad (6)$$

Eigenvalues of reduced acoustic tensor allow to calculate the velocity of propagation:

$$u_1^2 = \frac{1}{2\rho} \left( q_{11}^* + q_{33}^* + \sqrt{\left( q_{11}^* - q_{33}^* \right)^2 + 4 q_{13}^* q_{31}^*} \right)$$

$$u_2^2 = \frac{1}{2\rho} \left( q_{11}^* + q_{33}^* - \sqrt{\left( q_{11}^* - q_{33}^* \right)^2 + 4 q_{13}^* q_{31}^*} \right)$$

$$u_3^2 = \frac{q_{22}^*}{\rho r^2} \quad (7)$$

## 2 Conclusion

Numerical analysis showed differences in the distribution of  $u_3$  speeds between Zahorski and Mooney – Rivlin materials. It is the result of including the non-linear dependence on invariant tensor  $I_1$  in the elastic Zahorski potential.

Also, the determination of the shape of the front of propagating surfaces of discontinuity showed quantitative differences which indicative of a greater curvature of the propagating of the shape of the wave front in the considered cylinder for Zahorski material relative to the Mooney – Rivlin material. With the increase of the time, the curvature of the wave front increases for both study materials.

## References

- [1] MAJOR M., *Velocity of acceleration wave propagating in hyperelastic Zahorski and Mooney-Rivlin materials*, J. Theor. Appl. Mech., 43, 4, 2005, pp. 777-787s, ISSN 1429-2955.
- [2] MAJOR M., MAJOR I., *Fala przyspieszenia w cienkim warstwowym hipersprężystym pręcie*, IV Sympozjon Kompozyty Konstrukcje warstwowe Referaty Wrocław-Karpacz, 105-112, 2006, ISBN 83-7125-149-1
- [3] WESOŁOWSKI Z., *Fala akustyczna w cylindrze odkształconym w sposób skończony*, Rozprawy inżynierskie, 20, (4) 613-628, IPPT PAN, Warszawa, 1972.
- [4] WESOŁOWSKI Z., *Zagadnienia dynamiczne nieliniowej teorii sprężystości*, PWN, Warszawa, 1974.
- [5] ZAHORSKI S., *Doświadczalne badania niektórych własności mechanicznych gumy*, Rozprawy Inżynierskie. Tom 10, (1), 193-207, 1962.

## STATICS ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BY THE EXCLUSION ZONE OF TENSILE STRESSES

Pavol Marton<sup>1</sup>

### Abstract

This paper presented the statics analysis of reinforced concrete beams by the exclusion zone of tensile stresses. The stiffness matrix of multilayered element is derived under the assumption of non-compressibility of layers. When investigating the state of stress and deformation was created element stiffness matrix and stress matrix based on assumptions specific to the layered system.

### Keywords

Beam, multilayer, stiffness, matrix, orthotropic.

### 1 Introduction

Stiffness matrix of layered beam is derived on the assumptions:

- Terms equilibrium of shear stresses on the contact of layers are met,
- Compression of layer in a direction perpendicular to the layers is not envisaged
- Material of layers is homogeneous and is characterized with design orthotropic

### 2 The force variant of finite element method

Stress equation for orthotropic material to the k-th layer is

$$\frac{4}{E_2^k} \frac{\partial^4 F_k}{\partial x^4} + \left( \frac{1}{G_1^k} - \frac{2\nu_1^k}{E_1^k} \right) \frac{\partial^4 F_k}{\partial x^2 \partial z^2} + \frac{1}{E_1^k} \frac{\partial^4 F_k}{\partial z^4} = 0 \quad (1)$$

Stress function satisfies

$$F_k = A_k xy + B_k z^2 + C_k xzy^2 + D_k z^3 + E_k xz^3 \quad (2)$$

The analysis of layered orthotropic beam with rectangular cross section with a continuously variable Young's modulus after section of fig.1.

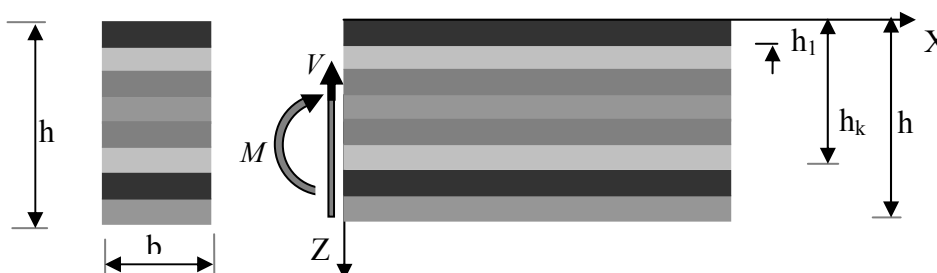


Fig. 1 The computational model of beam with variable modulus of elasticity of layers

<sup>1</sup> Pavol Marton, Doc., Ing., PhD., SvF STU, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, Bratislava, pavol.marton@stuba.sk

### 2.1 The stiffness matrix of the beam

The stiffness matrix of beams is determined by the forces  $V$  and moments  $M$

The stiffness matrix of layered beam has the form

$$[k] = \frac{S}{12S_1 l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.2 The reinforced concrete beam

Equivalent modulus of elasticity of the mixed layer is a weighted mean of the modulus of elasticity of the components – concrete and steel.

Example: Assessment of reinforced concrete plate reinforced unilaterally modeled as a simple beam: Concrete C 12/15, steel B400B, thickness of plate  $h = 140 \text{ mm}$ , bright range  $l = 3,30 \text{ m}$ . The load still  $q = 6,08 \text{ kN/m}$ , the flexural moment  $M_d = 16,30 \text{ kNm}$ .

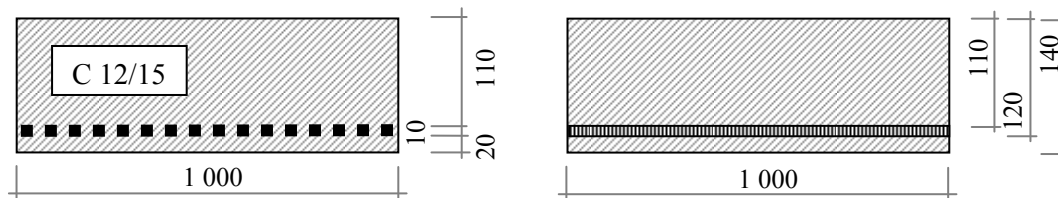


Fig. 2 The reinforced concrete beam

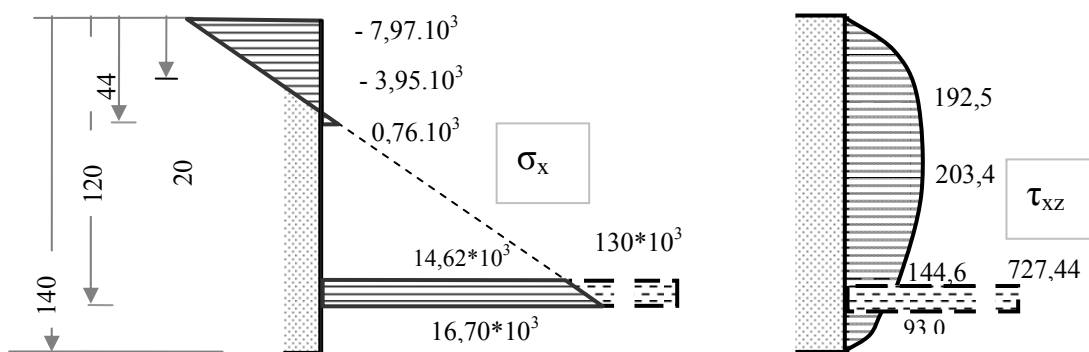


Fig. 2 The computational model of reinforced concrete beam

### 3 Conclusions

Application of the stiffness matrix is suitable to deal with an issue of stress state of multilayer reinforced concrete beams or girders composed of layered material.

### Literature

- [1] MARTON, P. Sanácia balkónovej dosky CFRP výstužou. *Sborník príspevků konference Sanace a rekonstrukce staveb*. Ostrava: 2007. s. 172-175,
- [2] MARTON, P. III-3-4/03.4 Optimalizácia výpočtu nelineárnych viacvrstvových konštrukčných prvkov a systémov, SvF SVŠT, Bratislava 1990

## STATICS ANALYSIS OF MULTILAYER BEAMS IN THE TEMPERATURE FIELD

Pavol Marton<sup>1</sup>

### Abstract

This paper presents the stiffness matrix of a N-layered element derived by author as well as the numerical analysis of N-layered beam system in a field with high temperature performed on the assumption of non-compressibility of layers. When investigating the state of stress and deformation element stiffness matrix was created based on assumptions specific to the layered system.

### Keywords

Beam, multilayer, stiffness, matrix, orthotropic.

### 1 Introduction

Stiffness matrix of layered beam was derived on the assumptions:

- Equilibrium conditions of shear stress on the contact layers are fulfilled
- Compression of layer in a direction perpendicular to the layers was not considered
- Temperature distribution in the beam cross section is assumed non-stationary. Solution of slabs exposed to high temperatures was made by numerical calculation
- Material of layers is homogeneous and is characterized by design orthotropy

### 2 Force variant of finite element Method

Stress equation for orthotropic material to the k-th layer is

$$\frac{4}{E_2^k} \frac{\partial^4 F_k}{\partial x^4} + \left( \frac{1}{G_1^k} - \frac{2\nu_1^k}{E_1^k} \right) \frac{\partial^4 F_k}{\partial x^2 \partial z^2} + \frac{1}{E_1^k} \frac{\partial^4 F_k}{\partial z^4} = 0 \quad (1)$$

Stress function satisfies

$$F_k = A_k xy + B_k z^2 + C_k xzy^2 + D_k z^3 + E_k xz^3 \quad (2)$$

The analysis of layered orthotropic beam with rectangular cross section with a continuously variable Young's modulus after section .

#### 2.1 The stiffness matrix of the beam

According to [17] the stiffness matrix of layered beam has the form

$$[k] = \frac{S}{12 S_1 l^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l & -12 & 6l \\ 6l & 4l^2 & -6l & 2l^2 \\ -12 & -6l & 12 & -6l \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

---

<sup>1</sup> Pavol Marton, Doc., Ing., PhD., SvF STU, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, Bratislava, pavol.marton@stuba.sk

## 2.2 The reinforced concrete beam

The computational model of reinforced concrete beam is a model with five layer.

Equivalent modulus of elasticity of the mixed layer is a weighted mean of the modulus of elasticity of the components – concrete and steel.

## 2.3 The effect of the temperature

The dependence of elastic modulus of concrete and steel on the temperature field defined by STN EN 1922-1-1.

## 2.4 The distribution of temperature in the cross section of the beam

The problem of the distribution of the temperature field is described by the equation

$$[K]\{\Theta\} - \{h\} = \{0\} \quad (19)$$

where  $[K]$  is the matrix of heat conduction

$\{\Theta\}$  vector of temperature distribution

$\{h\}$  source vektor

The computational model for determining the temperature distribution in the cross section of heat-insulated beam towards the edges of the cross-section is shown in Fig. 5.

Example: Calculation of stress unidirectional reinforced-concrete under fire.

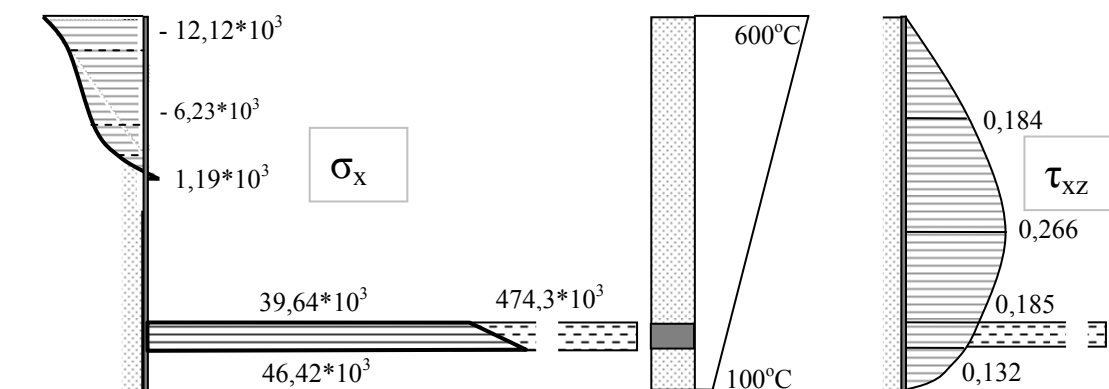


Fig. 1: Chart the course of normal and shear stresses in cross sections with maximum M and V

## 3 Conclusion

The stiffness matrix of the multilayered beam with continuously variable modulus in the layers was applied to a beam of rectangular cross section with constant width and variable modulus of elasticity along the height of the layer.

Application of the stiffness matrix is suitable for analysis of stress state of multilayer reinforced concrete beams or girders composed of layered material whose modulus of elasticity is a function of temperature.

## Literature

- [1] MARTON, P. Sanácia balkónovej dosky CFRP výstužou. *Sborník príspevků konference Sanace a rekonstrukce staveb*. Ostrava: 2007. s. 172-175,
- [2] MARTON, P. III-3-4/03.4 Optimalizácia výpočtu nelineárnych viacvrstvových konštrukčných prvkov a systémov, SvF SVŠT, Bratislava 1990

# VOZIDLO – CESTA RIEŠNIE VO FREKVENČNEJ OBLASTI

## VEHICLE – ROADWAY SOLUTION IN FREQUENCY DOMAIN

Jozef Melcer<sup>1</sup>

### Abstrakt

Pri riešení problémov interakcie vozidlo – cesta vo frekvenčnej oblasti nás okrem iného zaujímajú funkcie frekvenčného prenosu. Predkladaný príspevok je venovaný teoretickému odvodeniu funkcií frekvenčného prenosu pre rôzne výpočtové modely nákladného vozidla a ich numerické vyčíslenie v určitom frekvenčnom pásme.

### Klíčová slova

Vozidlo, cesta, funkcia frekvenčného prenosu.

### Abstract

At the solution of the vehicle – roadway interaction problems in the frequency domain we are interested in the frequency response functions. The submitted paper is dedicated to the theoretical derivation of frequency response functions for various kind of a lorry computing models and their numerical evaluation in certain frequency band.

### Keywords

Vehicle, roadway, frequency response function.

## 1 Úvod

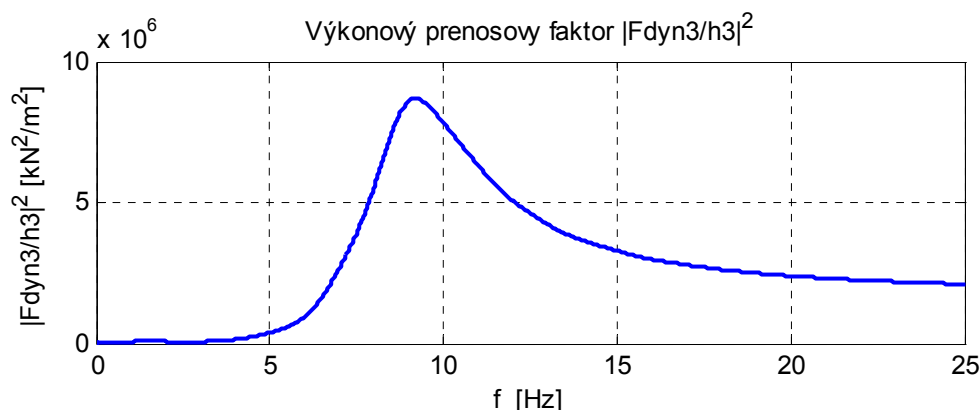
Funkcie frekvenčného prenosu (FFP) vyjadrujú vzťah medzi odozvou a budením dynamického systému v závislosti od hodnoty budiacej frekvencie. V prípade dynamického systému tvoreného vozidlom a vozovkou sú nerovnosti vozovky zdrojom kinematického budenia vozidla. Výpočtové modely vozidiel je možné zvoliť na rôznej kvalitatívnej úrovni – celý priestorový model, polovičný rovinný model, štvrtinový model. Pre tieto výpočtové modely je možné odvodiť rôzne frekvenčné prenosy. V prípade sledovania interakcie vozidlo – cesta nás zaujímajú funkcie frekvenčného prenosu vzťahujúce sa k zložkám posunutí charakteristických bodov vozidla (viažucich sa k stupňom voľnosti výpočtového modelu) a k hodnotám kontaktných síl vznikajúcich medzi kolesom vozidla a jazdnou dráhou. Pre rôzne výpočtové modely vozidla je vhodné sledovať a vzájomne porovnávať takzvané výkonové prenosové faktory (VPF), čo sú druhé mocniny absolútnych hodnôt funkcií frekvenčného prenosu. Dá sa ukázať, že pokiaľ sú výpočtové modely vzájomne dynamicky ekvivalentné, tak funkcie frekvenčného prenosu pre vzájomne si korešpondujúce zložky, sú vzájomne identické. Možností, ako takéto údaje ich získať, je viac. Niektoré sú obsahom predkladaného príspevku. Využitie získaných výsledkov je rôznorodé [1], [2], [3], [4].

---

<sup>1</sup> Prof. Ing. Jozef Melcer, DrSc., Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebném mechaniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, [jozef.melcer@fstav.uniza.sk](mailto:jozef.melcer@fstav.uniza.sk)

## 2 Funkcie frekvenčného prenosu

Funkcie frekvenčného prenosu je možné získať numerickou alebo experimentálnou cestou. Pri numerickom riešení sa prechod z časového do frekvenčného priestoru realizuje na základe nejakej integrálnej transformácie. Najčastejšie sa používa Fourierova alebo Laplaceova integrálna transformácia. Pohybové rovnice, popisujúce daný dynamický problém, sa transformujú z časovej do frekvenčnej oblasti. Z diferenciálnych rovníc tak vzniknú algebraické rovnice v komplexnom tvare, ktoré sa riešia numerickou cestou v určitom záujmovom frekvenčnom pásme. Po vyriešení hľadaných veličín sa odvodí potrebné frekvenčné prenosy, ktoré je najlepšie zobrazit' v grafickom tvare.



Obr. 1: VPF pre dynamickú zložku kontaktnej sily pod predným kolesom vozidla T815

## 3 Záver

Funkcie frekvenčného prenosu poskytujú dôležitú informáciu o vlastnostiach dynamického systému vo frekvenčnej oblasti. Je možné ich získať numerickou alebo experimentálnou cestou.

## Pod'akovanie

*Tento príspevok vznikol s podporou GA MŠSR VEGA, grant č. 1/0259/12.*

## Literatura

- [1] PANULINOVÁ, E. Vplyv rovnosti povrchu vozovky na hladinu hluku z automobilovej dopravy. *Silniční obzor*. Praha, 2001, roč. 62, č. 11/12, s. 275 – 279, ISSN 0322-7154.
- [2] KOTRASOVÁ, K. a KORMANÍKOVÁ, E. Seismic design of liquid storage tank made from composite material. *World Journal of Engineering*. 2008, Vol. 5, No. 3, p. 445-446. ISSN 1708-5284.
- [3] IVÁNKOVÁ, O. Vplyv seizmicity na konštrukčné systémy výškových budov. Medzinárodná konferencia: *Vývoj a aplikácie MKP systémů pro analýzu stavebních konstrukcí*. VÚT Brno, 2003, s. 17.1 – 17.6.
- [4] LAJČÁKOVÁ, G. Interaction in the system vehicle – Roadway. 2<sup>nd</sup> International Conference: *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings*. STU Bratislava, 2003, October 16 – 17, 2003, p.27-30, ISBN 80-227-1958-7.



# NUMERICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ MODEL Y ZATÍŽENÍ OBJEKTU OD ÚČINKŮ PROUDOVÉHO POLE

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL MODELS OF LOAD ON BUILDINGS FROM THE  
EFFECTS OF THE FLOW FIELD

Vladimíra Michalcová<sup>1</sup>, Sergii Kuznetsov<sup>2</sup>, Stanislav Pospíšil<sup>3</sup>

## Abstrakt

Článek popisuje vzájemné porovnání dvou rozdílných řešení standardní úlohy stavební aerodynamiky, tj. zatížení objektu tvaru krychle vystaveného účinkům proudového pole vzduchu. Fyzikální modelování probíhá v aerodynamickém klimatickém tunelu Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AVČR v Telči, numerické modelování je řešeno na Stavební fakultě VŠB TU pomocí software Ansys Fluent.

## Klíčová slova

Aerodynamika, větrný tunel, CFD.

## Abstract

Article describes two different approaches of the solution of typical bluff aerodynamic problem, which is the solution of wind pressures upon the cube exposed to the effects of air flow field. Physical modeling is carried out at the wind tunnel of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics in Telč whereas numerical modeling is performed at the Faculty of Civil Engineering, VSB Technical University of Ostrava of software using Ansys Fluent.

## Keywords

Aerodynamics, wind tunnel, CFD.

## 1 Úvod

Článek má za cíl porovnat výsledky fyzikálního a matematického modelování proudění vzduchu kolem objektu neaerodynamického tvaru. Předmětem vyhodnocení je tlakové zatížení modelu tvaru krychle o hraně 0,24m od účinku proudového pole. Sledovaný objekt představuje tzv. Silsoa krychli v měřítku 1:25. Model objektu umístěný v měřicí sekci aerodynamického tunelu včetně detailu odběru dat je na obr. 1.

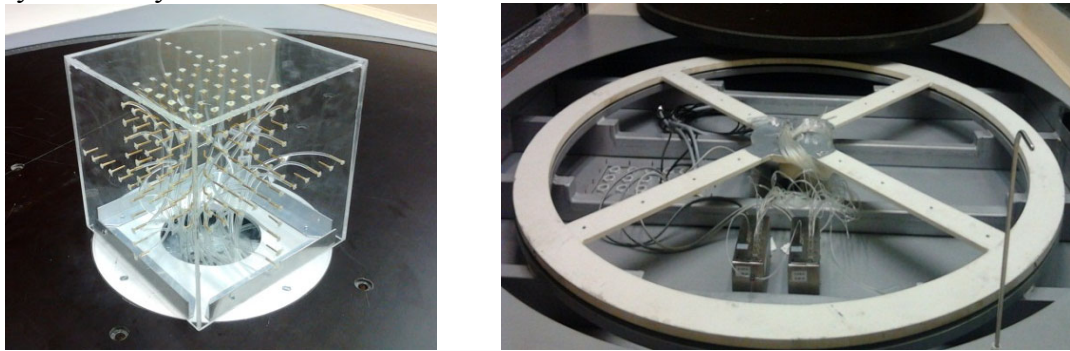
V rámci fyzikálního experimentu <http://cet.arcchip.cz/> bylo modelováno proudové pole s konstantním vertikálním rychlostním profilem 13,5m/s a turbulencí 1%. Tlakové zatížení je definováno pomocí součinitele vnějšího tlaku  $c_{pe}$  po obvodu pláště ve svislém

<sup>1</sup> Ing. Vladimíra Michalcová, Ph.D., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, e-mail: [vladimira.michalcova@vsb.cz](mailto:vladimira.michalcova@vsb.cz).

<sup>2</sup> Prof. Ing. Sergii Kuznetsov, Ph.D., Centrum Excellence Telč, Batelovská 485, 588 56, Telč, tel. +420286882121, e-mail [kuznetsov@itam.cas.cz](mailto:kuznetsov@itam.cas.cz)

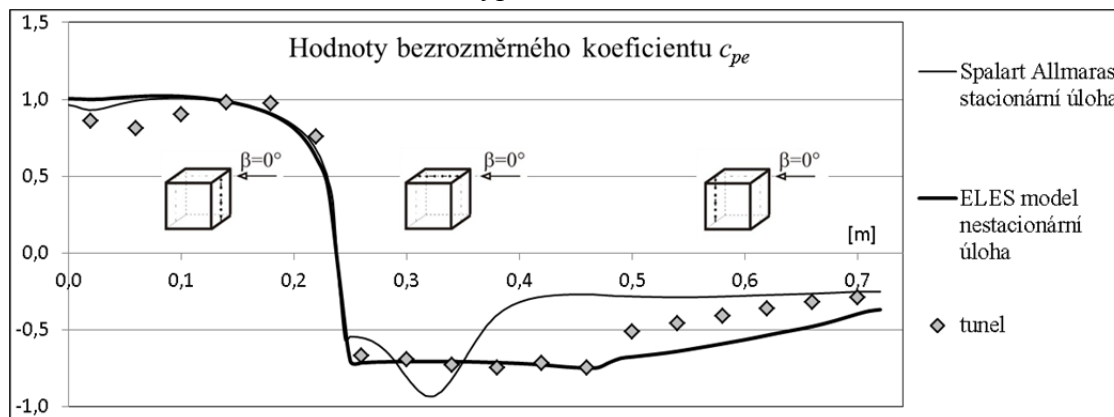
<sup>3</sup> doc.Ing. Stanislav Pospíšil, Ph.D., ÚTAM AV ČR, v.v.i. Prosecká 809/76, 190 00 Praha 9, e-mail: [pospisil@itam.cas.cz](mailto:pospisil@itam.cas.cz).

i vodorovném řezu. Matematické modelování bylo řešeno ve 3D úlohách různými vhodnými modely.



Obr. 1: Model objektu v měřicí sekci a detail měřicí sekce

Na obrázku 2 je průběh  $c_{pe}$  koeficientu po obvodu krychle ve svislém podélném řezu vyhodnocený z fyzikálního experimentu, jedné ze čtyř stacionárních úloh typu RANS (model Spalart Allmaras) a jedné ze dvou nestacionárních úloh typu LES (ELES model). Stacionární modely jsou založeny na modelování izotropní turbulence, vyžadují menší nároky na hustotu sítě, výpočet je rychlý, ovšem pro tento případ úlohy méně vhodný. Proudění kolem objektu neaerodynamického tvaru je silně anizotropní. Tuto vlastnost modelují lépe nestacionární modely typu LES, které mají daleko větší požadavky na hustotu sítě i časovou náročnost výpočtu.



Obr. 2: Hodnoty koeficientu tlakového zatížení

## 2 Závěr

Vyhodnocením výsledků byla prokázána složitost modelovaného děje, v některých oblastech bylo dosaženo poměrně dobré shody, u ostatních byla v rámci možnosti vysvětlena příčina rozdílných výsledků. Popisovaná práce je dílčím úkolem projektu, který má za cíl vytvoření numerických i experimentálních nástrojů pro řešení turbulentního proudění větru v mezní vrstvě atmosféry. Na základě zkušeností z této úlohy bylo zahájeno fyzikální i matematické modelování obtékání sledovaného objektu ve vysoce turbulentním prostředí.

## Poděkování

Článek vznikl s podporou projektu CZ.1.05/1.1.00/02.0060, který je spolufinancovaný z Evropského fondu pro regionální rozvoj.

# NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ PROLAMOVANÉHO NOSNÍKU

## NUMERICAL MODELING OF CASTELLATED BEAM

David Mikolášek<sup>1</sup>, Oldřich Sucharda<sup>2</sup>, Jiří Brožovský<sup>3</sup>

### Abstrakt

Příspěvek se zabývá modelováním chování prolamovaného nosníku. Ve výpočtech je také zohledněna imperfekce. Výpočty zahrnují konečněprvkové modely a normový výpočet. Hlavním cílem příspěvku je provedení případové studie pro určení součinitelů klopení a popis průběhu napět'ových stavů na profilu.

### Klíčová slova

Prolamovaný nosník, klopení, metoda konečných prvků, analýza, výpočetní modely.

### Abstract

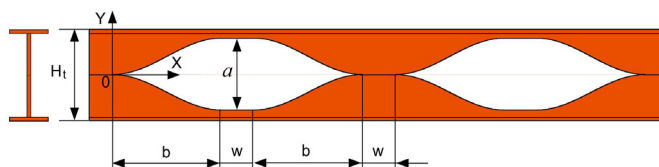
This paper deals with modeling of the behavior of castellated beam. The calculations also take into account the imperfections. The solution incorporates finite element models and standardized calculation. The main contribution shall aim is to undertake case studies to determine the coefficients of lateral buckling and description of the stress state of the profile.

### Keywords

Castellated beam, roll, finite element analysis, computational model.

## 1 Úvod

V dnešní době nových technologických možností ve výrobě ocelových profilů je možné vytvářet rozmanité tvary ocelových nosníků. Toto vede k značným odlišnostem v přístupech k výpočtu těchto nově vzniklých nosných prvků, protože norma neposkytuje plný popis chování těchto ocelových profilů.



Obr. 1: Obecná geometrie prolamovaného nosníku Angelina [1]

Z těchto důvodů je vhodné využít numerické analýzy. Příspěvek má za cíl stanovit pro vybraný prolamovaný nosník hodnoty součinitelů klopení a najít způsob modelování

<sup>1</sup> Ing. David Mikolášek, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32 1391, e-mail: david.mikolasek@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Oldřich Sucharda, Ph.D., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Podéště 1875, CZ70833, Ostrava, e-mail: oldrich.sucharda@vsb.cz.

<sup>3</sup> Doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 321, e-mail: jiri.brozovsky@vsb.cz.

atypických prolomených nosníků tak, aby bylo možno tyto vztahy a doporučení použít pro širší spektrum nestandardních ocelových prolamovaných nosníků. Provedené modely jsou počítány pouze numericky a kontrolovány normovými postupy [2, 3, 4] a pomoci základních vztahů pružnosti a statiky.

## 2 Popis prolamovaných ocelových nosníků

Prolamovaný nosník zobrazený na obr. 1 byl řešen jako staticky určitá konstrukce prostého nosníku. V případě testování vzájemného spolupůsobení ohybového momentu a posouvající síly jako konzola. Tento prolamovaný nosník vychází z výrobní řady firmy ArcelorMittal a jeho hlavní výhodou je velikost prostupů ve stojině nosníku. Tato skutečnost je výhodná zejména pro rozvod instalací pod stropní konstrukcí. Pro numerické modely a jejich modifikace byl vybrán jeden typ tvaru výřezu ve stojině a jeden původní válcovaný profil IPE 270 oceli S235 tvořící základní hmotu prolamovaného nosníku.

## 3 Závěr

Príspevek se zabývá určením součinitelů klopení pro vybraný prolamovaný nosník Angelina, kdy se výpočty provedly s numerickými modely v programu ANSYS [5] a SCIA [6], které byly doplněny o normový postup výpočtu. Pro vybraný případ prolamovaného nosníku Angelina byla zjištěna dobrá shoda mezi numerickými modely a normovým výpočtem. U prolamovaného nosníku byly sledovány také napěťové stavy v oblastech výřezů, kde dochází ke koncentracím napětí. Další práce se zaměří na rozšíření studie o další typy nosníku Angelina a na modelování těchto nosníků ve stropních konstrukcích ve spojení s betonem nebo dřevem.

## Poděkování

*Práce byly podporovány z prostředků koncepčního rozvoje vědy, výzkumu a inovací přidělených VŠB-TU Ostrava Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky pro rok 2013.*

## Literatura

- [1] Angelina TM, ArcelorMittal [online]. 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupný z WWW: <[http://www.constructalia.com/english/products/structures/steel\\_sections\\_and\\_merchant\\_bars/cellular\\_and\\_castellated\\_sections/angelina\\_tm\\_castellated\\_steel\\_beam\\_with\\_sinusoidal\\_openings](http://www.constructalia.com/english/products/structures/steel_sections_and_merchant_bars/cellular_and_castellated_sections/angelina_tm_castellated_steel_beam_with_sinusoidal_openings)>.
- [2] ČSN EN 1993-1-5, *Eurokod 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Broušení stěn*. Praha: Český normalizační institut, 56 s., 2008.
- [3] ČSN EN 1993-1-6, *Eurokod 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-6: Pevnost a stabilita skořepinových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 88 s., 2008.
- [4] ČSN EN 1993-1-7, *Eurokod 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-7: Deskostěnové konstrukce příčně zatížené*. Praha: Český normalizační institut, 44 s., 2008.
- [5] RELEASE 11 DOCUMENTATION FOR ANSYS, SAS IP, INC., 2007.
- [6] Scia Engineer [online]. 2012 [cit. 2012-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.scia-online.com>>.

# PRENOS VIBRÁCIÍ KONŠTRUKCIOU TRATE PRI PREJAZDE VLAKOV

## VIBRATION TRANSMISSION DUE TO MOVING TRAINS

Milan Moravčík<sup>1</sup>

### Abstrakt

Analyzuje sa prenos vibrácií a ich tmenie v konštrukcii trate, ktorá je dynamicky zaťažovaná opakovanými prejazdmi vlakov. Aplikovaná je experimentálna analýza prejazdov charakteristických vlakov osobnej dopravy, ktorá je vyhodnocovaná vo frekvenčnej oblasti  $f = (0 \div 500\text{Hz})$ . Hľadali sa dominantné frekvencie ovplyvňujúce kmitania koľajníc, podvalov, štrkového lôžka a zemného telesa trate.

### Kľúčové slova

Experimentálna analýza, frekvenčná analýza, kmitanie trate.

### Abstract

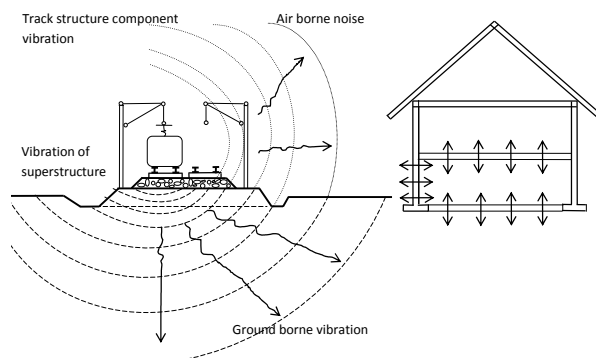
The transmission of vibration and damping in the track, which is dynamically loaded by repeated passage of trains is analyzed. Experimental analysis for the passages of passenger train which is evaluated in the frequency domain  $f = (0 \div 500\text{Hz})$ . The influence of dominant frequency phenomena on the rails, sleepers, ballast bed, and ground vibration is investigated experimentally.

### Keywords

Experimental analysis, frequency analysis, vibration of track..

## 1 Úvod

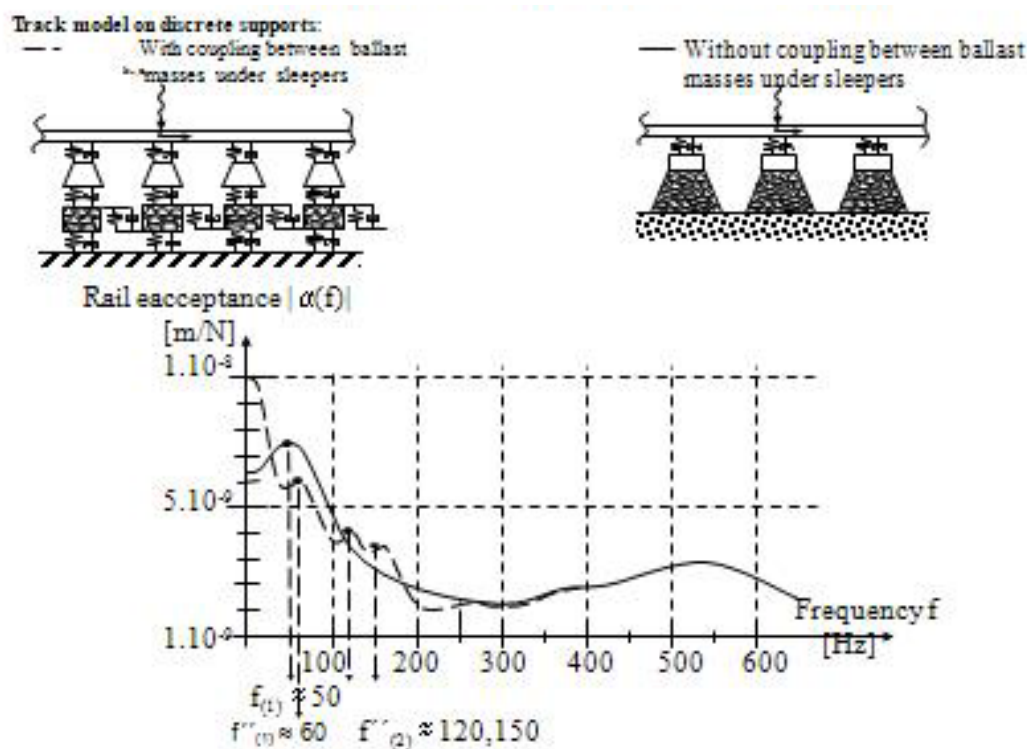
Príspevok je venovaný na prenos vibrácií konštrukciou trate, resp. jej hlavných prvkov, ktoré je vyvolané celým radom budiacich zdrojov a na dynamické javy spojené so šírením deformačných vln v konštrukcii trate, obr.1.1.



Obr.1.1 Vibrácie konštrukcie trate, prenos podloží a hlukové zaťaženie v okolí tratí.

<sup>1</sup> Milan Moravčík, Žilinská univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, [mimo@fstav.uniza.sk](mailto:mimo@fstav.uniza.sk)

Typické závislosti dynamickej poddajnosti  $\alpha(f)$  pre rovinný model trate, pre nízke a stredné frekvencie re prezentované na obr. 1.2 sú porovnávané s experimentálnymi meraniami dynamickej odozvy trate aplikovanými na koľajnice, podvaly, štrkové lôžko a zemné teleso trate. Hlavným cieľom je zameraný na hodnotenie tlmenia dynamickej účinkov konštrukciou trate ako dôsledok interakčných síl  $P^{w/r}(t)$  vznikajúcich na styku koleso-koľajnica a prenášaných konštrukciou trate:



Obr.1.2 Typické závislosti poddajnosť trate  $\alpha(f)$  pre nespojené (—) štrkové lôžko pod podvalmi - riešenie KSM [3] a spojené spolukmitajúce štrkové lôžko (---) podľa [2], (obr.1.3b), pre diskretný rovinný model trate.

Zo závislosti na obr.1.2 môžeme usudzovať na náchylnosť rezonančného kmitania v konštrukcii trate. Vidíme, že rozhodujúce frekvenčné zložky ležia v nízkofrekvenčnej oblasti:  $f = (4 \div 80\text{Hz})$ . Tieto vibrácie sa šíria z miesta styku koleso – koľajnica, ktoré však je v pohybe, cez koľajnice, podvaly štrkové lôžko a zemné teleso trate do okolia tratí, kde nepriaznivo pôsobia na životné prostredie, obr.1.1. Experimentálna analýza odhalila skutočné rezonančné oblasti a dominantné frekvencie kmitania komponentov trate.

## Pod'akovanie

Príspevok vznikol za finančnej podpory Grantovej agentúry VEGA-MŠ SR – Registračné číslo projektu 1/0517/12.

**PARAMETRICKÁ STUDIE ODEZVY KONTEJNMENTU  
NA ZATÍŽENÍ NÁRAZEM LETADLA**  
PARAMETRIC STUDY OF THE STRUCTURAL RESPONSE  
OF NPP CONTAINMENT TO IMPACT LOADING

Ivan Němec<sup>1</sup>, Šárka Sychrová<sup>2</sup>

### Abstrakt

Prezentovaný článek je příspěvkem k celosvětové diskusi týkající se bezpečnosti jaderných elektráren, která zesílila po katastrofě v JE Fukushima Daiichi. Byla provedena parametrická studie pro různé materiály, tloušťky stěny kontejnmentu a různé rychlosti letadla před nárazem. Pro účely vyhodnocení poškození konstrukce byla sledována maximální trvalá deformace a rozsah plastického přetvoření kontejnmentu. Jedním z cílů práce bylo ověření možnosti použití explicitní metody pro analýzu rychlých dynamických jevů v programu RFEM.

### Klíčová slova

Explicitní metoda, náraz letadla, metoda konečných prvků, rozsah poškození, nelineární dynamika, RFEM.

### Abstract

The presented article is a contribution to the discussion concerning nuclear safety which has intensified after the Fukushima Daiichi nuclear disaster. A parametric study concerning various materials, containment wall thicknesses and different aircraft speeds before impact was performed. Containment damage was evaluated by means of the value of permanent deformation and plastic strain extent. The purpose of this study was also to foster experiential suggestions for improving the explicit method in the RFEM program in order to release it for RFEM users.

### Keywords

Explicit method, damage extent, finite element method, plane impact, nonlinear dynamics, RFEM.

## 1 Analýza poškození kontejnmentu

Tvar a rozměry konstrukce kontejnmentu byly stanoveny podle kontejnmentu JE Bushehr v Íránu. Dopadající letadlo odpovídá Boeingu 737. Byly uvažovány dvě materiálové varianty: ocelová a železobetonová konstrukce kontejnmentu. Tloušťky stěny byly v případě železobetonového kontejnmentu voleny z intervalu od 0.5 m do 1.8 m a v případě ocelového kontejnmentu z intervalu od 0.05 do 0.16 m. Rychlost letadla

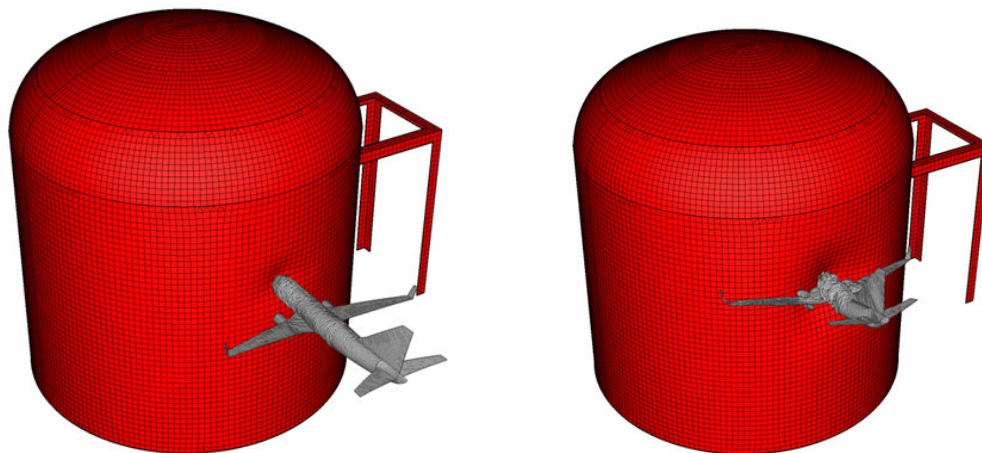
---

<sup>1</sup> doc. Ing. Ivan Němec, CSc, Institute of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veveří 95; 602 00, Brno; Czech Republic, tel. (+420) 541 147 373, e-mail: [nemec@fem.cz](mailto:nemec@fem.cz)

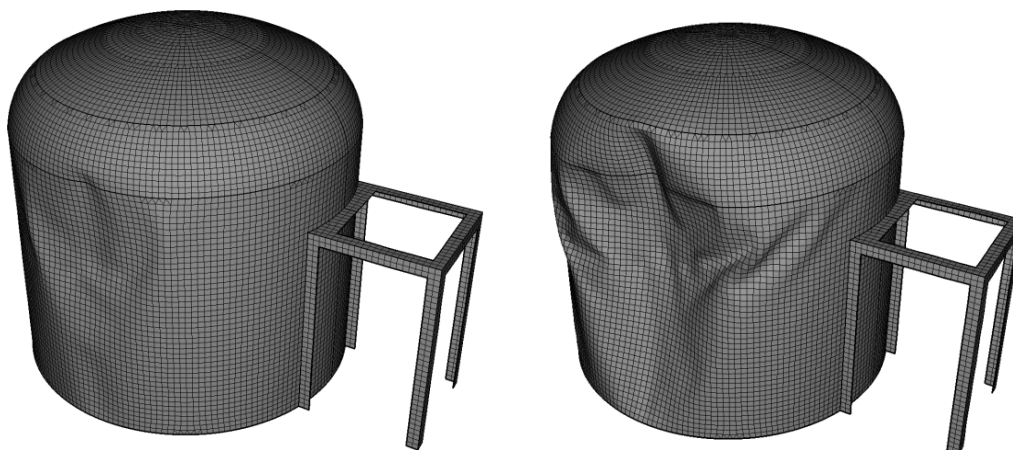
<sup>2</sup> Ing. Šárka Sychrová, Institute of Structural Mechanics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Veveří 95; 602 00, Brno; Czech Republic, tel. (+420) 541 147 373, e-mail: [sychrova@fem.cz](mailto:sychrova@fem.cz)

před nárazem 500 km/h byla zvolena pro simulaci náhodného nárazu a rychlost 867 km/h (maximální rychlost Boeingu 737) měla představovat úmyslný náraz.

Grafické reprezentace některých výsledků jsou uvedeny na obr. 1 a 2.



Obr.1 Náraz letadla do kontejneru v reálném čase 0.05 a 0.25 s



Obr.2 Trvalá deformace ocelového kontejneru s tloušťkou stěny 0,05 m pro rychlost letadla před nárazem 500 km/h a 876 km/h

## 2 Závěr

Prezentovaná studie dokazuje možnost použití programu RFEM pro nelineární analýzu rychlých dynamických jevů. Výsledky parametrické studie je možné použít při odhadu poškození stávajících konstrukcí podobného typu nebo při navrhování nových konstrukcí především ve fázi předběžného návrhu.

## Literatura

- [1] NĚMEC I., et al., *Finite Element Analysis of Structures - Principles and Praxis*, 1<sup>st</sup> ed., Shaker Verlag, Aachen, 2010. 635 pp. ISBN 978-3-8322-9314-7.
- [2] Králik J. Stress Test of the NPP Safety in Slovakia after Accident in Fukushima, *Modelování v mechanice 2012*, Ostrava 2012, pp. 11-13, ISBN 978-80-248-2694-3



# NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ TLAČENÝCH PRUTŮ Z VRSTVENÉHO KONSTRUKČNÍHO SKLA

NUMERICAL MODELING OF COMPRESSION MEMBERS MADE OF LAMINATED STRUCTURAL GLASS

Ondřej Pešek<sup>1</sup>, Jindřich Melcher<sup>2</sup>

## Abstrakt

Příspěvek pojednává o návrhu tlačných prutů z monolitického i vrstveného konstrukčního skla. Skleněné tlačné pruty jsou analyzovány pomocí numerických modelů provedených v programech RFEM a ANSYS s uvažováním proměnné hodnoty modulu pružnosti ve smyku mezivrstvy. Získané hodnoty kritických sil, napětí a deformací jsou potom porovnávány s hodnotami z analytického výpočtu.

## Klíčová slova

Tlačný prut, vrstvené sklo, polyvinyl butyralová folie, počáteční imperfekce, analytické řešení, metoda konečných prvků.

## Abstract

This paper deals with design of compression members made of monolithic and laminated structural glass. Glass columns are analyzed by numerical models made in RFEM and ANSYS software with consideration of variable value of the interlayer shear modulus. The obtained elastic critical forces, stresses and deflections are compared with the values from the analytical calculation according to the second order theory.

## Keywords

Compression member, laminated glass, polyvinyl butyral foil, initial imperfection, analytical solution, finite elements method.

## 1 Úvod

Sklo je téměř dokonale pružný materiál ( $E = 70 \text{ GPa}$ ,  $\nu = 0,23$ ) [1]. Z důvodu dosažení bezpečnosti, větších průřezů a pokritické únosnosti se používá vrstvené sklo, které vznikne prokládáním dvou nebo více skleněných tabulí mezivrstvami. Jako materiál mezivrstvy se nejčastěji používá polyvinyl butyralová folie. PVB folie je viskoelastický materiál, její vlastnosti silně závisí na teplotě a době trvání zatížení ( $G_{\text{int}} = 4 \text{ až } 0 \text{ MPa}$ ,  $\nu \approx 0,5$ ). Byla provedena parametrická studie zaměřená zejména na vliv modulu pružnosti ve smyku na kritickou vzpěrnou sílu, normálová napětí a deformace skutečných prutů s uvažováním počátečních geometrických imperfekcí – zakřivení prutu. Tvar zakřivení byl volen jako první vlastní tvar prutu.

<sup>1</sup> Ing. Ondřej Pešek, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Veveří 331/95, 602 00 Brno, pesek.o@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Veveří 331/95, 602 00 Brno, melcher.j@fce.vutbr.cz

## 2 Analýza tlačných prutů z monolitického a vrstveného skla

Vzpěrnou únosnost je možné určit v zásadě třemi způsoby: numerickým modelováním, analytickým výpočtem podle teorie druhého řádu nebo přístupem využívajícím křivky vzpěrné pevnosti.

Numerická analýza prutů z vrstveného skla podle teorie velkých deformací (geometricky nelineární analýza) byla prováděna v programech ANSYS a RFEM s využitím prostorových konečných prvků jak pro skleněné tabule, tak pro mezivrstvy.

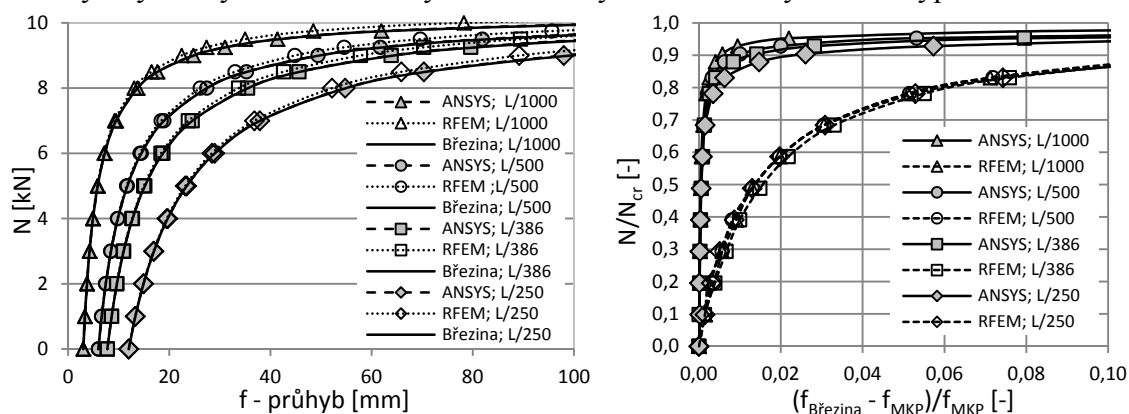
Březina [2] uvádí vztahy pro analytické vyčíslení deformací a napětí. Velikost průhybu uprostřed délky tlačného prutu s uvážením počátečního zakřivení prutu a mimostřednosti zatížení se určí podle rovnice (1) následovně:

$$f(w_0 + e_0)_{L/2} = e_0 \left( \frac{1}{\cos(L/2) \cdot \sqrt{N/EI_z}} - 1 \right) + w_0 \frac{N}{N_{cr} - N} \quad (1)$$

Pružná kritická síla prutů z vrstveného skla se určí jako pro monolitický průřez, přičemž se za moment setrvačnosti dosadí jeho efektivní hodnota, která závisí mimo jiné na modulu pružnosti ve smyku mezivrstvy a na tloušťce mezivrstvy.

## 3 Výsledky

Na Obr. 1 vlevo je zobrazena závislost průhybu na zatížení určená numerickými modely a teoretickými vztahy. V pravé části jsou zobrazeny rozdíly mezi teorií a matematickými modely. Výsledky ANSYSu se výrazně blíží výsledkům analytického výpočtu.



Obr. 1: Porovnání deformací podle numerických modelů a analytického výpočtu

## Poděkování

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky - registrační číslo projektu GAČR P105/12/0314 a v rámci projektu specifického výzkumu VUT v Brně FAST-J-13-2036.

## Literatura

- [1] HALDIMANN, M., LUIBLE, A., OVEREND, M. *Structural Use of Glass*. Zurich: ETH Zurich, 2008. ISBN 3-85748-119-2. 215 s.
- [2] BŘEZINA, V. *Vzpěrná únosnost kovových prutů a nosníků*. Praha: Československá akademie věd, 1962. 384 s.
- [3] PEŠEK, O., MELCHER, J. Study of Behaviour of Beams and Panels Based on Influence of Rigidity. *Procedia Engineering*, Podbanské: Elsevier, 2012, č. 40, s. 363-368. ISSN 1877-7058.

# NEW CLIMATIC WIND TUNNEL FOR STRUCTURAL AERODYNAMICS

Stanislav Pospíšil<sup>1</sup>, Radomil Král<sup>2</sup>, Sergii Kuznetsov<sup>3</sup>

## Abstract

The paper describes new climatic wind tunnel laboratory. As a separate unit of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Science of the Czech Republic, the tunnel will be used for fundamental research in engineering problems within civil engineering, architecture, heritage care and in other fields where wind effects appear along with further factors. The paper presents essential information about the interior layout of the tunnel together with the description of advanced facilities serving for simulation of a strong wind, rain, freeze and the heat radiation. Using two different methods, the principal parts of the tunnel are designed taking into account both the optimal flow characteristics and flow resistance.

## Keywords

Climatic Tunnel, Flow Resistance, Aerodynamics, Tunnel Testing.

## 1 Introduction

New climatic wind tunnel laboratory was founded in spring 2012 within the project “Centrum Excellence Telč” (CET). It has been named after eminent Czech physicist Vincenc Strouhal. CET research center creates a separate unit of the Institute of Theoretical and Applied mechanics of the Academy of Science of the Czech Republic.

The aerodynamic/climatic tunnel simulates a strong wind, rain, freeze and solar heat radiation. This facility will serve basically for investigation of climatic effects on historical buildings and monuments. Because of unique combination of the aerodynamic working section and climatic chamber, the tunnel offers investigation of mutual interaction of several physical phenomenon at the same time ever at constant laboratory conditions. The similar climatic laboratory resides in France only.

Vincenc Strouhal tunnel will be used for fundamental research in aeroelasticity, aerodynamic instability prediction, fluid-structure interaction and also an interaction of the wind with influences of climatic parameters. It can be a significant tool for scientific work in many engineering problems within civil engineering, architecture, heritage care and in other fields where wind effects appear along with further factors, e.g. glaze ice or water penetration into materials. Other application, for example sport branch or assessment of comfort level can not be excluded as well.

The fan is powered by 200kW motor, it delivers a possibility to reach the wind velocity of more than 30 m/s. The tunnel is equipped with simulators of climatic effects.

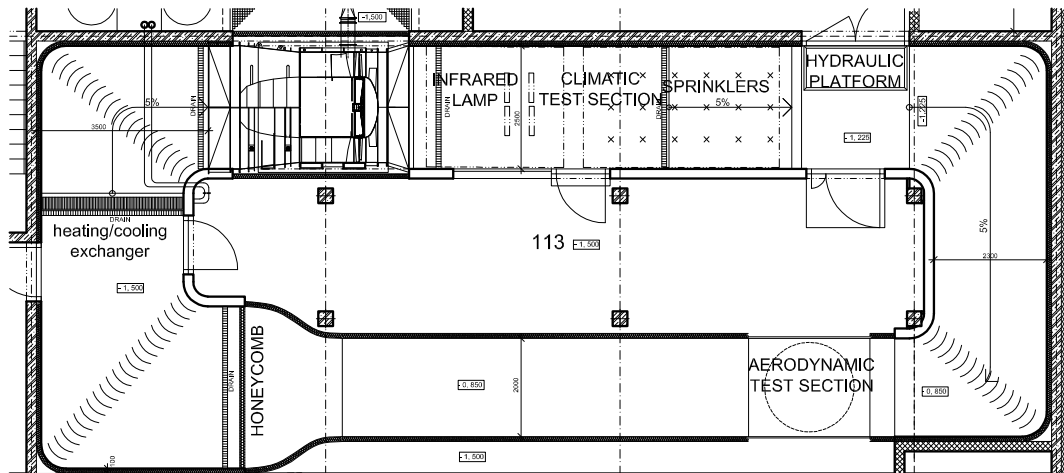
---

<sup>1</sup> Doc.Ing.Stanislav Pospíšil, Ph.D, Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Prosecká 76, 190 00 Prague 9, tel. +420286882121, e-mail [pospisl@itam.cas.cz](mailto:pospisl@itam.cas.cz)

<sup>2</sup> Ing. Radomil Král, Ph.D, Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Prosecká 76, 190 00 Prague 9, tel. +420286882121, e-mail [kral@itam.cas.cz](mailto:kral@itam.cas.cz)

<sup>3</sup> Prof. Ing. Sergii Kuznetsov, Ph.D, Centrum Excellence Telč, Batelovská 485, 588 56, Telč, tel. +420286882121, e-mail [kuznetsov@itam.cas.cz](mailto:kuznetsov@itam.cas.cz)

Using the cooling/heating exchanger cycle temperature changing of the airflow is available within the range of  $-5$  to  $30^{\circ}\text{C}$  in relatively short time. Furthermore, the laboratory provides rain simulators and infrared lamps that allow loading the structures by rain and heat radiation, respectively. Integral part of the tunnel equipment consists of instruments for airflow diagnostic, data acquisition system, direct pressure surface measurement, precise thermometry and of many other types of handy accessories for instant use.



Obr. 1: Ground plan of the wind tunnel laboratory. It is designed in oval closed shape adapted for aerodynamic and climatic testing, respectively.

## 2 Conclusion

The full paper will present the description of the new-built laboratory facility developed for a fundamental research in engineering problems related to study of wind and climatic effects on structures. The full paper will also be describing the pressure losses determination and other important design issues. The unique wind climatic tunnel uses a combination of two working sections. This arrangement takes an advantage in wide universality and adaptability to experimental demands. Besides interior layout tunnel description, the article will focus on the description of flow resistance of essential tunnel parts [1], [2], [3]. According to the design guide and computational fluid dynamic model, pressure development along the longitudinal centerline was identified that provided a reference material with required pressure gain of the fan.

## Acknowledgement

*The support of the project CZ.1.05/1.1.00/02.0060 is gratefully acknowledged.*

## Reference

- [1] BARLOW, J., RAE, W. H. & POPE, A. *Low-Speed Wind Tunnel Testing*. John Wiley & Sons, 1999, USA.
- [2] FRIED, E. & IDELCHIK, I. E.: *Flow Resistance: A Design Guided for Engineers*. Taylor & Francis, 1998, London.
- [3] TEZDUYAR T. E. Stabilised Finite Element Formulations for Incompressible Flow Computations. *Advances in Applied Mechanics*, volume 28, 1–44.

# ANALÝZA TEPLOTNÍHO POLE VYBRANÝCH KONSTRUKCIÍ V JEJICH RANNÉM STÁDIU

TEMPERATURE FIELD ANALYSYS OF CHOSEN STRUCTURES  
IN THEIR EARLY STAGE

Ivan Prcúch<sup>1</sup>, Miroslav Ignačák<sup>2</sup>, Július Šoltész<sup>3</sup>

## Abstrakt

Cieľom príspevku je prezentácia termodynamického modelu pomocou, ktorého je možné vyšetriť priebeh teploty v ľubovoľnom čase a mieste základovej dosky, podlahy resp. cementobetónovej vozovky v ich rannom štádiu. Zaujímavosťou danej úlohy je, že na statickú úlohu, ktorou je vyšetrovanie vzniku trhlín na betónovej konštrukcii, má v rannom štádiu vplyv najmä zloženie betónu, klimatické vplyvy a spôsob ošetrovania.

## Klíčovú slova

Biele vane, priemyselná podlaha, cementobetónová vozovka, MKP, teplotné zaťaženie.

## Abstract

The aim of this article is to present a thermodynamic model. By using this model it is possible to calculate the development of temperature at any time and place of base a slab, industrial floor or concrete pavement at the early stage. An interesting fact of the static problem, which is investigation of cracks in concrete structures, is that an investigating is at an early stage is influenced especially by the composition of the concrete, climate impacts and method of treatment.

## Keywords

White basin, industrial floor, concrete pavements, FEM, thermal load.

## 1 Úvod

Pri betonáži základových dosiek, priemyselných podláh a cementobetónových krytov vozoviek zohráva dôležitú úlohu mnoho faktorov. V uvedených konštrukciách je mnohokrát snaha navrhnúť konštrukciu tak, aby trhliny nevznikli vôbec, respektíve vznikli len trhliny s limitovanou šírkou. Cieľom príspevku je prezentácia termodynamického numerického modelu pomocou, ktorého je možné vyšetriť priebeh teploty v ľubovoľnom čase a mieste základovej dosky, podlahy resp. cementobetónového krytu vozovky v ich rannom štádiu. Následne je možné vyšetriť riziko vzniku trhlín.

<sup>1</sup> Mgr. Ivan Prcúch, PhD, iprcuch@gmail.com

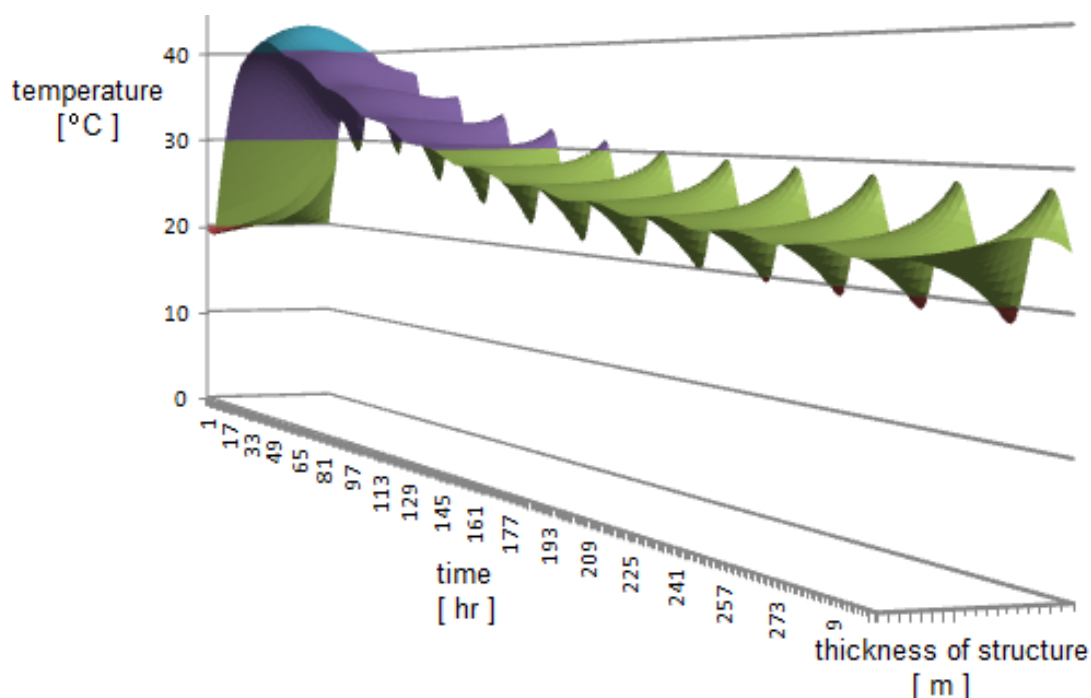
<sup>2</sup> Ing. Miroslav Ignačák, STU Bratislava, Stavebná fakulta, KBKM, Radlinskeho 11 813 68 Bratislava, miroslav.ignacak@stuba.sk

<sup>3</sup> Doc. Ing. Július Šoltész, STU Bratislava, Stavebná fakulta, KBKM, Radlinskeho 11 813 68 Bratislava, soltesz@svf.stuba.sk

## 2 Výpočtový model

Výpočtový model pracuje na báze metódy konečných prvkov pričom cieľom úlohy je numerické riešenie jednorozmerného nestacionárneho vedenia tepla s vnútornými zdrojmi, ktoré v danom prípade reprezentuje uvoľnené hydratačné teplo. Model zároveň vhodným spôsobom zohľadňuje klimatické vplyvy, tepelnú ochranu konštrukcie, technologické vplyvy a vlastnosti podložia.

Celý algoritmus vychádza zo známej diferenciálnej rovnice popisujúcej nestacionárne teplotné pole vo všeobecnom ortotropnom telese. Rovnicu je možné značne zjednodušiť vzhľadom na jednorozmernosť predmetnej úlohy. Následne boli zavedené vhodné okrajové podmienky (kontakt zemina-ustálená teplota, kontakt betón-vzduch, kontakt tepelná izolácia-vzduch). Termodynamický model rozdeľuje konštrukciu po hrúbke na 45 konečných prvkov ( 5 k.p. – tepelná ochrana, 20 k.p. – betónová konštrukcia, 20.k.p. - zemina).



Obr. 1: Vývoj teploty v základovej doske

## 3 Záver

Hodnoty vypočítané numericky pomocou popisovaného modelu sú porovnané s dátami získanými experimentálne na reálnych stavbách. Zaujímavosťou danej úlohy je, že na statickú úlohu, ktorou je vyšetrovanie vzniku trhlin na betónovej konštrukcii, má v rannom štádiu vplyv najmä zloženie betónu, klimatické vplyvy a spôsob ošetrovania. Na základe spomenutých výpočtov je možné optimalizovať postup zhotovenia konštrukcie z hľadiska spomenutých vplyvov tak, aby výsledkom bola hospodárne navrhnutá konštrukcia, ktorá spĺňa požadované kvalitatívne parametre.

## Pod'akovanie

*Príspevok vznikol za podpory výskumného projektu VEGA č.1/0306/09 „Aplikácia pravdepodobnostných metód na obnovenie spoľahlivosti betónových stavieb“.*

## NONLINEAR ANALYSIS OF BUCKLING AND POST-BUCKLING

Martin Psočný<sup>1</sup>

### Abstract

The stability analysis of slender web loaded in compression was presented. The non-linear finite element method equations were derived from the variational principle of minimum of potential energy [1]. To obtain the non-linear equilibrium paths, the Newton-Raphson iteration algorithm was used. Corresponding levels of the total potential energy were defined. Special attention was focused on the influence of imperfections on the post-critical buckling mode.

### Keywords

Stability, post-buckling, geometric non-linear theory, initial imperfection, finite element method, Newton-Raphson method, arc-length method.

### FEM nonlinear analysis

The FEM computer program using a 48 DOF element [2] has been used for analysis. Presented model consists of 8x8 finite elements. Full Newton-Raphson procedure, in which the stiffness matrix is updated at every equilibrium iteration, is applied. The fundamental path of the solution starts from the zero load level and from the initial displacement. It means that the nodal displacement parameters of the initial displacements and the small value of the load parameter have been taken as the first approximation for the iterative process. Interactive change of the pivot member during calculation is necessary for obtaining required number of L-D paths, subsequently we are able to separate the stable and unstable paths of solution.

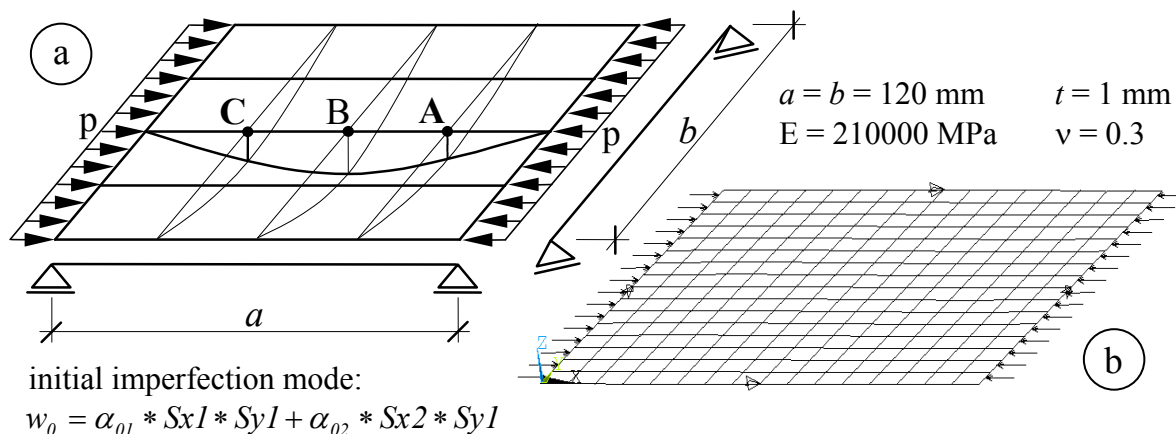


Fig. 1: Slender web: a) Notations of the quantities, b) FEM model – SHELL 143

Obtained results were compared with results of the analysis using ANSYS system, where 16x16 elements model was created (Fig. 1b). Element type SHELL143 (4 nodes, 6 DOF at each node) was used. The arc-length method was chosen for analysis,

<sup>1</sup> Martin Psočný, Assoc. Prof., Ing., PhD., Department of Structural Mechanics, Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovakia, [martin.psoctny@stuba.sk](mailto:martin.psoctny@stuba.sk)

the reference arc-length radius is calculated from the load increment. Only fundamental path of nonlinear solution has been presented. Shape of the web in post-buckling has been also displayed.

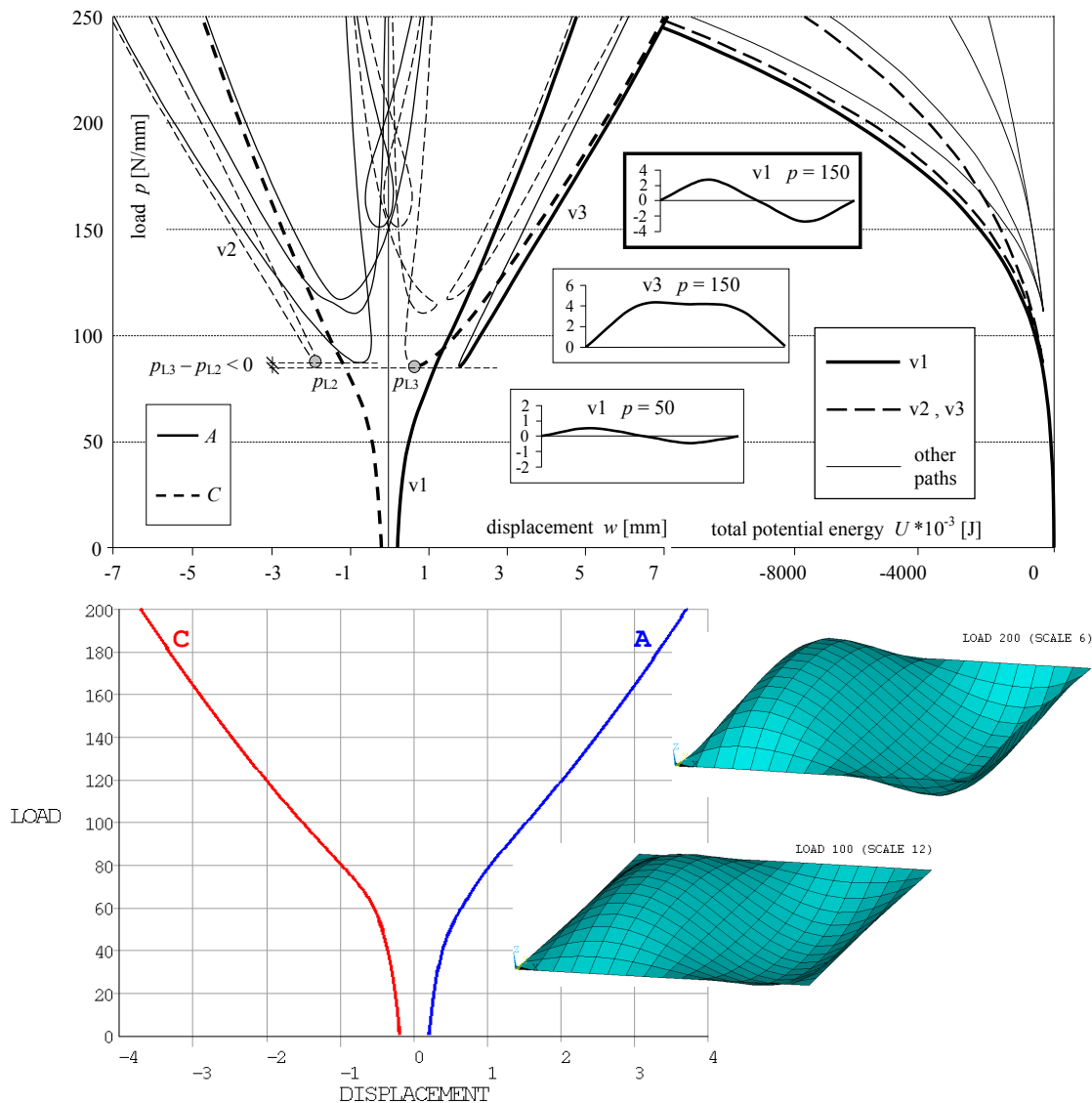


Fig. 2: The post-buckling of the slender web with the initial

$$\text{displacement } w_0 = 0.01 * \sin \frac{\pi x}{a} * \sin \frac{\pi y}{b} + 0.2 * \sin \frac{2 \pi x}{a} * \sin \frac{\pi y}{b}$$

### Acknowledgement

Presented results have been arranged due to the research supported by the Slovak Scientific Grant Agency, project No. 1/0629/12.

### References

- [1] Washizu, K.: *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*. Pergamonn Press, NY, 1982. ISBN 0-08-026723-8. 630 p.
- [2] Saigal, S. – Yang, I.: Nonlinear Dynamic Analysis with 48 DOF Curved Thin Shell Element. *Int. J. Numer. Methods in Engng.*, ISSN 0029-5981, 22, 1985, 1115-1128.
- [3] Psočný, M. – Ravinger, J.: Post-Buckling Behaviour of Imperfect Slender Web. *Engineering Mechanics*, ISSN 1802-1484, Vol. 14, 2007, No. 6, p. 423-429.



# LOAD – CARRYING CAPACITY OF COMPOUND SHELL

Martin Psočný<sup>1</sup>

## Abstract

Load – carrying capacity analysis of compound shell was presented. Top of the shell was created by paraboloid of revolution. This head was capped at each side by square parabolic conoid. These conoids were connected together with four shallow hyperbolic paraboloids (Fig. 1). ANSYS system was used for nonlinear analysis, arc-length method was chosen for obtain fundamental load-displacement path of solution.

## Keywords

Shell, stability, non linear analysis, arc-length method.

## 1 Geometry

Idea for writing of this paper was the figure in the older Czech book [1] in which the shell model over square ground plan made from wire was presented. Accordance with this, compound shell model shown in Fig. 1 was created. Simplified model has been presented, where sphenoid surface was replaced by paraboloid of revolution, even at small discontinuity in the first derivative of function of displacement at the contact of paraboloid with conoid.

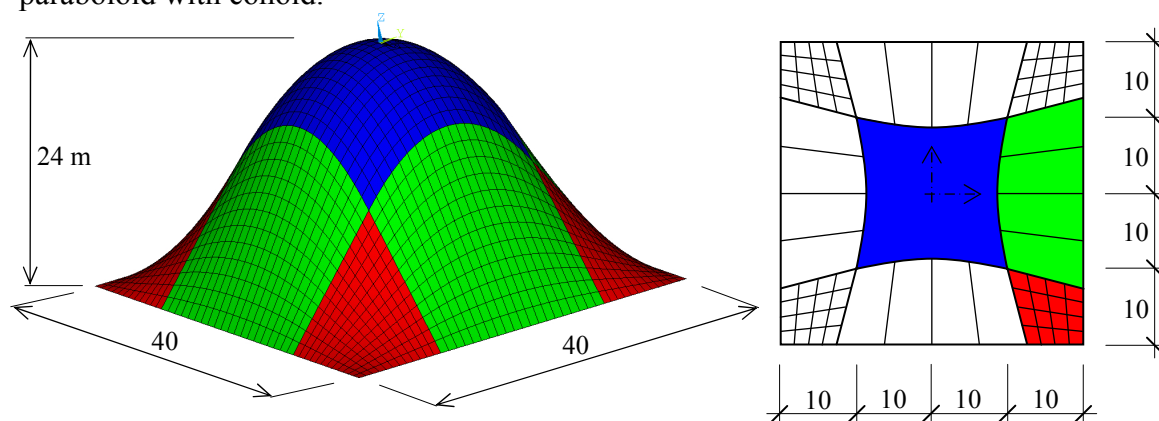


Fig. 1: Compound shell: a) view, b) ground plan

Such particular shell has region with positive Gaussian curvature (paraboloid of revolution), negative Gaussian curvature regions (hyperbolic paraboloids) and also zero values of Gaussian curvature (square conoids).

Presented shell covers square area 40x40 m, while the paraboloid of revolution itself covers an area 20x20 m. The total height of the shell is 24 m, height of the paraboloid of revolution is 12 m. Constant thickness 10 cm is contemplated for the entire shell. We assume a fictitious ideal elastic material ( $E$ ,  $\nu$ ) with high strength. The model was created in ANSYS using SHELL 143 element type.

<sup>1</sup> Martin Psočný, Assoc. Prof., Ing., PhD., Department of Structural Mechanics, Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovakia, [martin.psoctny@stuba.sk](mailto:martin.psoctny@stuba.sk)

## 2 Load – carrying capacity analysis

Conoids after local buckling are still capable to carry load. Furthermore, they can not buckle more, being held by supports and by paraboloid of revolution. As a result of this state, they would push along their sides on hyperbolic paraboloids. Hypars become the weakest elements, and after snap-through they pull down adjacent conoids. Some sort of “circle” has been created, after which paraboloid of revolution has been pushed deeper and deeper, but still keeps its shape.

In Fig. 2 we can see shape of the shell at the beginning of the buckling of conoids (a), after snap-through of hypar (b) and after creating of „circle of deformation“ (c).

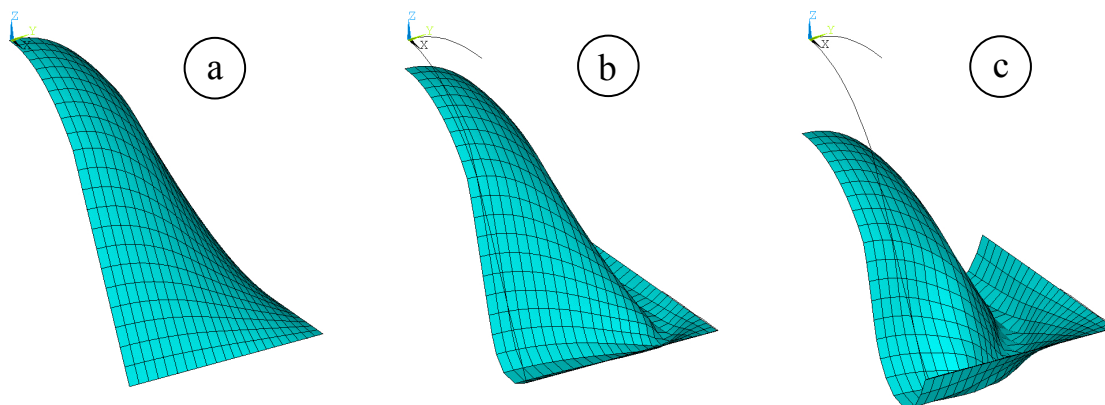


Fig. 2: Process of deformation

Due to the difficulty of calculation (about 4000 substeps for full path), only a quarter of the shell was modeled. Correct specification of boundary conditions is essential. Load-deflection paths for UZ in the top of the shell and in the center of hypar are presented in Fig. 3. Limit load value of nonlinear analysis is fixed on  $11,7 \text{ kN/m}^2$ .

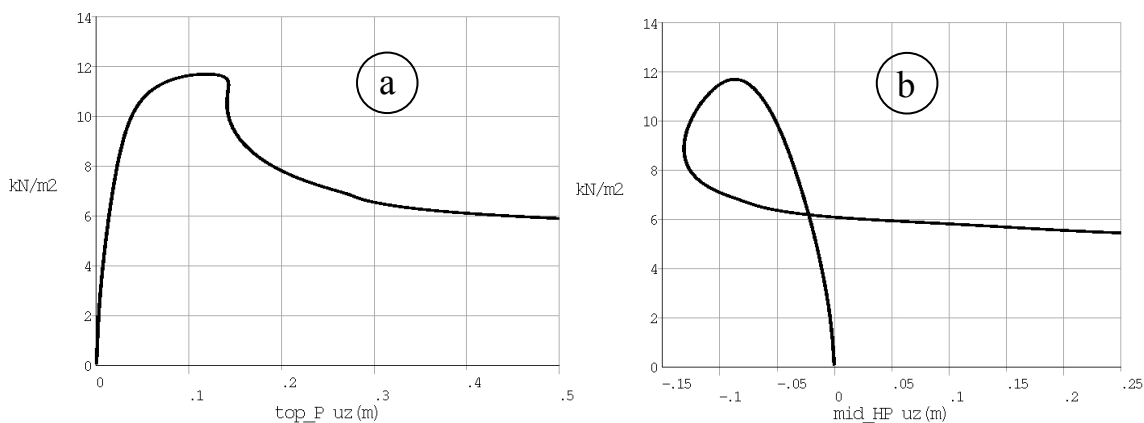


Fig. 3: Load-deflection paths for top of the shell (a) and for selected point on the hypar (b)

## Acknowledgement

*Presented results have been arranged due to the research supported by the Slovak Scientific Grant Agency, project No. 1/0629/12.*

## References

- [1] Kadeřávek, F.: *Surfaces in civil engineering practice*, ČSAV, Praha, 1958, 132 p. (in Czech)

# NUMERICKÝ MODEL KOMBINOVANÉHO STYČNÍKU TYPU OCEL-DŘEVO

## NUMERICAL MODEL OF THE STEEL-TIMBER JOINT

Miroslav Rosmanit<sup>1</sup>, Přemysl Pařenica<sup>2</sup>

### Abstrakt

Článek se zabývá chováním jednotlivých prvků přípoje ocelového a dřevěného prvku. Přípoj, který je předmětem výzkumu, je opakovaně využíván např. při spojení ocelových příčníků s hlavními dřevěnými trámy mostů a lávek malých a středních rozpětí, přípoj mimo jiné zajišťuje nemalou mírou celkovou stabilitu konstrukce. V příspěvku jsou prezentovány možnosti MKP numerických modelů v programu Scia Engineer 2012, se zaměřením na celkový průběh deformací, se zohledněním interakce všech jednotlivých částí přípoje.

### Klíčová slova

Styčník ocel-dřevo, tuhost, MKP model, analytický model, interakce.

### Abstract

The paper is focused on the behavior of individual elements on the pin connection of steel and timber beams. The connection is repetitively use on modern bridge structures to ensure the overall stability of the structure. Interaction of all parts of the connection (components as beams, face plate, bolts, washers and nuts) is numerically modeled using the FEM program Scia Engineer 2012, the stiffness and the deformation behavior of the connection is studied mainly.

### Keywords

Steel-timber pin connection, stiffness, interaction, FEM model, analytical model.

## 1 Úvod

Byl zvolen typizovaný přípoj, který se v současnosti běžně používá u konstrukcí dřevěných mostů a lávek. Tento detail je realizován pomocí čelní desky a šroubů (svorníků) s vysokopevnostní podložkou. Chování styčníku je převážně ovlivněno otláčením čelní desky a šroubů do dřevěného prvku, deformací šroubů v přípoji a v neposlední řadě deformací samotného ocelového příčnicku s čelní deskou v místě přípoje.

Hlavním tématem práce byla tvorba modelu spoje mezi ocelovým příčnickem a hlavním mostním nosníkem z lepeného lamelového dřeva. Pro jeho tvorbu byl použit software Scia Engineer 2012. Výzkum navazuje na již provedená laboratorní měření [1] a [2] a na numerické modelování v programu ANSYS (relativně složitá prostorová

<sup>1</sup> Miroslav Rosmanit, Ing., Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, [miroslav.rosmanit@vsb.cz](mailto:miroslav.rosmanit@vsb.cz)

<sup>2</sup> Přemysl Pařenica, Bc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, [premysl.parenica@vsb.cz](mailto:premysl.parenica@vsb.cz)

nelineární úloha) [3]. Cílem tohoto výzkumu je vytvoření funkčních, ale zároveň dostatečně jednoduchých MKP modelů vystihujících chování přípoje typu ocel-dřevo s využitím softwaru používaného běžnou inženýrskou praxí.

Byly vytvořeny tři různě složité 2D modely (kombinace plošných prvků (skořepin) a prutů), které byly porovnány s výsledky laboratorních měření a numerického modelu v programu ANSYS. Tyto modely jsou v článku podrobně popsány a diskutovány.

## 2 Numerické modely

Hlavní myšlenkou při tvorbě modelů byla idealizace reálného styčnicku pomocí 2D prvků. To je dáno zejména tím, že program Scia Engineer 2012 pracuje pouze s určitými typy konečných prvků. Mezi ně patří zejména prutové prvky, dále pak stěnové nebo deskové prvky. Nejkomplexnějšími prvky jsou pak deskostěnové skořepiny. Oproti specializovanějším softwarům program neobsahuje žádné prostorové prvky.

Pro veškeré nelineární výpočty byla zvolena Timoshenkova metoda výpočtu. Tento typ řešiče byl zvolen zejména kvůli přímému řešení nelinearit v kontaktech těles.

*Model č. 1* je idealizován převážně pomocí skořepinových ploch. Veškeré prvky jsou převedeny do 2D prvků. Tento model lze hodnotit jako jednoduchý, velmi tuhý. Spojení je tvořeno přímým napojením jednotlivých skořepin (svorník – čelní deska). Výsledky vykazují významné zkreslení prokluzu čelní desky a otláčení svorníků, je zde také patrná nespojitost deformace dřevěného prvku – nedokonalost modelu.

*Model č. 2* se snaží eliminovat nedokonalosti předešlého modelu. Jedná se zejména o snížení tuhosti napojení svorníků. Dále jsou zde skořepiny reprezentující svorníky nahrazeny prutem s průřezem odpovídajícím tvarově i rozměrově jedné řadě svorníků. Tento průřez je tedy nově tvořen dvojicí kruhových průřezů. Tento model lze označit za plně funkční, celkové deformace i vnitřní síly ve svornících odpovídají experimentům. Model není schopen vyřešit problém nespojitosti deformace dřevěného prvku (minoritní vliv na celkové chování styčnicku). Tento model je vhodný pro běžné využití v praxi.

*Model č. 3* navazuje na předchozí model. Hlavním důvodem pro tvorbu tohoto modelu bylo zajistit spolupůsobení jednotlivých částí hlavního dřevěného nosníku, bez vlivu na tuhost v otláčení. Tato úprava modelu je realizována pomocí velmi tuhé (pomocného) ocelového boxu, který je napojen na jednotlivé segmenty. Komplexnost modelu způsobuje problémy při řešení (časová náročnost, složitý model, relativně malý příspěvek kvality v porovnání s pracností). Ukazuje se, že předložené komplexní řešení není vhodné pro běžnou stavební praxi a jeho přínos je zanedbatelný.

## Poděkování

*Příspěvek byl realizován za finanční podpory projektu MŠMT číslo SP2013/169 (Studentská grantová soutěž VŠB - TUO).*

## Literatura

- [1] Lokaj, A. & all., *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1. 309 s.
- [2] Vican, J., Gocal, J., Odrobinak, J., *Kombinacia dreva a ocele pri návrhu lávok pre chodcov a mostov malých rozpätí*, *Dřevostavby*, Osčadnica, 2009, s. 41-48.
- [3] Rosmanit, M., Mikolášek, D., *Rotational stiffness characteristics of the steel-timber connection*, The 3<sup>rd</sup> European Conference of Civil Engineering (ECCIE'12), Paris, France, 2012. ISBN 978-1-61804-137-1, p. 269-272

# MODELOVANIE NOSNÝCH KONŠTRUKCIÍ PAMIATKOVÝCH OBJEKTOV

LOAD-BEARING STRUCTURE MODELLING OF HISTORIC BUILDINGS

Jaroslav Sandanus<sup>1</sup>, Kristián Sógel<sup>2</sup>

## Abstrakt

V príspevku je predstavená analýza a následná rekonštrukcia strešných konštrukcií dvoch sakrálnych stavieb. V prvom prípade ide o veže kostola kláštorného komplexu v Jasove a druhým opisovaným objektom je kaplnka v Bratislave. Prostredníctvom týchto konštrukcií sú predstavené postupy a metódy modelovania historických stavieb z dreva. Pre každý objekt je predstavená diagnostická prehliadka, statická analýza a návrh rekonštrukcie a sanácie.

## Kľúčové slová

Pamiatkový objekt, drevená nosná konštrukcia, statická analýza, zaťaženie vetrom, konštrukčná ochrana, drevokazné huby, drevokazný hmyz.

## Abstract

In the contribution the analysis and subsequent reconstruction of two religious building`s roof structure is presented. In the first case, the towers of the monastery church in Jasov are described. Second the Chapel in Bratislava is introduced. Through these structures the modelling problems and methods by historic buildings are presented. For each object the diagnostic inspection, structural analysis and recommendation for reconstruction is mentioned.

## Keywords

Historic monument, timber load-bearing structure, structural analysis, wind load, structural protection, wood-destroying fungi and insects.

## 1 Úvod

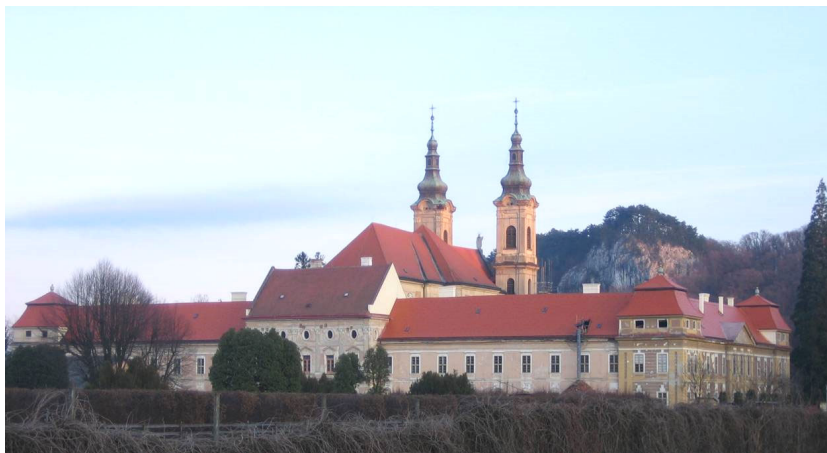
Ochrana a reštaurovanie pamiatok je odborom, ktorý vyžaduje spoluprácu so všetkými vedami a technikami, schopnými napomáhať pri výskume a záchrane pamiatkového dedičstva. Obnova je úkon, ktorý má mať povahu výnimočnosti. Jeho cieľom je zachovať a odhaľovať estetické a historické hodnoty pamiatky. Zakladá sa na rešpektovaní pôvodných stavebných materiálov nosných prvkov a zachovaní ich pôvodných prípojov. Pôvodná myšlienka pôsobenia konštrukcie sa tak premieta do statického modelovania nosnej konštrukcie. Zohľadniť pritom treba aj všetky zmeny, ktoré vznikli na konštrukcii vplyvom času.

<sup>1</sup> doc. Ing. Jaroslav Sandanus, PhD., Stavebná fakulta STU v Bratislave, jaroslav.sandanus@stuba.sk

<sup>2</sup> Ing. Kristián Sógel, PhD., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, kristian.sogel@stuba.sk

## 2 Veže Kláštoru Premonštrátov v Jasove

Cieľom diagnostickej prehliadky bolo určenie rozsahu poškodenia drevených prvkov biotickými a abiotickými škodcami. Zistenia z prehliadky boli využité pri návrhu sanácie poškodených prvkov. Na základe diagnostickej prehliadky a statického posudku jednotlivých nosných prvkov a ich spojov bola navrhnutá rekonštrukcia drevených konštrukcií veží.



Obr. 1 Pohľad na kláštor zo severnej strany

## 3 Kaplnka Ružencovej Panny Márie v Dúbravke

Počas diagnostických prehliadok sa zistili vážne poškodenia väzných trámov a hlavných väzieb, čo spôsobilo naklonenie vežičky. Na základe diagnostickej prehliadky bol konštatovaný havarijný stav strešnej konštrukcie kaplnky. Zistilo sa, že drevená konštrukcia kaplnky nie je kotvená do murovanej stavby. Bolo potrebné modelovaním zistiť, či môže konštrukcia fungovať s podperami, ktoré preberajú iba tlakové namáhanie.

## 4 Záver

Pri rekonštrukciách pamiatkových objektov je potrebné zohľadniť viacero faktorov, ktoré vstupujú do činnosti projektanta. Je potrebné zosúladiť požiadavky pamiatkových úradov, investorov, architektov, statikov a dodávateľov. Drevené nosné konštrukcie si vyžadujú predovšetkým spoluprácu odborníkov, ktorí posudzujú mieru poškodenia samotnej drevenej hmoty a odborníkov, ktorí poznajú funkciu jednotlivých prvkov konštrukcie. Vo viacerých prípadoch sa poznaním funkcie prvku v konštrukcii dali prvky zachrániť v duchu požiadaviek ochrany pamiatkových objektov, pretože na prenos daného zaťaženia v konštrukcii boli prierezy aj napriek poškodeniu dostatočné.

## Literatúra

- [1] KOHÚT, V.: *Uplatňovanie zásad pamiatkovej starostlivosti v oblasti nosných konštrukcií*. Eurostav 4/2000
- [2] SANDANUS, J. – SÓGEL, K.: *Prieskum biotického poškodenia drevenej konštrukcie dvoch veží kláštoru v Jasove a projekt sanácie drevenej konštrukcie veží*, KKDK SvF STU Bratislava, 2008
- [3] SANDANUS, J. – SÓGEL, K.: *Projekt rekonštrukcie, 1. fáza, strešná konštrukcia Rímsko-katolíckej kaplnky Ružencovej Panny Márie, Bratislava – Dúbravka*. 2010

# MODELOVANIE VYSTUŽENÝCH SKLENÝCH NOSNÍKOV V MKP

## FEM MODELING OF THE REINFORCED GLASS BEAMS

Miloš Slivanský<sup>1</sup>

### Abstrakt

Navrhovanie nosných konštrukcií zo skla je ešte aj v súčasnosti nedostatočne rozpracovaná oblasť. Intenzívny experimentálny a teoretický výskum je preto pre rozvoj v oblasti navrhovania moderných sklených konštrukcií rozhodujúci. Tento príspevok sa zaoberá aplikáciou skla (ako konštrukčného materiálu) pri návrhu nosných prvkov. Prezentované údaje sú zamerané predovšetkým na porovnanie výsledkov experimentálneho a teoretického výskumu z pohľadu totálnej a zvyškovej odolnosti vystužených sklených nosníkov.

### Kľúčové slová

Sklo, vrstvené sklo, nosníky, trhlina, krehký lom, výstuž, zvyšková odolnosť, MKP analýza.

### Abstract

The designing with glass is still an under – developed area. Intensive theoretical and experimental research is therefore essential for ensuring the reliability and efficiency of modern structural glass systems. The paper deals with application of structural glass in design of loadbearing glass elements. The main objective of the presented work is to compare experimental and theoretical research (FEM-analysis) of the loadbearing capacity and post-breakage behavior of the reinforced glass beams.

### Keywords

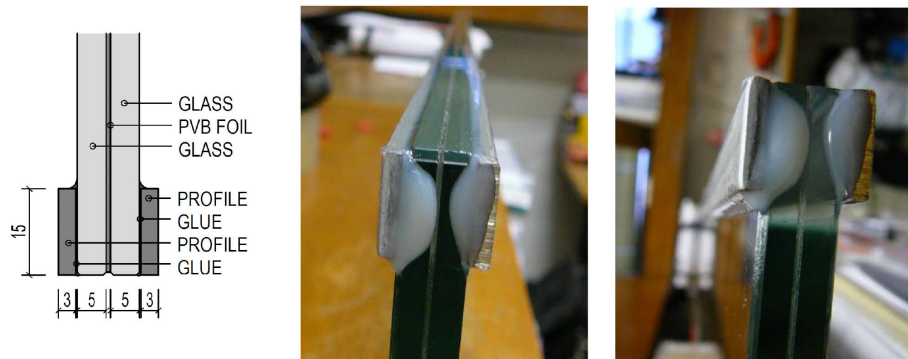
Structural glass, laminated glass, beams, crack, fracture, reinforcement, post-breakage structural capacity, FEM analysis.

## 1 Experimentálny výskum

Skúšky vystužených nosníkov z plaveného skla sa zamerali na skúmanie charakteru porušovania z pohľadu zvýšenia odolnosti spolupôsobením skla s kovovými materiálmi a tiež z pohľadu zabezpečenia zvyškovej odolnosti porušeného skleneného prvku.

Skúšobné vzorky sklených nosníkov mali rozmery 1500 x 130mm a na ich výrobu boli použité tabule vrstveného nekaleného skla s hrúbkou 5mm, ktoré boli vzájomne spojené PVB fóliou s hrúbkou 0,76mm. Ako výstužný profil sa použil nerezový pásový materiál kvality EN 1.430. Strihaná pásovina s prierezom 15 x 3mm bola nalepená na obidva povrchy sklenej tabule pozdĺž celého nosníka na jednom jeho okraji (pri zaťažení na ťahanom okraji). Detail nosníka s nalepenou výstužnou páskou ilustruje obr. 1. Na lepenie výstužnej pásky sa použilo dvojzložkové epoxidové lepidlo Loctite Hysol 9466.

<sup>1</sup> Miloš Slivanský, Ing., PhD., STU Bratislava, Stavebná fakulta, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, milos.slivansky@stuba.sk



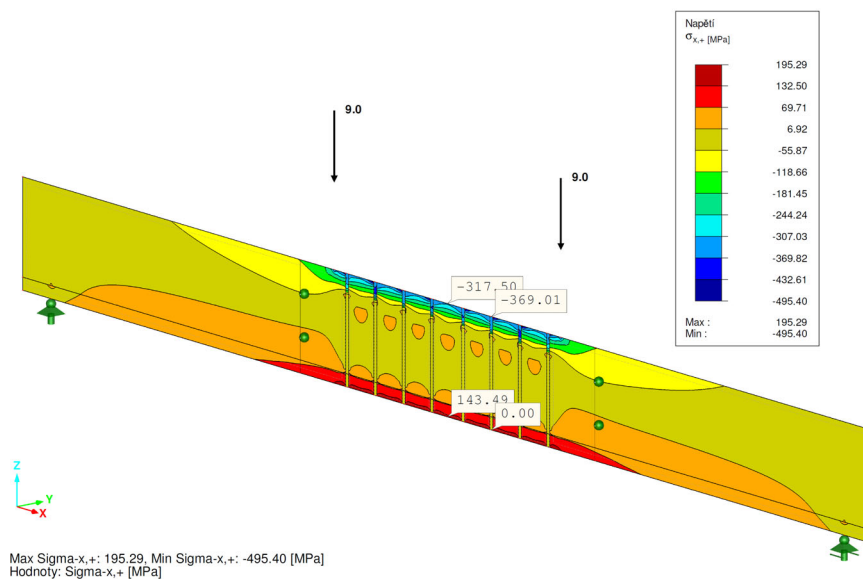
Obr. 1: Nalepená výstužná pásovina (detail), schéma a skutočné prevedenie

Skúšobné vzorky všetkých typov nosníkov boli overované 4 – bodovou ohybovou skúškou. Pre tento účel bola navrhnutá a vyrobená skúšobná zaťažovacia zostava, ktorá bola osadená v stacionárnom hydraulickom lise ZDMU 30 s maximálnou zaťažovacou silou 100kN. Zaťažovaniu vzorky do porušenia predchádzalo niekoľko zaťažovacích cyklov (zaťaženie – konštantná úroveň zaťaženia – odľahčenie).

Porovnaním výsledkov skúšok nevystužených nosníkov a vystužených nosníkov možno jednoznačne konštatovať, že vystužené nosníky dosahujú niekoľkonásobne (2,5 až 4 – násobne) vyššie hodnoty totálnej odolnosti, pričom pôvodný krehký charakter porušenia sa pri vystužených nosníkoch zmenil na pretvárný (plastický).

## 2 Výpočty MKP

Pri výpočtoch MKP bolo v programe RFEM 4 zostavených viacero výpočtových modelov. Výpočtové úlohy sa venovali možnostiam využitia MKP pri modelovaní vystužených sklenených nosníkov. Pôsobenie nosníkov sa skúmalo jednak z hľadiska rozsahu poškodenia sklenej časti (bez trhliny, jedna trhlina, viacero trhlín) a jednak z hľadiska oblasti pôsobenia materiálu výstuže (lineárna a nelineárna závislosť  $\sigma - \varepsilon$ ). Vo všetkých prípadoch bola použitá rovnaká geometria a okrajové podmienky nosníka.



Obr. 2: Model a grafické výsledky MKP (ilustračný obrázok)



# UČEBNÍ MATERIÁLY ZAMĚŘENÉ NA PRUŽNOST A PLASTICITU VE STAVEBNICTVÍ

LEARNING MATERIAL OF ELASTICITY AND PLASTICITY IN CIVIL ENGINEERING

Oldřich Sucharda<sup>1</sup>

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou analýzy prutových konstrukcí. Pro analýzu je zvolen vlastní vyvíjený software. Dále příspěvek prezentuje projekt Fondu rozvoje vysokých škol, který se zaměřuje na tvorbu studijních materiálů do předmětu Pružnost a plasticita, zejména pak příkladů.

## Klíčová slova

Pružnost, plasticita, příklady, deformace, vnitřní síly.

## Abstract

The paper deals with the analysis of beam structures. The software developed by author of article is used. Furthermore, the paper presents a project of the University Development Fund, which focuses on creation of learning materials to subject elasticity and plasticity, in particular examples.

## Keywords

Elasticity, plasticity, examples, deformation, internal forces.

## 1 Úvod

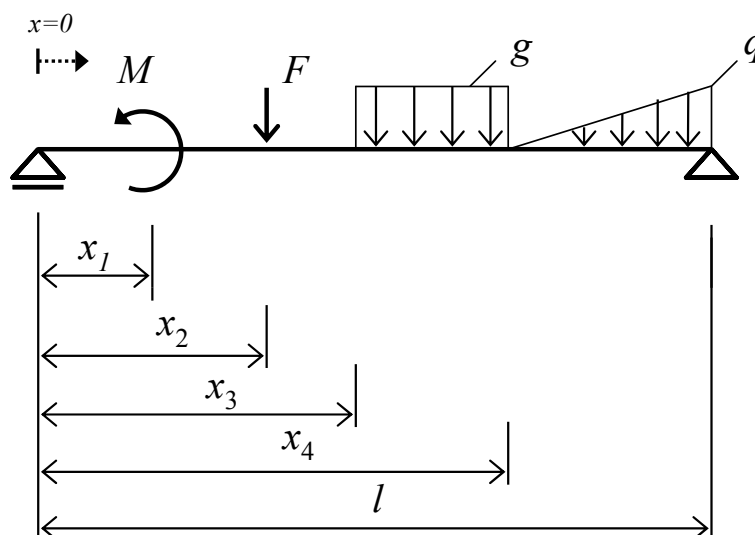
Problematika statické analýzy, konkrétně oblast pružnosti a plasticity patří k základním znalostem stavebního inženýra, kdy znalosti z uvedené problematiky jsou předpokladem pro pochopení chování stavebních konstrukcí a následně k dimenzování konstrukčních prvků. Pro uvedenou oblast vznikla celá řada teoretických publikací určených pro studenty bakalářských [1, 2, 4] a magisterských oborů nebo pro studenty doktorského studia [3]. Převážně se však publikace zaměřují na teoretický výklad, kdy podpořený projekt „Studijní materiály pro předmět Pružnost a plasticita – příklady“ se právě snaží uvedené publikace doplnit o praktické příklady. Zpracované příklady zahrnují již také koncept návrhu a posudků dle současně platných Eurokodů upravených na podmínky pro studenty bakalářských oborů.

## 2 Učební materiály

Učební materiály jsou určeny pro stejnojmenný předmět, který patří ke stěžejním předmětům stavební mechaniky a navazují na něj ve všech oborech na Fakultě stavební, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava další odborné předměty.

<sup>1</sup> Ing. Oldřich Sucharda, Ph.D., VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky, L. Poděšť 1875, CZ70833, Ostrava, e-mail: oldrich.sucharda@vsb.cz.

Vytvořené studijní opory si kladou za cíl především usnadnit výuku ve cvičení a pomoci studentům při procvičování numerických příkladů u samostudia a pomoci studentům v kombinované formě studia. Doplnkově jsou učební materiály doplněny o moderní multimediální prvky, jako jsou fotografie staveb, videoklipy nebo výukový software, který byl využit pro prezentaci vybrané části již zpracovaných úloh. Konkrétně se jedná o kapitolu zabývající se návrhem a posudkem prutových konstrukcí na ohyb dle mezního stavu únosnosti a použitelnosti.



Obr. 1: Nosník

### 3 Závěr

Príspevek prezentoval řešený projekt „Studijní materiály pro předmět Pružnost a plasticita – příklady“ podpořený Fondem rozvoje vysokých škol, který se zaměřuje na tvorbu učebních materiálů. Největší část učebních materiálů bude zahrnovat příklady pro procvičení, které budou doplněny o fotografie staveb, videoklipy nebo výukový software. V současné době jsou učební materiály rozpracovány. Učební materiály budou zahrnuty do výuky v akademickém roce 2013/2014 a publikovány na webových stránkách katedry v sekci studijní materiály – <http://www.fast.vsb.cz/228/cs/okruhy/studijni-materialy/>.

### Poděkování

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Fondu rozvoje vysokých škol prostřednictvím projektu je FRVŠ 100/2013.

### Literatura

- [1] DICKÝ, J., MISTRÍKOVÁ, Z., SUMEC, J., *Pružnost a plasticita v stavebnictví 1*, Bratislava: STU v Bratislavě, 2007, ISBN 978-80-227-2742-6.
- [2] KREJSA, M., LAUSOVÁ, L., MICHALCOVÁ, V., 2012. *Pružnost a plasticita*. Učební texty v elektronické podobě. [on-line]. < <http://mi21.vsb.cz/modul/pruznost-plasticita>>. VŠB-TU Ostrava, 2012. 286 s.
- [3] SERVÍT, R. a kol. *Teorie pružnosti a plasticity, I. díl*, Praha: ČVUT v Praze, 1977.
- [4] ŠMIŘÁK, S. *Pružnost a plasticita I*. Brno: VUT Brno, 1999. ISBN 80-214-1151-1.

# MECHANICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF VISCO-ELASTIC CONTINUA – CONSTITUTIVE EQUATIONS

MECHANO – MATEMATICKÉ MODELOVANIE VÄZKOPRUŽNÉHO KONTINUA – KONŠTITUTÍVNE ROVNICE

Jozef Sumec<sup>1</sup>, Mária Minárová<sup>2</sup>

## Keywords

linear visco-elasticity, relaxation, plastic flow, differential and integral representation of the constitutive equations for anisotropic media, rheological model, integral Laplace transformation

## Extended abstract

- Classical elasticity theory studies the mechanical response of the perfectly elastic body to the ambient acting, where according to the Hook's law the stress is a linear function of the strain being independent on the deformation velocity. On the other hand in hydrodynamic problems, where Newtonian laws are essential, the stress is linearly proportional to the strain velocity, but independent from the strain itself.
- Phenomenological models of continuum mechanics applied on the rigid body are more or less idealized. It is known from the experimental measuring that there is a plastic flow, respectively relaxation in real rigid bodies, i.e. stress is the function of strain, strain velocity and the higher time derivations.
- The Voight (Kelvin) rheological model consists of the basic substances - the Hook elastic mass (H) and the Newton viscous liquid (N) connected parallelly, the structural formula is  $(V)=(H)|(N)$  the Maxwell model consists of (H) and (N) connected serially, the structural formula is  $(V)=(H)-(N)$ , see Fig. 1a, b.

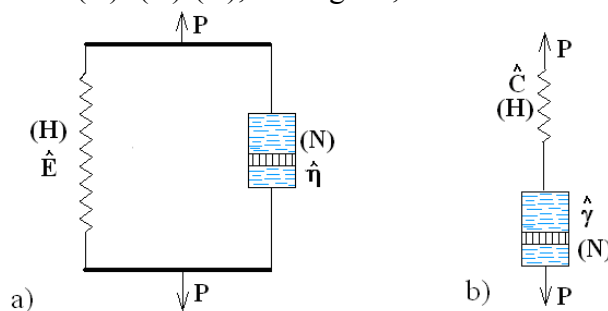


Fig. 1. a) Voight rheological model, b) Maxwell rheological model

### • Voight rheological model:

The corresponding constitutive equation is

$$\sigma = \left( \hat{E} + \hat{\eta} \frac{\partial}{\partial t} \right) \epsilon$$

<sup>1</sup> Prof. Ing. RNDr. Mgr. Jozef Sumec, DrSc., Stavebná fakulta STU Bratislava, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, Bratislava, jozef.sumec@stuba.sk

<sup>2</sup> RNDr. Mária Minárová, PhD., Stavebná fakulta STU Bratislava, Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie, Radlinského 11, Bratislava, minarova@math.sk

After applying of the Laplace transform and its inversion further we get the formula for the strain tensor

$$\boldsymbol{\varepsilon}(t) = \sum_{n=1}^6 \lambda_n^{-1} \bar{\mathbf{A}}(\lambda_n) \int_0^t [1 - e^{-\lambda_n(t-\tau)}] \frac{\partial \boldsymbol{\sigma}}{\partial \tau} d\tau$$

• *Maxwell rheological model:*

The constitutive equation is

$$\frac{\partial}{\partial t} \boldsymbol{\varepsilon} = (\hat{\mathbf{C}} \frac{\partial}{\partial t} + \hat{\boldsymbol{\gamma}}) \boldsymbol{\sigma}$$

After applying of the Laplace transform as in the case above for the stress tensor we get

$$\boldsymbol{\sigma} = \sum \bar{\mathbf{B}}(\kappa_n) \int_0^t e^{-\kappa_n(t-\tau)} \frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \tau} d\tau$$

• *Zener rheological model*

Extending the Voight rheological model by the Hook mass (H), see Fig. 2, we get the rheological model of the Zener type (Z)=(H<sub>1</sub>)[(N<sub>2</sub>)-(H<sub>2</sub>)]

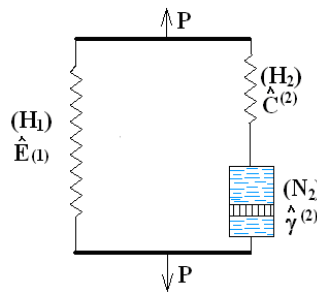


Fig. 2. a) Zener rheological model

The constitutive equation is

$$\frac{\partial \boldsymbol{\sigma}}{\partial t} + \hat{\mathbf{C}}^{(2)} \boldsymbol{\sigma} = \hat{\mathbf{E}}_{(1)} \hat{\mathbf{C}}^{(2)} \boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\gamma}^{(2)} (\hat{\mathbf{E}}_{(1)} + \hat{\mathbf{C}}^{(2)}) \frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial t}$$

After applying of the Laplace transform the stress tensor will be of the form

$$\boldsymbol{\sigma} = \int_0^t [\hat{\mathbf{E}}_{(1)} + \sum_{n=1}^6 \bar{\mathbf{B}}_{(2)}(\kappa_n) e^{-\kappa_n(t-\tau)}] \frac{\partial \boldsymbol{\varepsilon}}{\partial \tau} d\tau$$

- The derived formulas are used during the analysis of the relaxation effect and time depending deformations in the construction components created from the silicate composites as well as in the biomechanical analysis of the tissue engineering, see Fig.3

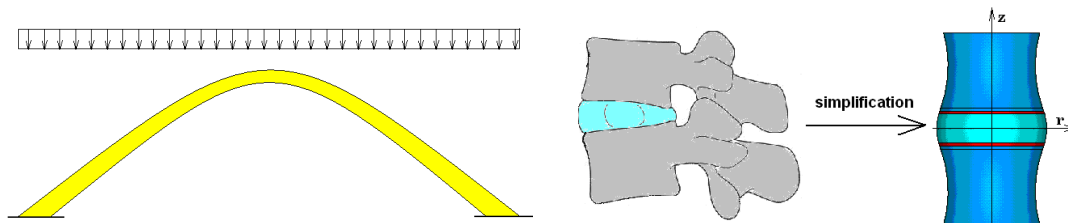


Fig. 3. Possible applications of the rheological models in civil engineering and in biomechanics

**Acknowledgement**

*This work was supported by the grants APVV 0351-07 and VEGA 1/0629/12*

# MODEL UNCERTAINTY IN SHEAR RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH SHEAR REINFORCEMENT

Miroslav Sýkora, Milan Holický, Jan Krejsa<sup>1</sup>

## Abstract

The submitted contribution is focused on the model uncertainty related to shear resistance of reinforced concrete beams with special shear reinforcement considering available test results. Variation of the model uncertainty with basic variables is analysed and significant variables are identified for the section-oriented formula provided in EN 1992-1-1. Proposed probabilistic description of the model uncertainty consists of the lognormal distribution having the coefficient of variation of about 0.25 and the mean significantly varying with the strength of shear reinforcement.

## Keywords

Model uncertainty, shear resistance, reinforced concrete.

## 1 Introduction

Previous studies indicated that structural resistances can be predicted by appropriate modelling of material properties, geometry variables and uncertainties associated with an applied model. In particular improvements in description of model uncertainties are still needed. The submitted study is aimed at the model uncertainties of the shear resistance of beams with shear reinforcement.

## 2 Uncertainties related to the model provided in EN 1992-1-1

The model uncertainty should be always clearly associated with an assumed resistance model. In this contribution uncertainties related to the basic resistance model provided in EN 1992-1-1 for beams with shear reinforcement are assessed.

Researchers at the University of Stellenbosch collected a database of 222 tests of the beams with shear reinforcement. It was necessary to reduce database to 200 tests, because for 22 tests information on shear reinforcement ratio  $\rho_w$  and yield strength of the shear reinforcement  $f_{yw}$  is missing. The database covers a wide range of beams with low to medium concrete strengths; and small, ordinary and large effective depths. Lightly, moderately and heavily reinforced beams are included. Sample characteristics of the model uncertainty  $\theta$  obtained by the statistical evaluation of the database are given in Tab. 1. Statistical analysis reveals that the strength of shear reinforcement has the most significant influence on  $\theta$  and it is advisable to distinguish different levels of the reinforcement. Statistical testing of outliers is conducted to exclude measurements tested under significantly different conditions or affected by an error. Fig. 1 shows variation of the model uncertainty with the reinforcement ratio.

---

<sup>1</sup> Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D., Prof. Ing. Milan Holický, Ph.D., DrSc., Bc. Jan Krejsa, Czech Technical University in Prague, Klokner Institute, Department of Structural Reliability, Solinova 7, 16608 Prague, Czech Republic, miroslav.sykora@klok.cvut.cz, milan.holicky@klok.cvut.cz, jan.krejsa@klok.cvut.cz

| Description of the sample  | Mean | Coefficient of variation |
|--|------|--------------------------|
| Whole database, sample size $n = 200$  | 1.32 | 0.34                     |
| Lightly reinforced beams ( $\rho_w f_{yw} \leq 1 \text{ MPa}$ ), $n = 147$                   | 1.56 | 0.26                     |
| Moderately reinforced beams ( $1 \text{ MPa} < \rho_w f_{yw} \leq 2 \text{ MPa}$ ), $n = 45$ | 1.25 | 0.23                     |
| Heavily reinforced beams ( $2 \text{ MPa} < \rho_w f_{yw}$ ), $n = 8$                        | 0.76 | 0.20                     |

Tab. 1: Sample characteristics of the model uncertainty

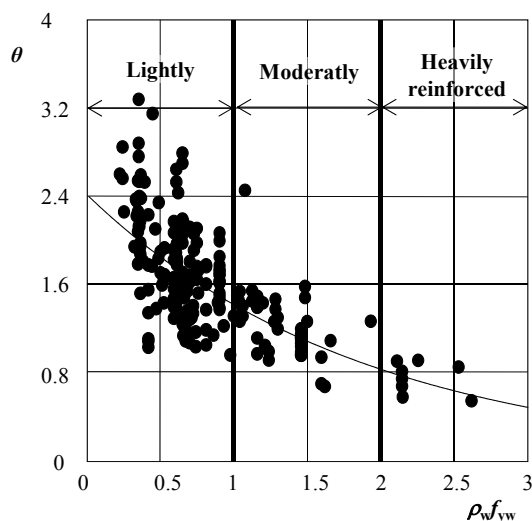


Fig. 1: Variation of  $\theta$  with  $\rho_w f_{yw}$  for the whole database

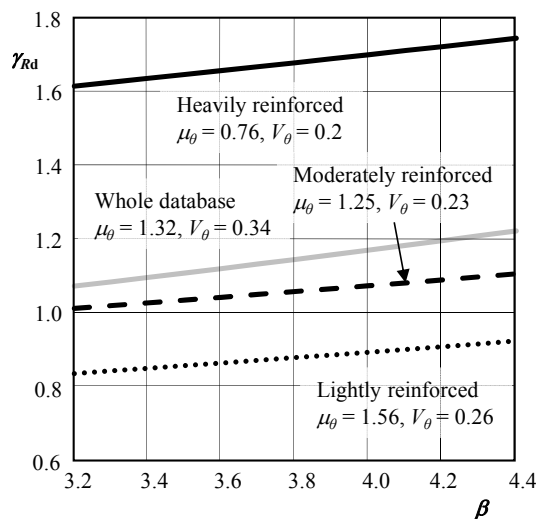


Fig. 2: Variation of partial factor  $\gamma_{Rd}$  with  $\beta$

### 3 Model uncertainty factor for deterministic reliability verifications

For deterministic reliability verifications EN 1990 introduces the partial factor  $\gamma_{Rd}$  to describe the uncertainty associated with the resistance model. Assuming the probabilistic models for  $\theta$  given in Tab. 1, variation of  $\gamma_{Rd}$ , based on the design value method, with the target reliability  $\beta$  is indicated in Fig. 2.

### 4 Concluding remarks

The following conclusions are drawn from the present study focused on the model uncertainties in shear resistance of beams with shear reinforcement:

- Strength of shear reinforcement influences the mean of the model uncertainty and its differentiation for lightly, moderately and heavily reinforced beams is advisable.
- As a first approximation uncertainties related to the section-oriented model provided in EN 1992-1-1 can be described by the lognormal distribution with a coefficient of variation of about 0.25 and the mean value 1.6 (lightly), 1.25 (moderately) and 0.8 (heavily reinforced beams).

### Acknowledgements

*This study is an outcome of the research project P105/12/2051 supported by the Czech Science Foundation.*

# STUDIE STATISTICKÉHO CHOVÁNÍ GUMBELOVA MODELU ÚNAVOVÉ ODEZVY BETONŮ TŘÍD C30/37 A C45/55

STUDY OF STATISTICAL BEHAVIOUR OF GUMBEL MODEL  
OF PLAIN C30/37 AND C45/55 CLASS CONCRETE FATIGUE RESPONSE

Hana Šimonová<sup>1</sup>, Ivana Havlíková<sup>2</sup>, Zbyněk Keršner<sup>3</sup>

## Abstrakt

Příspěvek analyzuje hodnoty základních únavových parametrů betonů pevnostních tříd C30/37 a C45/55 získaných z cyklických testů těles. Pro popis únavové  $S-N$  křivky je použit nelineární regresní model vyvinutý Castillem a kol., založený na Gumbelovu rozdělení. Studuje se proměnlivost hodnot základních únavových parametrů betonů těles z výše uvedených tříd s využitím pravděpodobnostního softwaru FReET.

## Klíčová slova

Beton, únava, aproximace, Gumbelovo rozdělení pravděpodobnosti, software FReET.

## Abstract

Basic fatigue parameter values obtained for plain C30/37 and C45/55 class concrete specimens during dynamic tests with consideration of their variability are analyzed. The Gumbel distribution utilized by Castillo at al. in nonlinear regression model is applied for standard description of the  $S-N$  curve. This study is focus on the variability of the values measured for the basic fatigue parameters using FReET probabilistic software.

## Keywords

Concrete, fatigue, approximation, Gumbel distribution, software FReET.

## 1 Úvod

Beton patří k užívaným materiálům i pro konstrukce dynamicky zatěžované. Pro posuzování jejich únavové životnosti slouží přístup založený na empiricky odvozených  $S-N$  diagramech – závislostech napětí ( $S$ ) na počtu zatěžovacích cyklů do porušení ( $N$ ) [1]. Další možností je vyhodnocení dynamických zkoušek pomocí regresního modelu vyvinutého Castillem a kol. na základě Gumbelova rozdělení [2], který je použit v tomto příspěvku. K analýzám byl použit pravděpodobnostní software FReET [3].

## 2 Závěr

V plném textu příspěvku jsou prezentovány výsledky studie proměnlivosti korigovaných naměřených hodnot základních únavových parametrů získaných na zkušebních tělesech

---

<sup>1</sup> Ing. Hana Šimonová, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, simonova.h@fce.vutbr.cz

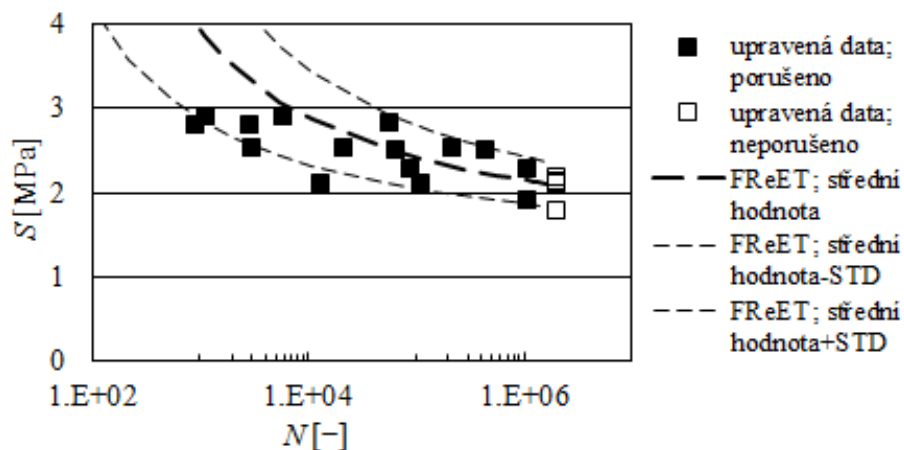
<sup>2</sup> Ing. Ivana Havlíková, dtto, havlikova.i@fce.vutbr.cz

<sup>3</sup> prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, kersner.z@fce.vutbr.cz

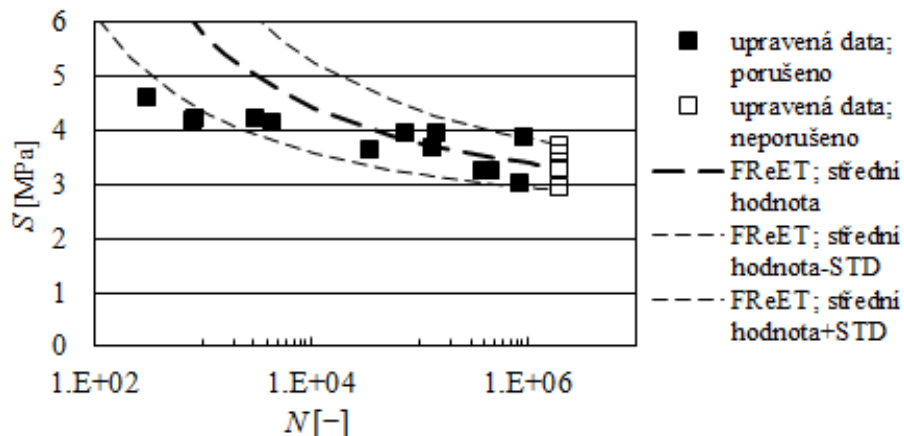
z betonů tříd C30/37 a C45/55. Bylo zkoumáno statistické chování nelineárního regresního modelu vyvinutého Castillem a kol. na základě Gumbelova rozdělení pravděpodobnosti – viz Obr. 1 a 2:  $S-N$  diagramy standardizovaných měření doplněných výstupy programu FReET (střední hodnoty a +/- směrodatné odchylky (STD)).

### Poděkování

Práce na příspěvku byly podporovány projektem juniorského specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně registrovaným na VUT pod č. FAST-J-12-5/1566, přičemž se částečně využilo výsledků projektu GA ČR č. P104/11/0833.



Obr. 1: Naměřená data a výsledky analýzy únavových křivek pro beton pevnostní třídy C30/37



Obr. 2: Naměřená data a výsledky analýz únavových křivek pro beton pevnostní třídy C45/55

### Literatura

- [1] ŠIMONOVÁ, H., Z. KERŠNER, S. SEITL, D. PRYL a R. PUKL. Korekce únavových parametrů betonu s využitím aproximací lomově-mechanických parametrů v čase. *BETON TKS*. Praha: Beton TKS, s. r. o., 2012, roč. 12, č. 1/2012, s. 57–59. ISSN 1213-3116.
- [2] CASTILLO, E. and A. FERNÁNDEZ-CANTELI. *A Unified Statistical Methodology for Modeling Fatigue Damage*. Springer Netherlands, 2009. ISBN 978-1-4020-9181-0.
- [3] NOVÁK, D., M. VOŘECHOVSKÝ a R. RUSINA. FReET v. 1.5 – program documentation, User’s and Theory Guides, Brno, <http://www.freet.cz>.



# PRUŽINOVÉ SÍTĚ A JEJICH APLIKACE

## SPRING NETWORKS AND THEIR APPLICATION

Michal Štafa<sup>1</sup>, Petr Frantík<sup>2</sup>

### Abstrakt

Příspěvek představuje dynamický systém využívající fyzikální diskretizaci FyDiK3D. Popisuje jednotlivé fáze diskretizačního postupu na praktické, ale zároveň výpočetně náročné nelineární úloze. Všímá si současných aspektů modelu a rovněž demonstruje využití paralelních výpočtů prostřednictvím platformy Nvidia CUDA.

### Klíčová slova

Dynamický systém, fyzikální diskretizace, FyDiK3D, CUDA.

### Abstract

The paper represents dynamical system with use of physical discretization method called FyDiK3D. It describes every phase of used discretization process on practical but also time-consuming non-linear task. It observes contemporary model aspects and demonstrates use of parallel computation technique by Nvidia CUDA platform.

### Keywords

Dynamical system, physical discretization, FyDiK3D, CUDA.

## 1 Úvod

Silně nelineární problémy mechaniky jako plastická deformace nebo rozvoj trhlin v heterogenních materiálech, se velmi obtížně modelují klasickými metodami mechaniky kontinua [1]. Jedním ze způsobů jak tento problém řešit je použití metody fyzikální diskretizace, která byla prvně aplikována již před několika desítkami let [2].

Na VUT v Brně je již několik let vyvíjen diskretizační 3D model FyDiK3D [3],[4], který je postaven na bázi dynamických systémů, což navíc lépe vystihuje i mechanickou odpověď materiálu v čase.

Zda a jak je použitý model schopen se vypořádat například s úlohou plastické deformace ocelového nosníku a zda je výpočetní náročnost takového dynamického modelu i s více než 500.000 stupni volnosti únosná se pokouší zodpovědět tento příspěvek.

---

<sup>1</sup> Ing. Michal Štafa, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: stafa.m@fce.vutbr.cz

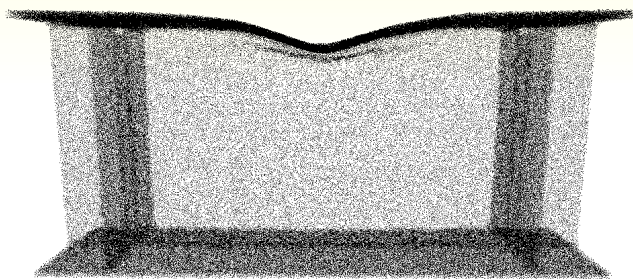
<sup>2</sup> Ing. Petr Frantík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: kitnarf@centrum.cz, www: <http://kitnarf.cz>

## 2 Aplikace

Pro aplikaci modelu byl vybrán ocelový nosník, výsledek experimentu na Ústavu kovových a dřevěných konstrukcí FAST VUT, viz obr. 1. Tvar nosníku se po deformaci vypočtené modelem FyDiK3D velice blížil tvaru získaného z experimentu, což nejlépe demonstruje obr. 2. Vzhledem k poměrně vysoké výpočetní náročnosti byla úloha paralelizována prostřednictvím platformy Nvidia CUDA. Díky ní bylo dosaženo zrychlení cca 90x.



Obr. 1 Modelovaný nosník



Obr. 2: Model po konečné deformaci

## 3 Závěr

Použitý model na vizuální shodě výsledků s experimentem prokázal svoji funkčnost a je ho možné za určitých podmínek použít pro řešení podobných silně nelineárních úloh. Současný trend paralelizace výpočtů, pro který je tato metoda vhodná jistě v brzké době celý proces ještě více zpřístupní pro výpočty na běžně dostupném hardware.

## Poděkování

*Výzkum byl realizován za finanční podpory VUT v Brně v rámci projektu specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-12-21/1653.*

## Literatura

- [1] BAŽANT, Z., M. TABBARA, M. KAZEMI a G. PIJAUDIER-CABOT. *Random Particle Model for Fracture of Aggregate or Fiber Composites*, (1990) J. Eng. Mech., 116(8), 1686–1705.
- [2] KAWAI, T. *New discrete models and their application to seismic response analysis of structures*. Nuclear Engineering and Design, Volume 48, Issue 1, June 1978, Pages 207–229.
- [3] FRANTÍK, P. *Dynamická simulace lomu tlačeného vzorku*. Modelování v mechanice 2008, VŠB-TU Ostrava, únor 2008, ISBN 978-80-248-1705-7
- [4] FRANTÍK, P. *Diskrétní model FyDiK2D*, Modelování v mechanice 2009, VŠB-TU Ostrava, květen 2009, ISBN 978-80-248-2016-3

# PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE CIRCULAR FOUNDATION PLATE

PRAVDEPODOBNOSTNÁ ANALÝZA KRUHOVEJ ZÁKLADOVEJ DOSKY

Katarína Tvrdá<sup>1</sup>

## Abstract

Author deals with the deterministic and probabilistic analysis of the internal forces and deflection of the rotary symmetrical circular plate rested on Winkler's foundation. Probability approach is used to assess the reliability and safety of the design structure.

## Keywords

Probability, reliability, foundation, Winkler, circular plate.

## Abstrakt

Autor sa zaoberá deterministickou a pravdepodobnostnou analýzou vnútorných síl a deformácií rotačne symetrickej kruhovej doske, uloženej na Winklerovom podloží.

## Kľúčové slová

pravdepodobnosť, spoľahlivosť, základ, Winkler, kruhová doska.

## 1 Introduction

In the design of structures or parts there is one of the most important tasks of assessing the reliability of the structure, and its ability to retain the confidence of the means required for the entire time of the technical properties of life. The quality of the design and methods used for the assessment of structures are being developed with increasing levels of theoretical and practical knowledge and, of course, by increasing the quality of the computer equipment. Reliability assessment method of construction can be divided into deterministic and probabilistic analysis, or simulation, half-probabilistic analysis, and others. Calculation on probability sampling is concerned with a number of authors (see [1-4]).

## 2 Numerical analysis of the rotary symmetrical loaded circular plate on elastic foundation

The bottom of a circular tank liquid will be consider as a rotary symmetrical plate (Fig.1) loaded with the uniformly distributed load of the liquid, and the contact forces from the tank walls liquid. Circular plate according to Fig. 1 is loaded by uniformly distributed load  $q = 93 \text{ kN/m}^2$  by the bending moment  $M = 12.66 \text{ kNm/m}$ , and the force  $F = 87.42 \text{ kN/m}$ .

---

<sup>1</sup> Ing. Katarína Tvrdá, PhD. Slovak University of Technology, Department of Structural Mechanics, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, +421259274291, (katarina.tvrda@stuba.sk)

The thickness of the plate is  $h = 0.5$  m, the radius  $r = 9.75$  m with the modulus of elasticity  $E = 26$  GPa,  $\nu = 0.3$  and the compressibility modulus of the soil  $C = 5000$  kN/m<sup>2</sup>. The limit deflection  $w_{DOV} = 29$  mm will not be exceeded. The load scheme is given in Fig. 1.

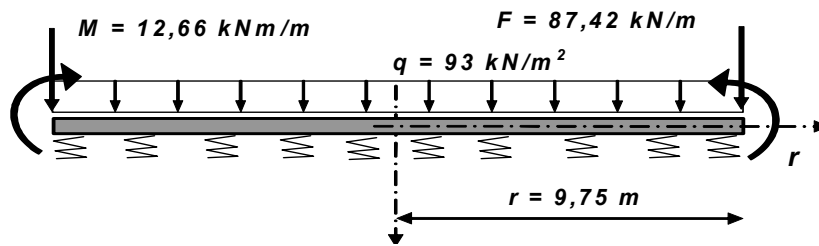


Fig. 1: Rotary symmetrical circular plate

In deterministic calculation we entered the input parameters as the fixed constants. When we used probability calculation, the input parameters specified in the range are accidentally due to inaccuracies in manufacture and the determination of material characteristics.

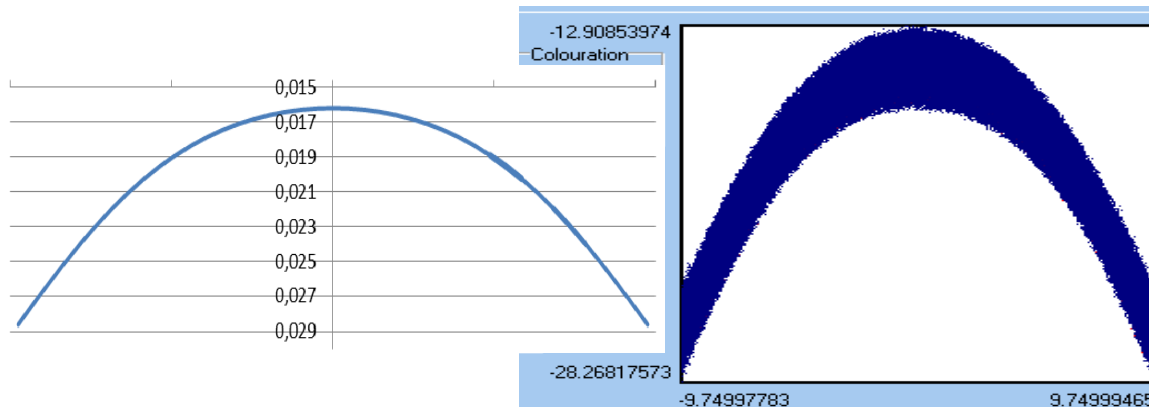


Fig.3: Diagrams of the deflection from the deterministic and probabilistic solution for  $C = 5$  MNm<sup>-2</sup>

The maximum deflection  $w_{max}$  is less than the limited point of deflection  $w_{dov}$  with the reliability of 0,999961, which represents 0,0039 % probability of damage the structure.

#### 4 Conclusion

Probability of the failure is intended or standard, for example to investors. The Czech national standard for design of steel structures ACCORDING to ČSN 73 1401 as one of the first has imposed to fully probabilistic assessment of reliability steel structures.

#### Acknowledgement

The work has been supported by the grant VEGA in Slovak republic No. 1/0480/13, No. 1/1186/12 and for the financial aid APVV 4th project EN-CZ-0028-11.

#### References

- [1] Marek, P., Brozzetti, J., Guštar M.: *Probabilistic Assessment of Structures Using Monte Carlo Simulation Background, Exercises and Software*, ITAM CAS, Prague, Czech Republic, 2003, ISBN 80-86246-19-1, pp.471.

# ANALÝZA ÚNOSNOSTI NÁHODNĚ ZAKŘIVENÉHO TLAČENÉHO TENKOSTĚNNÉHO PRUTU

THE ANALYSIS OF LOAD-CARRYING CAPACITY OF A COMPRESSION THIN-WALLED MEMBER

Jan Valeš<sup>1</sup>

## Abstrakt

Tento článek se zabývá analýzou únosnosti tlačенého ocelového prutu tenkostěnného otevřeného i uzavřeného průřezu, jehož osa je náhodně prostorově zakřivená. Počáteční zakřivení je modelováno 1D náhodným polem za pomoci metody LHS. Únosnost tlačенého prutu je pak vypočítána geometricky nelineárním řešením v programu ANSYS. Výsledky jsou prezentovány v histogramech a je provedeno srovnání únosností prutů jednotlivých průřezů mezi sebou a s hodnotou Eulerovy kritické síly.

## Klíčová slova

Únosnost, počáteční zakřivení, náhodné pole, mezní stav, tenkostěnný prut, napětí, deplanace

## Abstract

The paper deals with the analysis of load-carrying capacity of a steel beam under compression which axis is randomly spatially curved. The beam has both open and close thin-walled cross-section. The initial curvature is modelled by the 1D random field. The Latin Hypercube Sampling Method was applied. The load carrying capacity is calculated by geometrically nonlinear solution by ANSYS software. The results are presented in histograms and comparison between the load carrying capacities is done. Comparison with Euler's critical load is done as well.

## Keywords

Load carrying capacity, initial curvature, random field, limit state, thin-walled member, stress, warping

## 1 Úvod

Tento článek se zabývá analýzou únosnosti tlačенého ocelového prutu, jehož osa je náhodně prostorově zakřivená. Metodou LHS bylo vygenerováno 60 náhodných realizací zakřivení prutů a 60 náhodných realizací meze kluzu. Každé realizaci prutu náležela právě jedna realizace meze kluzu. Pro tento prut byl zvolen symetrický tenkostěnný průřez, a to jak otevřený, tak uzavřený.

S namáháním prutů takového průřezu je spojeno vázané kroucení. To vzniká v případě, bráníme-li deplanaci. Deplanaci může omezovat např. konstrukční uspořádání

---

<sup>1</sup> Jan Valeš, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95 602 00 Brno, vales.j@fce.vutbr.cz

(vazby bránící deplanaci), změna krouticího momentu podél osy prutu či změna tvaru a rozměru průřezu podél osy prutu. Vázané kroucení může vzniknout i tehdy, je-li prut namáhán příčným zatížením, neprocházejícím středem smyku, či excentricky působícím podélným zatížením. V těchto případech je vázané kroucení kombinováno s ohybem, smykem, tlakem či tahem a dochází k obecnému ohybově-torznímu namáhání.

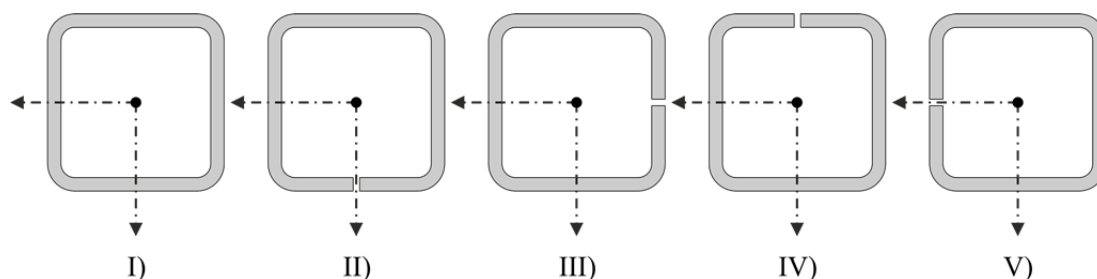
Při řešení tenkostěnných prutů se vycházelo z předpokladu tuhého nepřetvořujícího se průřezu. Únosnost tlačeneho prutu pak byla vypočítána geometricky nelineárním řešením v programu ANSYS.

## 2 Výpočtový model

Byl uvažován oboustranně kloubově uložený prut o délce  $L = 2,798$  m. Jeho únosnost byla vyšetřována pro hodnotu relativní štíhlosti  $\bar{\lambda} = 1,0$ , která je v závislosti na délce prutu a poloměru setrvačnosti definována v normě EUROCODE 3. K analýze únosnosti tohoto prutu byl v programu ANSYS použit prutový prvek BEAM188.

### 2.1 Použité průřezy

V dané úloze byly použity dva symetrické čtvercové tenkostěnné průřezy, přičemž první byl uzavřený a druhý otevřený (uprostřed jedné strany byl vytvořen zářez). Pro každou realizaci prostorového zakřivení osy prutu je pak použito těchto průřezů. Vzhledem k tomu, že počáteční zakřivení je zde nezávislé na použitém profilu, je otevřený průřez pokládán do čtyř pozic, vzniklých pootočením pokaždé o  $90^\circ$ . Únosnost prutu dané realizace je pak vypočítána pro pět průřezů podle Obr. 1.



Obr. 1: Průřezy prutu - označení

## Poděkování

Prezentované výsledky byly získány za podpory juniorského projektu specifického vysokoškolského výzkumu na Vysokém učení technickém v Brně č. FAST-J-13-1904.

## Literatura

- [1] TIMOSHENKO S., GERE J. *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill, New York, 1961.
- [2] KALA, Z. Sensitivity Assessment of Steel Members under Compression, *Engineering Structures*, 31(6), 2009, pp.1344–1348, ISSN 0141-0296.
- [3] MELCHER J. KALA Z. HOLICKÝ M. FAJKUS M. ROZLÍVKA L. Design Characteristics of Structural Steels Based on Statistical Analysis of Metallurgical Products, *Journal of Constructional Steel Research*, 60(3-5), 2004, pp.795–808, ISSN 0141–0296.

# MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŮLNÍCH OCELOVÝCH VÝZTUŽÍ

## MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL MINE SUPPORTS

Zdeněk Vašek<sup>1</sup>, Petr Janas<sup>2</sup>

### Abstrakt

Výroba důlních výztuží zahrnuje několik zásadních technologických operací, které zabezpečují jejich výsledné mechanické vlastnosti. Práce je zaměřena na studium vlivu plastické deformace za studena na základní mechanické vlastnosti důlních výztuží. Zjištěné výsledky lze dále použít pro matematické modelování reálných zkoušek a výpočtu únosnosti důlní výztuže.

### Klíčová slova

Důlní ocelová výztuž, deformační zpevnění, deformace za studena, ohýbání.

### Abstract

Manufacture of mine support includes several key technological operations that affect their resulting mechanical properties. The work is focused on the study of cold plastic deformation on the basic mechanical properties achieved after hot rolling. The results can also be used for mathematical modeling of real-world testing and calculation of bearing capacity of mining support.

### Keywords

Steel mine support, strain hardening, cold deformation, bending.

## 1 Úvod

Důlní výztuže jsou v současné době vyráběny technologií, která zabezpečuje jejich výsledné mechanické vlastnosti podle standardů KN, DIN. Cílem provedeného výzkumu bylo zjistit dopad technologie výroby důlních výztuží na jejich pevnostní vlastnosti a to po každé technologické operaci. K experimentu byly použity profily TH29, vyrobené z jakosti 31Mn4 a nově vyvíjené jakosti H500M.

## 2 Experimentální hodnocení deformačního zpevnění profilů

Za účelem zjištění zpevňovacích diagramů nově vyvíjené oceli H500M a oceli 31Mn4 byly provedeny experimenty s postupným deformačním zpevněním pomocí tahové zkoušky.

Nejvýrazněji se tahová deformace za studena projevila na přírůstku meze kluzu u obou ocelí. Při porovnání jakostí nebyly zjištěny významné rozdíly v přírůstcích zpevňování.

<sup>1</sup> Ing. Zdeněk Vašek, Ph.D., ArcelorMittal Ostrava a.s., [zdenek.vasek@arcelormittal.com](mailto:zdenek.vasek@arcelormittal.com)

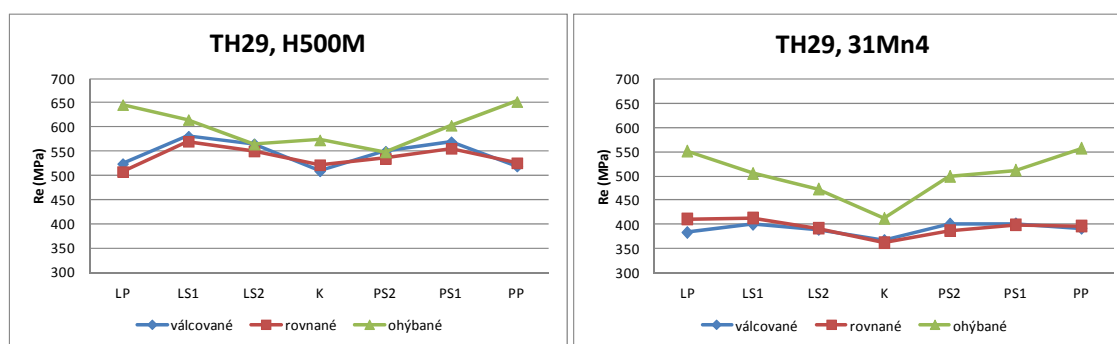
<sup>2</sup> doc. Ing. Petr Janas, Ph.D., CSc., VŠB – TU Ostrava, FAST, [petr.janas@vsb.cz](mailto:petr.janas@vsb.cz)

K uvedenému jevu dochází z důvodu vyčerpání plasticity materiálu předchozí deformací za studena.

Těchto poznatků pak bylo využito při praktickém zkoušení vzorků, odebraných v jednotlivých technologických uzlech.

### 3 Vlastnosti profilu TH29 a TH34, jakosti 31Mn4 a H500M po válcování za tepla, po rovnání a zkružování za studena

Uvedený experiment vycházel z některých výsledků, kdy byla pozorována dílčí změna mechanických vlastností po určitých technologických operacích a navazovala na teoretické rozbory, uvedené v bodě 2. Při porovnání mechanických vlastností po válcování za tepla a po rovnání profilu na rovnačkách za chladníkem byly zjišťováno zpevnění materiálu v oblasti kořene profilu o 0 - 10 %, v některých případech až o 30 %. Ze získaných výsledků pak byly sestrojeny diagramy, vyjadřující jednotlivé změny na mezi kluzu materiálu po průřezu profilu, TH29, 31Mn4 a H500M viz obr. 1.



Obr. 1 Vlastnosti TH29, H500M, 31Mn4 po jednotlivých technologických operacích

Praktickými zkouškami tak byly potvrzeny provedené výpočty zpevnování základního materiálu tahovou deformací.

### 4 Závěr

Během procesu dochází ke změnám mechanických vlastností podle fáze zpracování důlní výztuže, které se nejvýrazněji projevují na přírůstku meze kluzu, který podle poloměru ohybu může dosahovat hodnot přes 100 MPa.

Vzhledem k použití dílů důlních oblouků od rovných tyčí až po poměrně široký rozsah poloměrů je pro výpočty únosnosti nutné počítat s nejnižšími garantovanými vlastnostmi ve stavu po rovnání profilů, tedy vlastnostmi rovných tyčí ve stavu po válcování za tepla a rovnání. V rámci řešení byly stanoveny modelové rovnice, popisující závislost mechanických vlastností na stupni předdeformace, vyjádřené pomocí deformace tahem. Nejvýrazněji se stupeň předdeformace projevil na přírůstcích meze kluzu.

### Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Technologické Agentury České republiky, TAČR. Registrační číslo projektu je TA01010838.*



# NUMERICKÁ STUDIE PORUŠOVÁNÍ TĚLES Z CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ PŘI MODIFIKOVANÉM CT LOMOVÉM TESTU

NUMERICAL STUDY OF FAILURE OF CEMENTITIOUS COMPOSITE SPECIMENS IN  
MODIFIED CT FRACTURE TEST

Václav Veselý<sup>1</sup>, Jakub Sobek<sup>2</sup>

## Abstrakt

Príspevek se zabývá numerickou analýzou průběhu porušení modifikovaných Compact Tension těles plánovaných pro použití při zjišťování lomových parametrů kvazikřehkých materiálů na bázi cementu, a to včetně rozsahu lomové procesní zóny. Série těles, zahrnující tři velikosti, určená pro experimenty za využití rentgenografie, byla modelována v programu ATENA 2D. Zváženy byly různé varianty excentricity tahové síly a délek iniciačního zářezu pro optimalizaci počtu náročných experimentů.

## Klíčová slova

CT těleso, numerická simulace, lomová procesní zóna, kvazikřehký lom.

## Abstract

The paper is focused on the numerical analysis of failure process of modified Compact Tension specimens which are intended to be used for estimation of fracture parameters of quasi-brittle cement-based materials, including the extent of the fracture process zone. Specimen set (consisting of three sizes), designated to future testing in lab by X-ray imaging, was modelled in ATENA 2D software. Several variants of the tensile load eccentricity and the initial crack length were analyzed for optimization of the count of demanding experiments.

## Keywords

CT specimen, numerical simulation, fracture process zone, quasi-brittle fracture.

## 1 Úvod

Lomové parametry, vystupující jako veličiny v modelech pro popis lomového chování materiálů, jsou závislé nejen na velikosti a tvaru zkušební tělesa, ale i okrajových podmínkách při zatěžovacích zkouškách. Zejména v oblasti kvazikřehkého lomu hovoříme v této souvislosti o tzv. rozměrovém efektu (size effect), vlivu geometrie (shape effect) a vlivu volných okrajů (boundary effect) na hodnoty zjišťovaných lomových parametrů.

Pro eliminování (popř. rozpoznání) těchto vlivů z výsledků zatěžovacích zkoušek by mělo být přihlédnuto k rozsahu samotného porušení tělesa v tzv. lomové procesní zóně

<sup>1</sup> Václav Veselý, Ing., Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, vesely.v1@fce.vutbr.cz

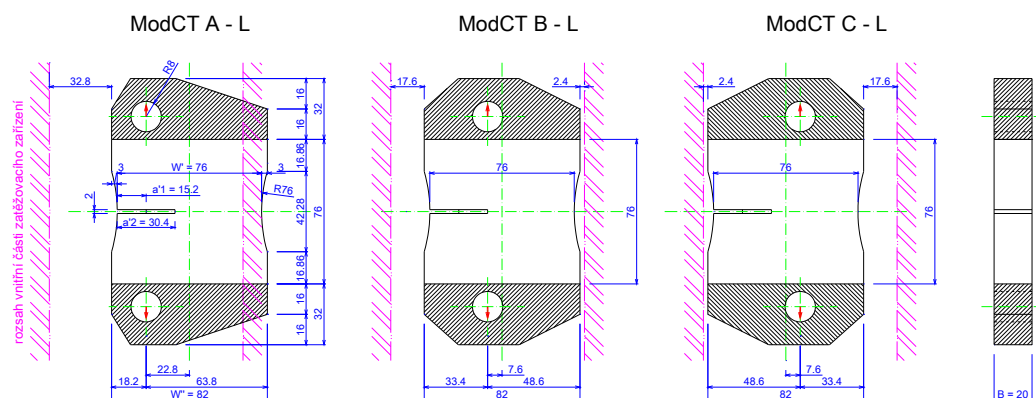
<sup>2</sup> Jakub Sobek, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, sobek.j@fce.vutbr.cz

(LPZ). Rozsah této zóny souvisí s rozložením napjatosti, determinovaným právě okrajovými podmínkami a tvarem tělesa. Předpokládá se tedy, že míra stísněnosti napětí a deformace (constraint) za čelem šířící se trhliny se pro různá tělesa a pro různé druhy zatížení mění. To, do jaké míry a jak je možné tohoto jevu využít, je předmětem představeného výzkumu. V rámci příspěvku autoři navrhuji modifikaci zkoušky excentrických tahem (Compact Tension – CT) pro její využití pro kvazikřehké materiály. Různé excentricity tahové síly způsobující výrazné změny ve stísnění napětí a deformací v okolí čela trhliny. Série těchto modifikovaných zkušebních těles je v současné chvíli připravena k testování v laboratoři při využití rentgenografie [1]. Vzhledem k možnostem experimentální techniky je nutné testovat tělesa relativně velmi malých rozměrů (v relaci s běžnými rozměry těles z cementových kompozitů, jež jsou určeny v závislosti na velikosti kameniva).

## 2 Numerická studie

Pro numerickou studii byly vybrány tři velikosti těles (označeny jako L, M a S – large, medium, small). Dále pak byly uvažovány různé excentricity vnášení tahového zatížení (A až C, viz obr 1.). Prostřednictvím této studie byl optimalizován způsob vnesení tahového zatížení do tělesa, který, vzhledem k nízké tahové pevnosti, způsobuje komplikace v provedení testů – byly uvažovány rozličné varianty v závislosti na předpokládané délce iniciačního zářezu (pro více viz plnou verzi textu příspěvku).

Numerické modely byly vytvořeny v programu ATENA 2D, umožňující nelineární analýzu porušení konstrukce trhlinami. Obr. 1 ukazuje schéma těles L, která jsou umístěna do pomyslného zatěžovacího zařízení (používaného při rentgenografii). Tělesa jsou opatřena finální podobou přílohek přilepených k tělesům.



Obr. 1: Schéma řady modifikovaných CT těles největší uvažované velikosti (rozměry v mm)

## Poděkování

Výzkum byl realizován za finanční podpory GA ČR (projekt P105/11/1551) a VUT v Brně (projekt specifického vysokoškolského výzkumu FAST-S-12-21/1653).

## Literatura

- [1] VAVŘÍK, D., T. FÍLA, I. JANDEJSEK, V. VESELÝ, P. FRANTÍK a Z. KERŠNER. Fracture Process in Silicate Composite Specimens – X-ray Dynamic Observation and Numerical Modelling. In: *Proceedings of the 19th ECF*, Kazan, Rusia, Kazan Scientific Centre of the Russian Academy of Science, Kazan, 2012, 9 p. ISBN 978-5-905576-18-8.

# MODELLING OF REINFORCEMENT CORROSION IN RC STRUCTURES

Dita Vořechovská<sup>1</sup>, Břetislav Teplý<sup>2</sup>

## Abstract

An assessment of deteriorative effects on reinforced concrete structures is presented focusing mainly on the propagation of the reinforcement corrosion stage. It necessitates the utilization of relevant models and advanced simulation techniques to enable the probabilistic analysis of concrete structures and service life prognosis. Several analytical models for the initiation of concrete cracking, for crack width and for a decrease in the effective reinforcement cross-section are briefly presented. The described approach is applied to some illustrative examples showing the feasibility of predicting the development of reinforcement corrosion and its effect on the service life and/or reliability of the structure. The authors believe that such methodology supports the optimisation of design strategies as well as effective decision-making processes.

## Key words

Limit states, Reinforcement corrosion, Reliability, Modelling.

## 1 Introduction

Among the key factors influencing reinforcement corrosion in concrete are the presence of moisture and the ingress of oxygen from the air. A number of models have been developed which can be roughly divided into two categories – empirical models and more complex electrochemical models. For the purpose of introducing a practical approach for the prognosis of the service life and relevant reliability level of concrete structures the simplest models are utilized in the present work. Inherent uncertainties in the material, technological and environmental characteristics of reinforced concrete structures have to be considered while solving such problems.

## 2 Software tool

The authors of this paper and their colleagues have developed a software application called FReET-D [1] in which all relatively well-known models are summarized within the framework of a unified software environment. In FReET-D a combination of analytical models and simulation techniques has been amalgamated to form specialized software for assessing the potential degradation of newly designed as well as existing concrete structures. The included models for carbonation, chloride ingress and corrosion of reinforcement (among other phenomena) can be directly employed in the durability assessment of concrete structures in the form of a durability LS, i.e. the assessment of service life and of the level of the relevant reliability measure. Several features are

---

<sup>1</sup> Ing. Dita Vořechovská, Ph.D., Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Structural Mechanics, Veveří 95, 60200 Brno, vorechovska.d@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc., Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Chemistry, Žižkova 17, 60200 Brno, teply.b@fce.vutbr.cz

offered including parametric studies and Bayesian updating. Altogether, 32 models are implemented as pre-defined dynamic-link library functions.

### 3 Example - critical crack width on the concrete surface

A parametric study utilizing the model by Li et al. [2] implemented in FReET-D is demonstrated in this example. The limit state condition is constructed in this case in the form:

$$P_f(t_D) = P\{w_{cr} - w_a(t_D) \leq 0\} \leq P_d, \quad (1)$$

where  $w_{cr}$  is the limit value of a crack width equal to 0.3 mm – one of the essential limits for the serviceability assessment of corrosion-affected RC structures. The actual corrosion-induced crack width  $w_a$  over time is computed according to [2]. In this example, time  $t_D$  represents the propagation period only; to gain a service life prediction the appropriate initiation period must be added.

Fig. 1 shows the reliability index  $\beta$  vs. concrete cover for three different propagation time values; the limit value of  $\beta = 1.5$  prescribed typically for SLS is also shown in the figure.

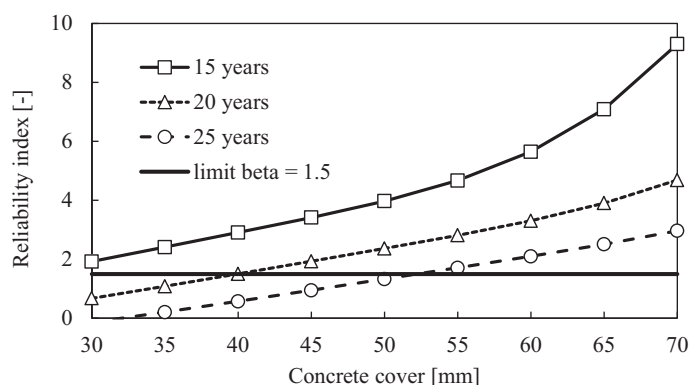


Fig. 1: Reliability index  $\beta$  after 15, 20 and 25 years of steel corrosion development.

### 4 Concluding remarks

The use of modelling in the field of reinforcement corrosion in RC structures has recently increased; nevertheless, it is recommended that users be aware of the conditions under which the model in question was developed. A broader choice of models is useful e.g. due to problems with the availability of statistical data for the input variables of some models. The usefulness of effective degradation modelling and hence reliable design/assessment for durability may enhance decision processes and, as a consequence, bring positive financial and sustainability impacts.

### Acknowledgements

Financial support from the Brno University of Technology (project No. 2790230 09490) is gratefully acknowledged.

### References

- [1] VESELÝ, V., TEPLÝ, B., CHROMÁ, M., VOŘECHOVSKÁ, D. AND ROVNANÍK, P. *FReET-D*, version 1.3, User Manual, Revision 09/2012.
- [2] LI, C.Q., MELCHERS, R.E. AND ZHENG, J.J.. An analytical model for corrosion induced crack width in reinforced concrete structures. *ACI Structural Journal*, 103 (4), 2006, p. 479-482.

# PROCES VÝVOJE KORELACE PŘI NÁHODNÝCH ZÁMĚNÁCH POŘADÍ ELEMENTŮ

CORRELATION PROCESS RESULTING FROM RANDOM SWAPPING OF  
ELEMENTS' ORDER

Miroslav Vořechovský<sup>1</sup>, Jana Kaděrová<sup>2</sup>

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá sledováním vlastností procesu vývoje statistické korelace dvou náhodných vektorů při náhodné záměně pořadí jednotlivých elementů. V praxi se tato metoda používá pro zavedení požadované korelace nebo pro odstranění statistické závislosti mezi vektory vzorků (souřadnic) náhodných veličin. V příspěvku jsou studovány vlastnosti takového procesu vývoje korelace s ambicí porovnat výkonnost metody s jinou, dříve vyvinutou metodou pro zavádění korelace.

## Klíčová slova

Vzorkování metodou Monte Carlo, zavádění korelace, simulované žhání, Gaussovský stacionární náhodný proces.

## Abstract

The contribution deals with properties of a process of statistical correlation between two vectors of samples of random variables that result from random swaps of their order. This method is being applied when controlling correlations or removing undesired statistical dependence.

## Keywords

Monte Carlo Sampling, correlation control, simulated annealing, Gaussian stationary random process

## 1 Úvod

Vzorkování náhodných vektorů je důležité nejen pro statistiku, ale také pro celou řadu jiných oborů výzkumu a odborné praxe jako např. ekonomie, návrh experimentů nebo operační výzkum. Vzorkování je také důležitým krokem v metodách typu Monte Carlo, které lze použít pro inženýrskou praxi. Informace o sdružené hustotě pravděpodobnosti náhodných vektorů, které se vyskytují v inženýrství, je často zúžena na znalost marginálních hustot jednotlivých veličin a korelační matice  $\mathbf{T}$ . Vystižení marginálních hustot se s výhodou provádí pomocí vzorků vybraných metodou Latin Hypercube Sampling (LHS), neboť tato metoda zajišťuje dokonale rovnoměrné pokrytí definičního oboru veličiny vzhledem k pravděpodobnostem. Dalším důležitým aspektem vzorkování vektorů je schopnost vystihnout požadovanou korelační strukturu. Nejjobecněji se

<sup>1</sup> doc. Ing. Miroslav Vořechovský, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavení mechaniky, Veveří 95, 602 00 Brno, e-mail: vorechovsky.m@fce.vutbr.cz

<sup>2</sup> Ing. Jana Kaděrová., pracoviště stejné jako 1, e-mail: kadero.j@fce.vutbr.cz

požaduje jednotková matice  $T$ , která odpovídá vzájemně nekorelovaným náhodným veličinám. Taková korelační matice je nejčastější a vyřešení problému odstranění korelace je důležitým krokem před zavedením libovolné korelační matice.

Problém zavádění požadované korelace byla ústředním tématem prací [1, 2], kde je navrženo zavádění požadované korelace záměnami vzájemného pořadí vzorků jednotlivých náhodných veličin. Proces záměn pořadí je doporučeno provádět za pomoci metody simulovaného žihání, která se ukázala jako mimořádně robustní a výkonná pro uvedený problém. Studie publikované v [3] ukazují, že popsaná metoda je mnohem výkonnější, než jiné obecně známé metody pro zavádění korelace nebo odstraňování nechtěné korelace. Co však schází, je teoretický rozbor a zdůvodnění takové účinnosti.

Tato práce si klade za cíl položit základy pro zdůvodnění výkonnosti metody simulovaného žihání. V práci je studována jednodušší varianta, při které je teplota v metodě žihání nekonečná, a proto všechny změny konfigurace systému (změny vzájemného pořadí vzorků) jsou vždy přijaty. Ve studovaném problému to znamená, že jsou přijaty všechny navržené záměny pořadí hodnot (vzorků) pro jednotlivé náhodné veličiny. V textu je pro jednoduchost studován problém pro pár náhodných veličin a Spearmanův korelační koeficient s tím, že zobecnění výsledků pro větší počet náhodných veličin není složitý.

Jsou studovány vlastnosti procesu náhodné korelace a normy korelace (chyby), které vznikají záměnami párů vzorků jedné náhodné veličiny vůči vzorkům druhé náhodné veličiny. Uvedené záměny vyvolávají změny v korelačním koeficientu, a tím pádem i změny absolutní hodnoty korelace. Je ukázáno, že počáteční náhodné párování vzorků vede na normální rozdělení korelačního koeficientu, a proces záměn párů je Gaussovský, stacionární s exponenciální autokorelační funkcí o korelační délce vztahované k počtu realizací (vzorků) veličin  $N_{\text{sim}}$ . Je odvozeno, jaké rozdělení mají změny korelace vyvolané jednotlivými záměnami (rozdíl korelačního koeficientu po a před záměnou pořadí). Dále jsou studovány vlastnosti absolutních hodnot výše popsaného procesu, který má half-normální rozdělení. U tohoto procesu chyby korelace je studováno rozdělení minima po  $N_{\text{trial}}$  záměnách pořadí. Je ukázáno, že pro dostatečný počet náhodných záměn lze autokorelaci procesu zanedbat a minima uvažovat za použití teorie extrémních hodnot nezávislých a stejně rozdělených veličin. Nakonec je studován počet náhodných záměn pořadí, který je nutný k dokonalému odstranění odhadnuté korelace mezi veličinami. Příspěvek tedy plně charakterizuje výsledky, kterých lze při zavádění/odstraňování korelace dosáhnout proudem náhodných záměn pořadí vzorků.

## Poděkování

*Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím projektu Specifického vysokoškolského výzkumu pod číslem FAST-S-12-5.*

## Literatura

- [1] VOŘECHOVSKÝ, M. a D. NOVÁK. Correlation control in small-sample Monte Carlo type simulations I: A simulated annealing approach. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2009, vol. 24, issue 3, s. 452-462.
- [2] VOŘECHOVSKÝ, M. Correlation control in small sample Monte Carlo type simulations II: Analysis of estimation formulas, random correlation and perfect uncorrelatedness. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2012, vol. 29, s. 105-120.
- [3] VOŘECHOVSKÝ, M. Correlation in probabilistic simulation. In: FABER, M. H. *Sborník příspěvků konference ICASP 2011 Zürich*, 2011, s. 2931-2939.

11. mezinárodní konference / 11th International conference  
**MODELOVÁNÍ V MECHANICE 2013 /**  
**MODELLING IN MECHANICS 2013**

„u příležitosti 70. narozenin Doc. Ing. Petra Janase, CSc.“

22. - 23. 5. 2013

**Sborník rozšířených abstraktů / Proceedings of the extended abstracts**

Mezinárodní konference Modelování v mechanice je dlouhodobě pořádané setkání výzkumných pracovníků z České republiky i zahraničí, které organizují Katedra stavební mechaniky a Katedra konstrukcí Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava. Konference poskytuje prostor pro prezentování a publikování původních vědecko-výzkumných příspěvků, zaměřených na různé oblasti mechaniky a modelování nejen stavebních konstrukcí. Cílem konference je prohloubit spolupráci mezi vědeckými pracovníky a doktorandy z tuzemských i zahraničních vysokých škol a vědeckých pracovišť.

**Tematické okruhy / Topics**

Konference je zaměřena na následující tematické okruhy /  
The conference is focused on the following topics:

- rozvoj a aplikace numerických metod v mechanice / development and application of numerical methods in mechanics,
- metody řešení rozsáhlých úloh mechaniky kontinua / methods used in extensive tasks dealing with mechanics of continuum,
- numerické modelování statického a dynamického chování betonových, zděných, ocelových, dřevěných a kompozitních stavebních konstrukcí / numerical modelling of static and dynamic behaviours of concrete, brick, steel, timber and composite building structures,
- interakce stavebních konstrukcí s podložím / interaction between subsoil and building structures,
- vliv poddolování na stavební objekty / influence of undermining on building structures,
- zatížení a odezva konstrukcí v extrémních podmínkách / loads and responses of structures in extreme conditions,
- sanace, rekonstrukce a zesilování nosných konstrukcí staveb / rehabilitation, reconstruction and reinforcement of load-carrying structures in buildings,
- statika a dynamika stavebních konstrukcí / statics and dynamics of building structures,
- automatizace inženýrských úloh / automation of engineering tasks,
- mechanika materiálu / mechanics of materials,
- nelineární mechanika / non-linear mechanics,
- lomová mechanika / fracture mechanics,
- experimentální ověřování konstrukcí / experimental verification of structures,
- modelování teplotně namáhaných konstrukcí včetně požární odolnosti / modelling of structures subject to heat, incl. fire resistance,
- spolehlivostní a pravděpodobnostní úlohy v mechanice / reliability and probability tasks in mechanics.

**Vědecký výbor konference / Scientific committee**  
(v abecedním pořadí / in alphabetical order)

prof. Ing. Ján Brodniansky, Ph.D., STU v Bratislavě  
doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Ludovít Fillo, Ph.D., STU v Bratislavě  
Ing. Petr Frantík, Ph.D., VUT v Brně  
prof. Ing. Jaroslav Halvoník, PhD., STU v Bratislavě  
doc. Ing. Petr Janas, CSc., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., VUT v Brně  
prof. Ing. Juraj Králik, Ph.D., STU v Bratislavě  
doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc., ČVUT v Praze  
doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Josef Macháček, DrSc., ČVUT v Praze  
prof. Ing. Jozef Melcer, DrSc., Žilinská univerzita v Žilině  
prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc., VUT v Brně  
prof. Ing. Milan Moravčík, CSc., Žilinská univerzita v Žilině  
doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc., VUT v Brně  
doc. Ing. Stanislav Pospíšil, Ph.D., ÚTAM AV ČR a VŠB-TU Ostrava  
Ing. Stanislav Seidl, Ph.D., VUT v Brně  
prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., ČVUT v Praze  
Ing. Václav Veselý, Ph.D., VUT v Brně a VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Josef Vičan, CSc., Žilinská univerzita v Žilině  
prof. Ing. Jan Vitek, CSc., ČVUT v Praze

**Recenzenti publikovaných příspěvků / The published articles are reviewed by:**

doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Petr Janas, CSc., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., VŠB-TU Ostrava  
doc. Ing. Stanislav Pospíšil, Ph.D., ÚTAM AV ČR a VŠB-TU Ostrava

Za jazykovou správnost odpovídá autor.

web: <http://www.fast.vsb.cz/228/cs/okruhy/konference-a-seminare/modelovani-v-mechanice/>

© Vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Tisk a vazba: in-PRESS CZ s.r.o., Opletalova 608/2, 736 01 Havířov  
Náklad: 70 ks

Plné znění příspěvků obsahuje CD-ROM (ISBN 978-80-248-2985-2)