



## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-0246-12**

**Pokročilé metódy modelovania a simulácie SMART mechatronických systémov**

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Justín Murín, DrSc.**

Príjemca **Fakulta elektrotechniky a informatiky STU**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Technische Universität Wien, Rakúsko
2. Fachhochschule Wiener Neustadt, Rakúsko
- 3.

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. žiadne
- 2.
- 3.

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. AMINBAGHAI, Mehdi - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - MANG, Herbert A. Torsional warping eigenmodes including the effect of the secondary torsion moment on the deformations. In Engineering Structures. Vol. 106, (2016), s. 299-316. ISSN 0141-0296. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-84946426777 ; CC: 000367022000023. Received 11 May 2015, Revised 9 October 2015, Accepted 11 October 2015, Available online 11 November 2015, Paper form 1 January 2016.
2. KUGLER, Stephan - FOTIU, Peter, A. - MURÍN, Justín. Thermo-elasticity in shell structures made of functionally graded materials. In Acta Mechanica. DOI 10.1007/s00707-015-1550-9. Springer Vienna, ISSN 1619-6937, Received 20 August 2015, Revised 27 November 2015, Available online 20 January 2016.

3. MURÍN, Justín - AMINBAGHAI, Mehdi - HRABOVSKÝ, Juraj - GOGOLA, Roman - KUGLER, Stephan. Beam finite element for modal analysis of FGM structures. In Engineering Structures. Vol. 121, (2016), s. 1-18. ISSN 0141-0296.
4. DOBROČKA, E. - NOVÁK, P. - BÚC, D. - HARMATHA, L. - MURÍN, J. X-ray diffraction analysis of residual stresses in textured ZnO thin films. In Applied Surface Science. ISSN 0169-4332. In Press, Corrected Proof.
5. BOCK, Igor - JARUŠEK, Jiří - ŠILHAVÝ, Miroslav. On the solutions of a dynamic contact problem for a thermoelastic von Kármán plate. In Nonlinear Analysis : Real World Applications. Vol. 32, (2016), s. 111-135. ISSN 1468-1218.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Rozvoj moderných numerických postupov pri riešení funkcionálne gradovaných materiálových štruktúr a materiálov s tvarovou pamäťou. Vývoj nových elementov metódy konečných prvkov pre uvedené SMART štruktúry a materiály a ich implementácia do počítačových kódov. Získanie nových poznatkov z oblasti experimentálneho merania mechanických vlastností viacvrstvových štruktúr s premenlivými vlastnosťami. Uplatnenie nových poznatkov v pedagogickom procese vo všetkých troch stupňoch vysokoškolského vzdelania.

### **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

#### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku** (max. 20 riadkov)

Výsledky riešenia projektu je možné rozdeliť do 3 hlavných oblastí:

- V oblasti vývoja a výskumu matematicko-fyzikálnych modelov vytvorených z kompozitných a FGM materiálov boli odvodené nové postupy pre homogenizáciu materiálových vlastností FGM, odvodené MKP rovnice pre nové FGM elektro-tepelno-mechanické konečné prútové a nosníkové prvky a termo-elastické FGM škrupinové prvky. Bola realizovaná programová implementácia odvodených MKP rovníc a overené odvodené nové konečné prvky na multifyzikálnych mechatronických systémoch riadených pomocou spätnoväzobnej radiacej slučky.
- V oblasti tvorby fyzikálnych vzoriek určených na verifikáciu numerických výsledkov bolo vytvorené pracovisko nanášania tenkých vrstiev z FGM, vyhotovené vzorky a ich identifikácia. Ďalej boli realizované merania mechanických vlastností nosníkových a škrupinových štruktúr s premenlivými materiálovými vlastnosťami za účelom validácie odvodených numerických postupov.
- V oblasti výskumu SMA aktuátorov bolo vytvorené pracovisko SMA stanu za účelom merania vlastností SMA aktuátorov, ďalej boli vytvorené komplexné multifyzikálne MKP modely SMA aktuátora s rôznymi modifikáciami uchyťovacích členov a boli tiež vytvorené zjednodušené statické a dynamické modely SMA aktuátora so sústredenými parametrami, pre ktoré boli tiež vytvorené lineárne a nelineárne radiace štruktúry

#### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku** (max. 20 riadkov)

The results of the project can be separated into 3 main areas:

- In the area of research and development of mathematical and physical models for composite and FGM materials, new procedures for the homogenization of FGM material properties were derived, new FEM equations were derived for new FGM electro-thermo-mechanical line and beam finite elements and thermo-elastic FGM shell elements. FEA software implementations were realized based on the derived equations and new finite elements. These Software Implementations were validated on multiphysical mechatronic systems controlled by feedback control loop.
- In the area of physical sample manufacturing for numerical result verification, an FGM thin-layer deposition workplace has been established, physical samples were created and

identified. Furthermore, measurements of mechanical properties were performed on beam and shell structures with varying material properties for the validation of the derived numerical procedures.

- In the area of SMA actuator research, a new workplace with an SMA measuring stand has been assembled to facilitate the measurement of SMA actuator properties and complex multiphysical FE models of SMA actuators were created with various modifications of fastening clamps. Additionally, simplified static and dynamic models of SMA actuators with lumped parameters have also been created, together with their linear and nonlinear control structures.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

**Zodpovedný riešiteľ**

prof. Ing. Justín Murín, DrSc.

V Bratislave 24.10.2016

**Štatutárny zástupca príjemcu**

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec

V Bratislave 28.10.2016

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu