

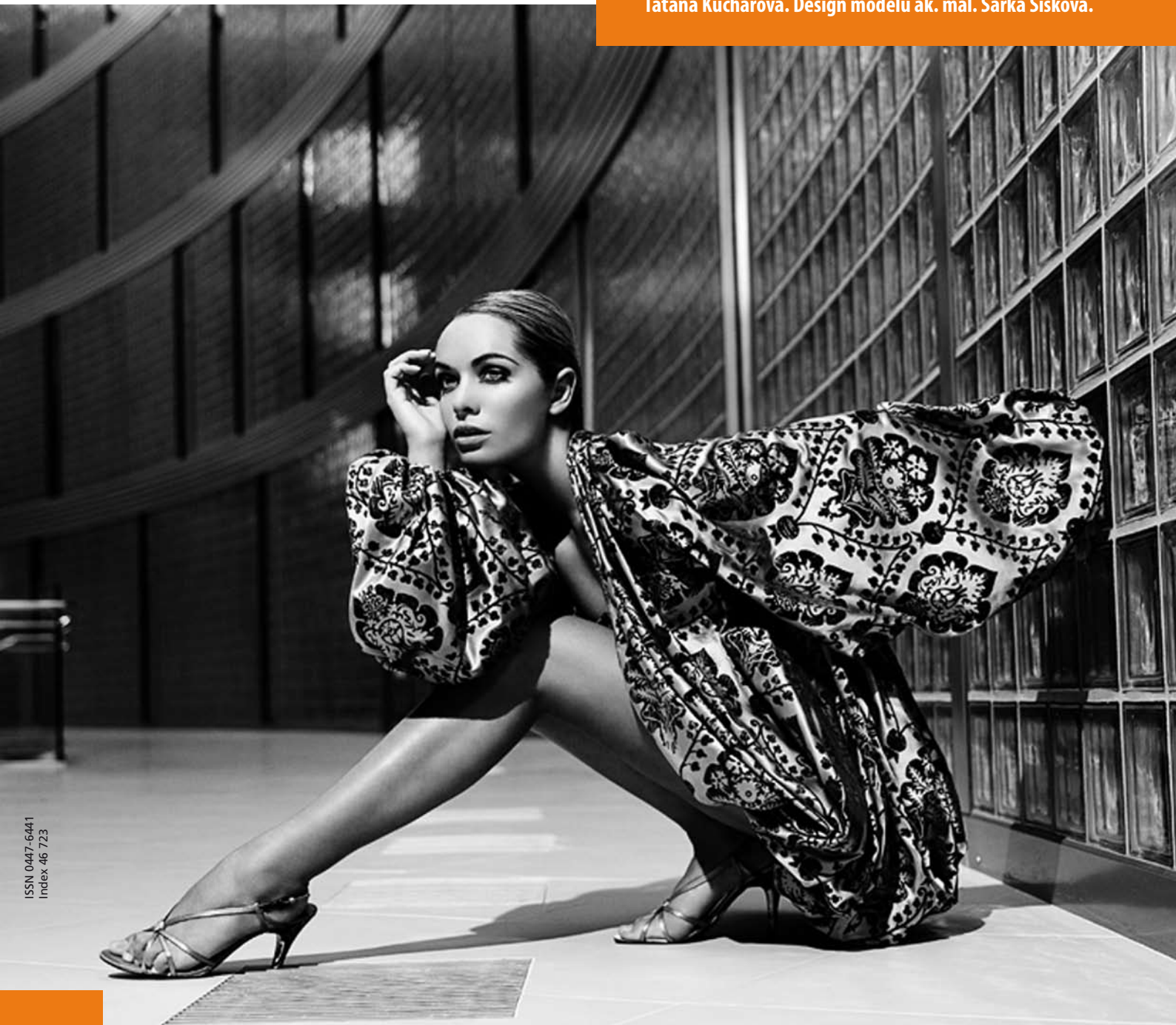
**5**  
**2008**

# JMO

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Tomas Bata University in Zlín

Foto Lucie Robinson pro Univerzitu Tomáše Bati ve Zlíně.  
Univerzitní centrum ve Zlíně. Modelka Miss World 2006  
Taťána Kuchařová. Design modelů ak. mal. Šárka Šišková.









## REDAKČNÍ RADA

**Předseda:** RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, s.r.o., Přerov

**Členové:** RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, prof. RNDr. Dr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, prof. Ing. Pavol HORNÁK, DrSc., STU, Bratislava, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, v.v.i., Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, doc. RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, prof. RNDr. Bohumila LENCOVÁ, CSc., ÚPT AV ČR, v.v.i., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, prof. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, RNDr. František MÁCA, CSc., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Ing. Monika MÍCHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava, doc. RNDr. Miroslav MILER, DrSc., ÚFE AV ČR, v.v.i., Praha, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, Ph.D., UK, Bratislava, RNDr. Petr SCHOVÁNEK, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, v.v.i.

**Ředitel FZÚ AV ČR, v.v.i.:** Jan ŘÍDKÝ, CSc.

**Odpovědný zástupce vydavatele:** prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc.

**Šéfredaktor:** dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

**Adresa redakce v Olomouci** (předplatné, nakladatelské služby):

SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: eva.pelcova@upol.cz

**Adresa redakce v Přerově** (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Nevyžádané materiály se nevrací. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

**Vychází:** 10x ročně (z toho 2 čísla jako dvojčísla)

**Předplatné:** Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Československou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zaslání poštou 300,- Kč/rok.

**Rozšiřuje** vydavatel a Podniková prodejna Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov.

**V Slovenské republice je kontaktní místo:** prof. RNDr. Anton Štrba, CSc., katedra experimentální fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 2 65 426 706, e-mail: Strba@fmph.uniba.sk

**V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:**

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.utc.sk

**Tiskne** TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov,

tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

**Inzerce:** redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,

tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2008

# JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS  
ROČNÍK 53 5/2008

## OBSAH

<b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (UTB).....</b>	131
<b>Univerzita Tomáše Bati se představí v New Yorku .....</b>	131
<b>K devadesátým narozeninám doktorky Věry Blumové (J. Eigl, A. Mikš) .....</b>	132
<b>Experimentální stanovení modulu pružnosti hadic (L. Hružík, M. Vašina).....</b>	133
<b>Algoritmy fraktálového kódování obrazů (M. Čandík, F. Včelař).....</b>	136
<b>Mezinárodní strojírenský veletrh – Nitra (rp) .....</b>	139
<b>Fotovoltaické systémy pro přímou transformaci solární energie (M. Vašina) .....</b>	140
<b>VELETRH CONTROL POPRVÉ NA NOVÉM VÝSTAVIŠTI VE STUTTARTU (Jan Kůr) .....</b>	142
<b>Vizualizace blízkých elektromagnetických polí elektronických systémů (V. Křesálek, M. Navrátil, J. Ivanka, T. Košina).....</b>	143
<b>Veletrh AUTOMATICA v Mnichově .....</b>	145
<b>Měření modulu pružnosti kapalin (M. Vašina, L. Hružík) .....</b>	146
<b>Vliv znečištění atmosféry na výkonnost solárních panelů (M. Vašina, D. Fojtů) .....</b>	148
<b>Uplatnenie matematickej aproximácie v procese korekcie rozmerného defektu rezného nástroja (R. Krehel, J. Dobránsky) .....</b>	150
<b>OPTATEC 2008 .....</b>	152
<b>Aplikácia optického profilometra microprof FRT v experimentálnej štúdií topografie povrchu hliníka vytvoreného hydroabrazívnym delením (S. Hloch, J. Valíček, K. Páleniková) .....</b>	153
<b>Využití odpadních polyuretanových materiálů při tlumení vibrací (M. Vašina, V. Volčík) .....</b>	157
<b>Z technické knihovny (J. Novák) .....</b>	159

Bližší informace o poslání časopisu, pokyny pro autory, obsah časopisu apod. je uveden na internetu:

<http://www.fzu.cz/struktura/casopisy/jemnam/jemname.php>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

## ADVISORY BOARD

**Chairman:** Miloslav VYCHODIL - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.)

**Members:** Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRA-BÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KRĚSÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Bohumila LENCOVÁ - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), František MÁČA, Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Ing. Monika MÍČHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav MILLER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STU-DENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen - Nürnberg, Erlangen (Germany), Michael J. LALOR, Liverpool John Moores University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

## FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic under participation of The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) in the Publishing House of the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic.

**Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic:** Jan ŘÍDKÝ

**Editor:** Miroslav HRABOVSKÝ

**Managing Editor:** Jaroslav NEVŘALA

**Address of the Editor's office in Olomouc** (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: eva.pelclova@upol.cz

**Address of the Editor's office in Přerov** (Managing Editor): Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

Reproduction only with permission of the Editor and under observing the copyright. Unasked manuscripts are not sent back. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.

**Subscription fee:** Annual fee is 420,- CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovak Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120,- CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120,- CZK per year, annual subscription including postage is 300,- CZK.

**Distribution:** by the Publisher, Company Sales shop of Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

**Contact place for the Slovak Republic:** Anton Štrba, Department of Experimental Physics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 15 Bratislava, phone: 00421 2 65 426 706, e-mail: strba@fmph.uniba.sk

**Printing:** TYPOServis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, phone: 573 398 746 (from abroad: ++420 573 398 746). e-mail: dtp@typoservis.cz

**Advertising:** editor's office, Kabelíkova 1, CZ-750 02 Přerov, fax: 581 242 222.

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2008

# FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL  
VOLUME 53 5/2008

## CONTENTS

<b>Tomas Bata University in Zlín (UTB)</b> .....	131
<b>Tomas Bata University will introduce itself in New York</b> .....	131
<b>Dr. Věra Blumová in her 90th</b> (J. Eigl, A. Mikš) .....	132
<b>Experimental Determination of Modulus of Elasticity of Hoses</b> (L. Hružík, M. Vašina) .....	133
<b>Algorithms of Fractal Image Coding</b> (M. Čandík, F. Včelář).....	136
<b>International engineering trade-fair Nitra</b> (rp) .....	139
<b>Photovoltaic Systems for Direct Transformation of Solar Energy</b> (M. Vašina).....	140
<b>Trade-fair CONTROL for the first time in the new exhibition centre in Stuttgart</b> (Jan Kūr).....	142
<b>Visualization of near electromagnetic fields of electronic systems</b> (V. Křesálek, M. Navrátil, J. Ivanka, T. Košina).....	143
<b>Trade-fair AUTOMATICA in München</b> .....	145
<b>Measurement of Modulus of Elasticity of Liquids</b> (M. Vašina, L. Hružík).....	146
<b>Influence of Atmospheric Pollution on Solar Panels Efficiency</b> (M. Vašina, D. Fojtů) .....	148
<b>Application of mathematical approximation for correction process of cutting tool size defect</b> (R. Krehel, J. Dobránsky).....	150
<b>OPTATEC 2008</b> .....	152
<b>Application of optical profilometer microprof FRT in experimental study of aluminium surface topography created by abrasive waterjet</b> (S. Hloch, J. Valíček, K. Páleníková).....	153
<b>Application of waste polyurethane materials at vibration damping</b> (M. Vašina, V. Volčík) .....	157
<b>From technical library</b> (J. Novák).....	159

For further information about the journal intention, instructions for authors, contents etc. please refer to <http://www.fzu.cz/struktura/casopisy/jemname.php>.

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 223 936, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

# Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (UTB)

- je mezi českými univerzitami výjimečná tím, s jakou rychlostí a razancí byla vybudována
- dynamičnost jejího růstu bývá přirovnávána k ekonomickému zázraku a srovnávána s někdejší expanzí obuvnické firmy Baťa
- pojmenována je po geniálním podnikateli Tomáši Baťovi (1876 – 1932), zakladateli obuvnického průmyslu ve Zlíně, který se proslavil po celém světě
- UTB je respektovanou středně velkou státní vysokou školou s více než 11 000 studenty a 750 zaměstnanci
- jako jediná vysoká škola v České republice je UTB dvojjazyčná: jednacím jazyky jsou čeština a angličtina
- UTB je plně otevřena světu a všem pokrokovým myšlenkám
- o studium na UTB projevuje zájem stále větší množství českých i zahraničních studentů studenti oceňují především kvalitní materiální vybavení, dobré podmínky pro studium a individuální přístup pedagogů
- do Zlína přijíždí také mnoho studentů Ph.D. programů a vědců, kteří se s nadšením podílejí na vědecko-výzkumné práci UTB a na jejích inovačních aktivitách

## OBLASTI VZDĚLÁVÁNÍ

je vrcholnou vzdělávací institucí (jedinou ve Zlínském kraji), na níž se vyučují následující obory:

- technologie
- informatika
- ekonomie
- marketing
- výtvarná umění (animovaná tvorba, audiovizuální, design oděvů, design obuvi, grafický design, průmyslový design, prostorová tvorba, 3D design, reklamní fotografie, vizuální komunikace)
- filologie
- pedagogika
- zdravotnictví

## NOVÉ UNIVERZITNÍ CENTRUM

Nejmodernější architekturu města Zlína reprezentuje společný projekt města Zlína a univerzity, jímž je Kongresové a univerzitní centrum. To vzniká v atraktivní lokalitě v centru Zlína.

Hlavní součástí Kongresového centra, jež bude patřit statutárnímu městu Zlín, bude multifunkční sál pro 700 osob (jehož výstavba dosud není ukončena), který bude sloužit k pořádání koncertů a dalších kulturních akcí. V Univerzitním centru, které je již vybudováno a patří univerzitě (vyrostlo během 18 měsíců v letech 2006-8), je umístěna pětipodlažní univerzitní knihovna



Nové sídlo Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, Univerzitní centrum, autorka prof. Eva Jiříčková

a rektorát. Knihovna poskytuje svým uživatelům služby na bázi nejnovějších informačních a komunikačních technologií. Projekt celého komplexu zpracovalo pracoviště prof. Evy Jiříčkové, atelieru AI DESIGN, s. r. o., Praha.

Architektka Eva Jiříčková je v zahraničí uznávanou „první dámou“ stylu high-tech. Je jedinou žijící ženou, která se dostala do knihy Století designu, v níž je uvedena mezi průkopníky designu 20. století. Je nositelkou titulu Královský průmyslový designér a Řádu Britského impéria. V zahraničí se proslavila zejména originálními schodišti vyrobenými ze skla a kovu, a také návrhy prestižních módních obchodů. V České republice projektovala např. skleník Oranžerie Pražského hradu, interiéry Tančícího domu v Praze, rekonstrukci hotelu Josef nebo kostela Sv. Anny.

## Univerzita Tomáše Bati se představí v New Yorku

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně si připravila rozsáhlou prezentaci pro České centrum v New Yorku. Společně s městem Zlín se představí na akci nazvané ZLiNY, která bude zahájena v době od 15. do 20. května 2008 v několika výstavních prostorech v New Yorku a potrvá do 31. července 2008. První ucelená prezentace města Zlína v New Yorku představí jeho historii, architekturu, design, módu, film, vzdělávání, turistiku a obchod.

Univerzita Tomáše Bati se bude v New Yorku prezentovat následujícími aktivitami:

výstavou uměleckých fotografií **Fashion and Architecture**, které vznikly v nové budově Univerzitního centra architektky prof. Evy

Jiříčkové. Kolekce čtrnácti velkoplošných fotografií zachycuje spojení ženské krásy a moderní high tech architektury. Autorkou fotografií je přední módní fotografka Lucie Robinson, které pózovala Miss World 2006 Taťána Kuchařová. Modely pro Taťanu Kuchařovou navrhla ak. malířka Šárka Šišková, vedoucí atelieru Design oděvů zlínské univerzity.

S výstavou bude souviset přednáška světově uznávané architektky a zlínské rodačky prof. Evy Jiříčkové s názvem **Architecture**, věnovaná baťovské, ale i nejmodernější architektuře města Zlína, zejména výstavbě Kongresového a univerzitního centra ve Zlíně.



Ak. malířka Šárka Šišková vytvořila pro New York módní přehlídku oděvů **The Cities inside of Me**, inspirovanou městy Zlín a New York, která ji velmi ovlivnila. „V modelech jsou ukryty mé subjektivní dojmy, intimní zpovědi nálad a pocitů, která jsem v těchto městech prožila,“ svěřila se Šárka Šišková. Zatímco modely inspirované rodným Zlínem jsou plné klidu a harmonie, modely inspirované New Yorkem kypí energií.

Výstava studentských prací **Fresh design** představí originální práce studentů výtvarných ateliérů Fakulty multimediálních komunikací. K vidění budou např. výrobky ze skla, porcelánu, návrhy oděvů, obuvi a módních doplňků. Architektonické řešení výstavy navrhli studenti ateliéru Prostorová tvorba pod vedením architektky Hany Maršíkové.

Podrobnější informace o Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně, jejích fakultách, studijních oborech, vědecko-výzkumné práci a mezinárodních kontaktech se návštěvníci výstavy dozví z **panelů**, které jsou součástí prezentace celého města. Panely byly zpracovány v ateliérech Fakulty multimediálních komunikací.

Podle ředitelky Českého centra v New Yorku Moniky Koblerové jsou na výstavu pozváni zejména mladí Američané, kteří studují nebo se zajímají o architekturu a design. Na zahajovacím večeru bude přítomna i řada velmi vzácných hostů, včetně slavných zlínských rodáků. Pozváni jsou např. prof. Eva Jiřičná, Tomáš a Sonja Baťovi, Ivana Trumpová, Ája Vrzáňová a další. Přítomni budou také primátorka města Zlína PhDr. Irena Ondrová a rektor univerzity prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.

## K devadesátým narozeninám doktorky Věry Blumové

Dne 29. dubna 2008 se dožívá v plné svě- žesti devadesátých narozenin vynikající vědecká pracovníce v oboru optiky paní RNDr. Věra BLUMOVÁ, CSc. Po základní škole absolvovala středoškolská studia na Reformním reálném gymnaziu ve Slezské ulici v Praze-Vinohradech. Vysokoškolské studium v oboru matematika a fyzika zahájila v roce 1937 na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Během války, po uzavření vysokých škol, musela studium přerušit a v tomto období pracovala v Rolnické vzájemné pojišťovně. Své vysokoškolské studium ukončila po válce doktorátem přírodních věd na Univerzitě Karlově v Praze. Svou profesní kariéru začala ve firmě ETA v Praze-Nuslích, která se zabývala výrobou optických přístrojů a byla dlouhá léta pobočkou světoznámé německé optické firmy ASKANIA Berlin. Zde pracovala v optické laboratoři, kde se zabývala především hodnocením kvality optických soustav, a to jak z teoretického, tak i experimentálního hlediska. Po čase z této firmy odešla a nastoupila u firmy Filmový průmysl Barrandov, kde pracovala v optickém oddělení, které tehdy vedl dr. Jahoda. Intenzivně též spolupracovala s Ústavem technické optiky, který vedl doc. Hrdlička. Po zřízení Akademie věd přešla v roce 1953 do Laboratoře optiky ČSAV, kterou vedl dr. B. Havelka. V roce 1964 přešla do Výzkumného ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky a setrvala v jeho optickém oddělení až do doby, kdy ústav počátkem 90. let ukončil svou činnost. Disertační práci vypracovanou na téma „Rozlišovací schopnost soustavy objektiv-fotografická vrstva“ obhájila v roce 1961 a Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy jí udělila hodnost kandidátky fyzikálních věd a ČSAV jí přiznala kvalifikaci samostatné vědecké pracovníce.

Po celou dobu své profesní kariéry se paní doktorka Blumová zabývala problematikou kvality obrazu, a to v celé šíři spektra optic-



kých a s optikou hraničících disciplín, od prací fyzikálně teoretických až po hodnocení technických a technologických aspektů problémů, zahrnujících podmínky obrazového snímání, zobrazovací systémy samé, jejich spojení se záznamovými médii, způsoby reprodukce a rekonstrukce obrazů a posléze otázky percepce a zrakové pohody. Významným způsobem přispěla k teorii optické funkce přenosu při zobrazení polychromatickým zařízením. Konkrétními předměty úloh v oblasti experimentální, na jejichž řešení se podílela, byly nejen klasické postupy a zařízení, nýbrž i metody nové, původní, jako např. způsob stanovení přenosové funkce modulace fotografickou cestou s využitím Sabatierova a Eberhardova efektu, či soubor prací, směřujících k tehdy aktuálnímu zavádění technologie výroby CD.

Vedle své vlastní výzkumné práce plnila doktorka Blumová ještě jednu neméně významnou funkci: byla totiž díky svému hlubokému, stále rozšiřovanému fyzikálnímu vzdělání a své vědecké intuici konzultantkou, na niž se obraceli nejen její bezprostřední spolupracovníci, nýbrž i pracovníci jiných pracovišť, ústavů, vysokých škol a průmyslu. Za její aktivní účasti se vytvářely nové koncepce řešení optických metod a zařízení. Byla recenzentkou či oponentkou výsledků výzkumných úkolů, diplomových prací a disertací, přednášela na různých vědeckých setkáních doma i v zahraničí a s nevšední ochotou pomáhala při výchově mladých vědeckých pracovníků. Je autorkou či spoluautorkou více než sta vědecko-výzkumných publikací.

Do dalších let přejeme paní doktorce hodně zdraví, pohody a spokojenosti.

*doc. Ing. Jan Eigl, CSc.  
prof. RNDr. Antonín Mikš, CSc.*

## Experimentální stanovení modulu pružnosti hadic

*Za běžných podmínek se modul pružnosti pevných materiálů stanovuje experimentální statickou tahovou zkouškou. U hadic je tato zkouška nedostačující, proto se provádí speciální zkouška pro stanovení modulu pružnosti hadic s ohledem na tlak a teplotu pracovní kapaliny a teplotu okolního prostředí. Předmětem tohoto příspěvku je experimentální stanovení modulu pružnosti hadic v závislosti na tlaku pracovní kapaliny.*

**Klíčová slova:** modul pružnosti, hadice, ocelové potrubí, kapalina, tlak, experimentální zařízení.

### 1. ÚVOD

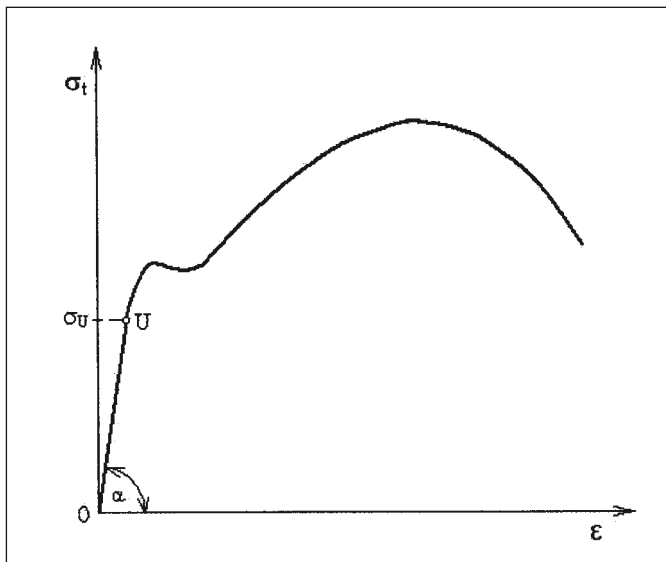
Významnou veličinou popisující pevnostní vlastnosti materiálů je modul pružnosti v tahu. Kromě pevnostních vlastností má modul pružnosti významný vliv na další vlastnosti, např. na rychlost šíření zvuku v látkách, tlumicí vlastnosti materiálů nebo vlastní frekvenci. Modul pružnosti v tahu se pro pevné látky stanovuje za běžných podmínek pomocí statické tahové zkoušky. Při této zkoušce jsou používány normalizované materiálové vzorky, které jsou namáhány tahem [1]. Výsledkem statické tahové zkoušky je pracovní diagram udávající závislost tahového napětí  $\sigma_t$  na poměrném prodloužení  $\varepsilon$ . Na obr. 1 je znázorněn pracovní diagram pro měkkou ocel. Na počátku tahové zkoušky (až do bodu U) je závislost mezi napětím v tahu a poměrným prodloužením lineární. Tento jev popisuje Hookův zákon:

$$\sigma_t = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

kde  $E$  je modul pružnosti v tahu.

Modul pružnosti v tahu je tedy určen poměrem tahového napětí a poměrného prodloužení, resp. směrnicí přímkou svírající úhel  $\alpha$  (viz obr. 1) s osou poměrného prodloužení:

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$



Obr. 1 Pracovní diagram statické tahové zkoušky pro měkkou ocel

Nevýhodou tahové zkoušky je časová náročnost s výrobou vzorku a následným vyhodnocením zkoušky. Dále dochází ke znehodnocení materiálového vzorku, protože se jedná o destruktivní zkoušku. Modul pružnosti hadic je ovlivňován řadou veličin, např. tlakem a teplotou pracovní kapaliny, teplotou okolního vzduchu apod. Kromě toho materiály hadic nejsou za normálních podmínek izotropní, respektive hodnoty modulu pružnosti hadic dosahují odlišných hodnot v závislosti na směru namáhání (tzn. příčné a podélné). V případě hydraulických hadic má významnou roli zejména příčná deformace průřezu hadice. Z výše uvedených důvodů by běžná tahová zkouška materiálu hadice byla nedostačující. Pro stanovení modulu pružnosti hadic se používá speciální zkouška, při které lze stanovit modul pružnosti materiálu hadice v závislosti na tlaku, teplotě pracovní kapaliny a teplotě okolního prostředí. Stanovení modulu pružnosti hadice má u hydraulických systémů velký význam, neboť modul pružnosti významně ovlivňuje dynamické vlastnosti hydraulického obvodu a tím i jeho bezproblémový provoz.

Příspěvek se zabývá metodikou experimentálního stanovení modulu pružnosti materiálu hadic na zkušebním zařízení. Modul pružnosti hadice je stanoven v závislosti na pracovním tlaku kapaliny. Použitou kapalinou byl minerální olej. Výhodou této metody je, že měřená hadice může být vyjmuta z hydraulického obvodu, následně je proměřena a po ukončení zkoušky může být opět namontována do původního hydraulického obvodu. Nedochozí tedy k žádné destrukci hadice. Měření je možné opakovat po určité době, kdy dochází ke změně pevnostních vlastností materiálů hadic vlivem dlouhodobého namáhání (mechanického, tepelného apod.).

### 2. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍHO STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI HADIC

Pro stanovení modulu pružnosti hadice se vychází ze skutečnosti, že celková kapacita soustavy olej + hadice  $C_{o,h}$  je dána součtem dílčích kapacit, tzn. kapacity oleje  $C_o$  a kapacity hadice  $C_h$  [2, 3, 4]:

$$C_{o,h} = C_o + C_h. \quad (3)$$

Pro jednotlivé kapacity platí následující vztahy:

$$C_{o,h} = \frac{\Delta V_{o,h}}{\Delta p}, \quad (4)$$

$$C_o = \frac{V_{o,h}}{K_o}, \quad (5)$$

$$C_H = \frac{V_{O,H} \cdot d_H}{E_H \cdot s_H}, \quad (6)$$

kde  $\Delta V_{O,H}$  je přírůstek objemu oleje v důsledku stlačitelnosti oleje a hadice,  $V_{O,H}$  - objem oleje v hadici,  $\Delta p$  - změna tlaku,  $K_O$  - modul pružnosti oleje,  $E_H$  - modul pružnosti hadice,  $d_H$  - vnitřní průměr hadice a  $s_H$  - tloušťka stěny hadice.

Po dosažení rovnic (4) ÷ (6) do rovnice (3) a následujících matematických úpravách lze stanovit vztah pro výpočet modulu pružnosti hadice:

$$E_H = \frac{1}{\left( \frac{\Delta V_{O,H}}{V_{O,H} \cdot \Delta p} - \frac{1}{K_O} \right) \cdot \frac{s_H}{d_H}}. \quad (7)$$

Pro přírůstek objemu oleje v důsledku stlačitelnosti oleje a hadice a objem oleje v hadici přitom platí rovnice:

$$\Delta V_{O,H} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot \Delta h_H, \quad (8)$$

$$V_{O,H} = \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \cdot l_H, \quad (9)$$

kde  $d_0$  je vnitřní průměr odměrné nádoby,  $\Delta h_H$  - stoupaní hladiny oleje v odměrné nádobě v důsledku poklesu tlaku oleje v hadici a  $l_H$  - délka hadice.

Přitom modul pružnosti oleje v rovnici (7) se stanoví dle vztahu [3]:

$$K_O = \frac{1}{\frac{\Delta V_{O,TR}}{V_{O,TR} \cdot \Delta p} - \frac{d_{TR}}{E_{TR} \cdot s_{TR}}}, \quad (10)$$

kde  $\Delta V_{O,TR}$  je přírůstek objemu oleje v důsledku stlačitelnosti oleje a trubky,  $V_{O,TR}$  - objem oleje v trubce,  $E_{TR}$  - modul pružnosti trubky,  $d_{TR}$  - vnitřní průměr trubky a  $s_{TR}$  - tloušťka stěny trubky.

Pro přírůstek objemu oleje v důsledku stlačitelnosti oleje a trubky a objem oleje v trubce přitom platí rovnice:

$$\Delta V_{O,TR} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot \Delta h_{TR}, \quad (11)$$

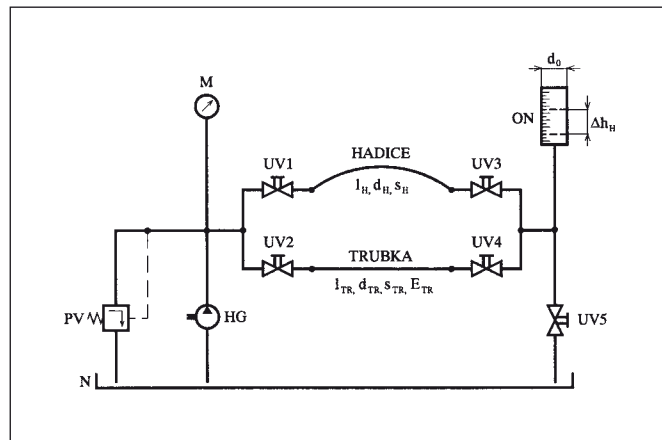
$$V_{O,TR} = \frac{\pi \cdot d_{TR}^2}{4} \cdot l_{TR}, \quad (12)$$

kde  $\Delta h_{TR}$  je stoupaní hladiny oleje v odměrné nádobě v důsledku poklesu tlaku oleje v trubce a  $l_{TR}$  - délka trubky.

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI HADIC

Schéma experimentálního zařízení pro stanovení modulu pružnosti hadic je znázorněno na obr. 2. Ve výchozím stavu jsou uzavírací ventily UV1 až UV5 uzavřeny a kapalina proudí od hydrogenerátoru HG přes pojistný ventil PV do nádrže N. Nejprve se na pojistném ventilu nastaví potřebný tlak  $p$  v obvodu, který se odečítá na manometru M. Následně se otevře ventil UV1. Po natlakování hadice na tlak  $p$  je tento ventil uzavřen. Po otevření ventilu UV3 dojde k poklesu tlaku  $\Delta p$  v hadici z hodnoty tlaku  $p$  na manometru M na hodnotu atmosférického tlaku  $p_0$ . Pokud je tlak  $p$  na manometru M měřen jako relativní (při velikosti atmosférického tlaku  $p_0$  ukazuje hodnotu 0 MPa), potom  $\Delta p = p$ . Část objemu kapaliny  $\Delta V_{O,H}$ , která v důsledku stlačitelnosti kapaliny a hadice vyteče z hadice, způsobí stoupaní hladiny v odměrné nádobě ON o hodnotu  $\Delta h_H$ . Velikost poklesu tlaku  $\Delta p$  v hadici (tlaku

$p$  na manometru M) a velikost stoupaní hladiny  $\Delta h_H$  v odměrné nádobě se zaznamená. Následně je uzavřen ventil UV3. Pro další výpočet je rovněž známa délka hadice  $l_H$ , vnitřní průměr hadice  $d_H$  a tloušťka stěny hadice  $s_H$ .



Obr. 2 Schéma zařízení pro měření modulu pružnosti hadic

Pro stanovení modulu pružnosti hadice podle rovnice (7) je třeba ještě změřit modul pružnosti oleje  $K_O$ . Nejprve se otevře ventil UV2. Po natlakování trubky na tlak  $p$  je tento ventil uzavřen. Po otevření ventilu UV4 dojde k poklesu tlaku  $\Delta p$  v trubce z hodnoty tlaku  $p$  na manometru M na hodnotu atmosférického tlaku  $p_0$ . Část objemu kapaliny  $\Delta V_{O,TR}$ , která v důsledku stlačitelnosti kapaliny a trubky vyteče z trubky, způsobí stoupaní hladiny v odměrné nádobě o hodnotu  $\Delta h_{TR}$ . Podobně jako u hadice, při měření na trubce se zaznamená velikost poklesu tlaku v trubce  $\Delta p$  a velikost stoupaní hladiny  $\Delta h_{TR}$  v odměrné nádobě. Následně je uzavřen ventil UV4. Při známé délce trubky  $l_{TR}$ , vnitřním průměru (tzn. světlosti) trubky  $d_{TR}$ , tloušťce stěny trubky  $s_{TR}$  a modulu pružnosti trubky  $E_{TR}$  lze stanovit z rovnice (10) modul pružnosti kapaliny  $K_O$  a následně z rovnice (7) modul pružnosti hadice  $E_H$  při daném pracovním tlaku  $p$ .

Stejným způsobem se opakuje měření velikosti modulu pružnosti hadice (resp. modulu pružnosti kapaliny) na základě stoupaní hladin  $\Delta h_H$  a  $\Delta h_{TR}$  v odměrné nádobě pro různé velikosti poklesu tlaku  $\Delta p$  v hadici a trubce. Velikost tlaku  $p$  na manometru M (resp. poklesu tlaku  $\Delta p$ ) se nastavuje opět pomocí pojistného ventilu PV. Odměrná nádoba se po naplnění kapalinou vyprázdňuje pomocí ventilu UV5, přičemž ventily UV3 a UV4 jsou uzavřeny.

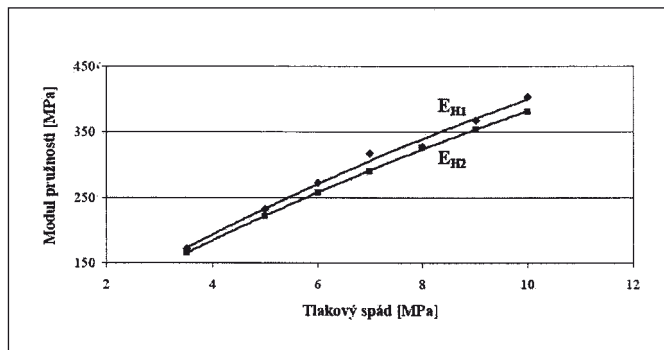
Experimentální měření modulu pružnosti hadic bylo provedeno v laboratořích katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení na VŠB – TU Ostrava. Při teplotě pracovní kapaliny  $t = 26$  °C a teplotě okolí  $t_0 = 23$  °C byly proměřeny dvě hydraulické hadice a ocelová trubka s následujícími parametry:

- hadice H1: délka  $l_{H1} = 1,62$  m, vnitřní průměr  $d_{H1} = 0,012$  m, tloušťka stěny  $s_{H1} = 0,0055$  m,
- hadice H2: délka  $l_{H2} = 1,62$  m, vnitřní průměr  $d_{H2} = 0,016$  m, tloušťka stěny  $s_{H2} = 0,0060$  m,
- trubka TR: délka  $l_{TR} = 1,43$  m, vnitřní průměr  $d_{TR} = 0,025$  m, tloušťka stěny  $s_H = 0,0015$  m, modul pružnosti  $E_{TR} = 2,1 \cdot 10^{11}$  Pa.

Vnitřní průměr odměrné nádoby ON (viz obr. 2) činil  $d_0 = 0,0107$  m. Tlakovou kapalinou byl hydraulický minerální olej Madit typu OH – HM 32, který vyrábí Slovaft VÚRUP, a. s., Bratislava [5]. Měření modulu pružnosti oleje bylo realizováno na experimentálním zařízení podle obr. 2 při poklesu tlaku  $\Delta p = (3,5 \div 10,0)$  MPa. Pro tento olej byla při teplotě oleje  $t = 26$  °C naměřena hodnota modulu pružnosti oleje  $K_O = 1623$  MPa při poklesu tlaku  $\Delta p = 3,5$  MPa a modul pružnosti  $K_O = 1867$  MPa při poklesu tlaku  $\Delta p = 10$  MPa.



Na obr. 3 jsou znázorněny naměřené hodnoty modulů pružnosti  $E_{H1}$ ,  $E_{H2}$  hadic H1, H2 v závislosti na tlakovém spádu  $\Delta p$ . Je zřejmé, že moduly pružnosti  $E_{H1}$  a  $E_{H2}$  jsou tlakově závislé, kdy s rostoucím tlakovým spádem moduly pružnosti vzrůstají. Vyšší hodnoty modulu pružnosti v celém rozsahu tlakového spádu jsou získány u hadice H1. Tato hadice má tedy vyšší tuhost ve srovnání s hadicí H2.



Obr. 3 Závislost modulu pružnosti hadic na tlakovém spádu

#### 4. ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo popsat metodiku experimentálního stanovení modulu pružnosti hadic. Měření modulu pružnosti hadic se stanoví nepřímo, kdy se měří objem kapaliny, který v důsledku stlačitelnosti hadice a kapaliny vyteče z hadice do odměrné nádoby

při poklesu tlaku z hodnoty tlaku pracovního na tlak atmosférický. Zároveň je nutno znát délku, vnitřní průměr a tloušťku stěny hadice. Dále je nutno znát modul pružnosti kapaliny v hadici. Ten se stanoví měřením množství kapaliny, která v důsledku stlačitelnosti kapaliny a trubky vyteče z trubky do odměrné nádoby při poklesu tlaku z hodnoty tlaku pracovního na tlak atmosférický. Předpokládá se znalost délky, světlosti, tloušťky stěny a modulu pružnosti materiálu trubky. Na modul pružnosti hadice může mít vliv pracovní tlak, teplota kapaliny a teplota okolí. V článku byly změřeny tlakové závislosti modulu pružnosti pro dvě hadice. Modul pružnosti hadic významně ovlivňuje tuhost hydraulického systému. Zejména při výpočtech dynamického chování hydraulického systému je nezbytná znalost modulu pružnosti hadic nebo hydraulických kapacit hadic zapojených v obvodu.

#### Literatura

- [1] Lenert, J.: Pružnost a pevnost I. Skriptum VŠB - TU Ostrava, 2002. 142 s.
- [2] Sivák, V.: Projektování hydraulických systémů. Ostrava: Skriptum VŠB - TU Ostrava, 1990. 331 s.
- [3] Vašina, M.: Energeticky úsporné hydraulické systémy zvedacích a nakládacích zařízení montovaných na nákladní automobily. Disertační práce. VŠB - TU Ostrava, 2000.
- [4] Pavlok, B.; Sivák, V.: Hydraulické mechanismy. Příklady do cvičení. Skriptum VŠB - TU Ostrava, 1980. 166 s.
- [5] <http://www.vurup.sk/english/madit/ohhm3246/slovak.html>

Dr. Ing. Lumír Hružík, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, Česká republika, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: +420 597324384, e-mail: lumir.hruzik@vsb.cz

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035101, e-mail: vasina@ft.utb.cz

## Technické pokyny pro autory

### Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

**Požadavky na textovou část:** Text musí být pořízen v editoru MS WORD, doporučuje se font Times New Roman, velikost písma 12, dvojitě řádkování, formát stránky A4. Ve všech částech příspěvku používejte stejný font. Text pište do jednoho sloupce se zarovnáním k levému okraji, klávesu ENTER používejte pouze na konci odstavce.

Rovnice a vzorce uváděné na samostatných řádcích musí být vytvořeny modulem pro matematiku editoru MS WORD, rovnice a vzorce, které jsou součástí textu na řádku, zapisujte pomocí vložených symbolů, nikoliv zmíněným modulem. Při psaní matematických a chemických výrazů dodržujte základní pravidla: Veličiny pište kurzívou, matice tučně stojatě (antikva), vektory a skaláry tučnou kurzívou. Úplný (totální) diferenciál „d“ vždy stojatě. Ludolfovo číslo „ $\pi$ “ stojatě. Indexy, pokud vyjadřují veličinu, pište kurzívou, v opačném případě stojatě (např. max, min apod.). Imaginární jednotku „i“ stejně jako „j“ v elektrotechnice pište stojatě.

Dodržujte pravidla českého pravopisu; za interpunkčními znaménky je vždy mezera. Rovněž tak před a za znaménky „+“, „-“, „=“ apod. je vždy mezera.

**Požadavky na obrázky a grafy:** Grafickou část příspěvku nevěčtejte do textu, ale dodávejte ji jako samostatné grafické soubory typu \*.CDR, \*.EPS, \*.TIF, \*.JPG a \*.AI (vektorovou grafiku jako

\*.EPS nebo \*.AI soubory, bitmapovou grafiku jako \*.TIF nebo \*.JPG soubory). V žádném případě nedodávejte obrázek v souboru typu \*.doc. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie nejméně 200 dpi a pro barevné nejméně 300 dpi. Při generování obrázků v COREL DRAW do souboru typu \*.EPS převedte text do křivek. U souborů typu \*.JPG používejte takový stupeň komprese, aby byla zachována co nejlepší kvalita obrázku. Velikost písma v obrázcích by neměla klesnout pod 1,5 mm (při předpokládané velikosti obrázku po zalomení do tiskové strany).

### Pokyny k předávání příspěvku

Ke každému textu nebo grafice musí být přiložen kontrolní výtisk nebo fotografie.

Dále je třeba, aby k článku autor dodal překlad résumé a názvu článku do anglického (českého – slovenského) jazyka, klíčová slova, jména všech autorů včetně titulů, jejich plných adres, telefonického spojení a případně e-mailové adresy.

Soubory je možno dodat na disketě nebo CD. Ke každému příspěvku připojte seznam všech předávaných souborů a u každého souboru uveďte pomocí jakého software byl vytvořen.

Příspěvky zasílejte na adresu: Redakce časopisu JMO, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov.

# Algorithms of Fractal Image Coding

*Fractal image coding is a new and modern technique for lossy image compression. This paper contains a general description of fractal image compression techniques and describes basic algorithms used for encoding and decoding of images. Some examples are presented. For our experiments we use the famous static gray-scale image of LENA. Some problems of color image coding are also shortly mentioned.*

**Keywords:** image coding, fractal, iterative reconstruction, attractor

## 1. THE NEED FOR COMPRESSION

A sampled and quantized 2-D intensity function creating a digital image contains a great amount of data. Megabytes are required to store a typical image containing  $1024 \times 1024$  pixels with  $2^{24}$  color levels. This amount of data is too large for its fast processing and transmission. Therefore alternative data representing the same image should be found.

Image compression addresses the problem of a reduced amount of data needed to the representation of a digital image. That is made by the removal of redundant data contained in the image. This removal of data is either reversible (i.e. the removed data are fully reconstructed from compressed data), or irreversible (i.e. the removed data may be reconstructed from compressed data only partially). The first kind of compression is called *lossless compression* while the second kind of compression is called *lossy compression*. Fractal image compression is a typical *block-based* lossy compression with an iterative decoding on the side of decompression. Fractal compression is an asymmetric process: compression takes a long time compared with decompression.

## 2. INTRODUCTION TO FRACTAL IMAGE CODING

Fractal coding is a mathematical process used to encode bitmaps containing a real-world image as a set of mathematical data which describes the fractal properties of the image. Fractal coding relies on the fact that all natural and many artificial objects contain redundant information in the form of similar repeating patterns called *fractals* [1], [3]. Fractal compression of digital images is based on the mathematical theory of *iterated function systems* (IFS) developed by Hutchinson and Barnsley. The application of IFS theory to image compression was originally proposed by Jacquin and Barnsley [3].

### 2. 1 Fractal Basics

A fractal is a structure that is built up from similar forms and patterns that occur in many different sizes. The term fractal was first used by Benoit Mandelbrot to describe repeating patterns that he observed in many different structures. These patterns appeared nearly identical in form, at any size and occurred naturally in all things. Mandelbrot also discovered that these fractals could be described in mathematical terms and created using “very small” finite algorithms and data [5]. *Scale invariance* is the most eloquent term for the mathematical description of fractals and is specified by the notion of *self-similarity*. From our point of view both the notions can be synonymous.

### 2. 2 Self-similarity

The notion of self-similarity expresses one of the fundamental properties of fractal images. Geometric figures are similar if they have the same shape. Mandelbrot offers the following mathematical

definition of a fractal: *A fractal is a set for which the Hausdorff-Besicovitch dimension exceeds its topological dimension.* An alternative and more practical “definition” is also given by Mandelbrot: A fractal is a shape made of parts similar to the whole. This definition uses the concept of self-similarity. A set is called *strictly self-similar* if it can be broken into arbitrary small pieces, each of which is a small replica of the entire set. Natural objects like coastlines or roots do not show exactly the same shape but look quite similar when they are scaled down. Due to their statistical (stochastic) scale invariance they are called *statistically self-similar* [1], [2], [3].

## 3. FRACTAL IMAGE COMPRESSION AND DECOMPRESSION

Now we shall shortly characterize some notions of IFS theory on which the philosophy of algorithms is based. They are used in the description of algorithms. The algorithms are demonstrated in an experiment with the famous real image of Lenna. This example of fractal properties in a real image is depicted in Fig. 1. The image now forms a certain standard in the area of image processing.



Fig. 1 An example of block's scale-invariances in the real image of Lenna

### *Cotractive Mappings (transformations)*

The main idea of fractal image coding is based on the searching of fractal blocks (scale invariant), i.e. blocks which have different sizes, but they are similar. Such blocks can rize from the only one



by *contractive mappings*. The fundamental property of contractive transformations in complete metric spaces is formulated by the Banach fix point theorem. This theorem states that iterative applications of a contractive transformation  $f$  on any initial set assures the convergence to a unique point of the space, so called *fix point*.

### Partitioned Iterated Function Systems

The application of IFS theory to the purposes of image compression has been first suggested by Barnsley for the representation of fractal-like images [1], [3]. However, natural images generally do not display self-similarity but rather piecewise self-similarity. Jacquin put forward these observations and proposed an automated scheme based on *partitioned iterated function systems* (PIFS). PIFS are special types of IFS [3].

### Collage Theorem

One inverse problem is important for the application of fractal image coding, i.e. looking for a contractive transformation (or an IFS) whose *attractor* is close to a given set. The clue to the solving of this problem is given by a corollary of the Banach fix point theorem, known as the Collage theorem [1], [3].

### 3.1 Encoding of Images

The encoding algorithm consists of the three basic steps:

- image partitioning into image blocks,
- computation of the similarity of blocks,
- computation of *fractal coding parameters* (*transformation parameters*).

In the first step the original image is divided into non-overlapped blocks  $R_i$  (Range) that cover the whole image, and blocks  $D_j$  (Domain), generally overlapped. The dimension (measured in pixels) of blocks  $D_j$  is always higher than the dimension of blocks  $R_i$ .

The image partition is either *image-independent tiling*, or *image-dependent segmentation* [1], [3], [4]. Image-independent tiling is any partitioning scheme that does not take the structure of the image into account but instead uses simple geometric shapes to tile the image. This method has the advantage of simplicity: the shapes of the range (domain) regions are simple and the data are structured simply, so that the *decompressor* can easily decode these tiles. The disadvantage is that this method cannot take into account regional difficulties and the natural connections between areas - exactly the advantage of image-dependent segmentation. Typical examples of image-dependent partitions in fractal image coding are *quadtree* partition, *horizontal-vertical* partition, *triangular* partition and partition based on *Delaunay triangulation* [3].

In the next step for each block  $R_i$  the most similar block  $D_j$  is searched (for simple notation from now on we consider  $i \leftrightarrow j$  as a bijection of blocks  $R_i$  and  $D_j$ ). According to the fact that the size (dimension) of blocks  $D_j$  is higher than the size (dimension) of blocks  $R_i$  we have to reduce the dimension of block  $D_j$  to the equal dimension of block  $R_i$  using contractions. Reduced blocks  $D_j$  are denoted by  $B_j$ ,  $B_j = w(D_j)$ , where  $w(\bullet)$  is an operation of contraction, e.g. *subsampling* or *averaging* of blocks [1], [3].

After the contraction of blocks  $D_j$  the most similar block  $B_j$  is searched for each block  $R_i$  using the metric which describes the distance between  $R_i$  and  $B_j$ . In fractal compression algorithms we find the applications of Euclidean metric, AVD (*Absolute Value Distance*) metric, MVD (*Maximal Value Distance*) metric, RMS (*Root Mean Square*) metric and SUP (*SUPremum*) metric.

In digital image processing the distance of similar blocks is interpreted as an error because equation (2) below always holds only approximately. If the error between the blocks is smaller then the blocks are more similar. For calculation of block's similarity a metric must be defined that measures a distance of blocks. In our case it is possible to interpret a distance as a similarity between the blocks of an image.

In the standard fractal image compression (FIC) algorithm Euclidean distance is used for the computation of distance. It means that parameter  $d$  in the following equation should be minimal for the most similar blocks

$$d^2(R_i, B_j) = \sum_{k=1}^n (r_k - b_k)^2, \quad (1)$$

where  $n$  is the number of pixels in  $R_i$  and  $B_j$  (there are also other criteria of block's similarity in fractal image coding according to the chosen metric).

In the third step we suppose the following relation between  $R_i$  and the most similar block  $B_j$ :

$$R_i = s(i)B_j + o(i)\mathbf{1}, \quad (2)$$

where  $s(i)$  and  $o(i)$  are transformation parameters of block's similarity and  $\mathbf{1}$  is the matrix with the same size (dimension) as

$$R_i = [r_k]_{k=1}^n \text{ and } B_j = [b_k]_{k=1}^n; \text{ each element of } \mathbf{1} \text{ is equal to one.}$$

Here, parameter  $s(i)$  corresponds to *contrast* and  $o(i)$  to *brightness*, respectively. Minimizing of the error

$$e(i) = \sqrt{\sum_{k=1}^n [r_k - (s(i) \cdot b_k + o(i))]^2} \quad (3)$$

we have the transformation parameters expressed (for Euclidean metric) in the following regression form [1], [3]:

$$s(i) = \frac{\left[ n \sum_{k=1}^n r_k b_k - \sum_{k=1}^n r_k \sum_{k=1}^n b_k \right]}{\left[ n \sum_{k=1}^n r_k^2 - \left( \sum_{k=1}^n r_k \right)^2 \right]}, \quad (4)$$

$$o(i) = \frac{1}{n} \left[ \sum_{k=1}^n b_k - s(i) \sum_{k=1}^n r_k \right]. \quad (5)$$

After the computation of transformation parameters for each  $R_i$  and corresponding  $B_j$  we obtain the *set of fractal coding parameters* in the form:

$$R_l \cong (x_l, y_l, s_l, o_l, i_l), \quad l = 1, \dots, \mu. \quad (6)$$

The meaning of all parameters is the following:

- $x_l, y_l$  - coordinates of the position of the most similar  $D_j$  block in the image (e.g. the coordinates of its topleft corner),
- $s_l, o_l$  - transformation parameters,
- $i_l$  - isometry that means the of position of the most similar  $D_j$  block with respect to its rotation and reflection (usually 8 positions).

$x_1$	$y_1$	$s_1$	$o_1$	$i_1$
$x_2$	$y_2$	$s_2$	$o_2$	$i_2$
$x_3$	$y_3$	$s_3$	$o_3$	$i_3$
...	...	...	...	...
$x_\mu$	$y_\mu$	$s_\mu$	$o_\mu$	$i_\mu$

Fig. 2 Structure of output code

Fractal coding parameters form the output of the coding process in the form of a matrix, see Fig. 2.

For the acceleration of image coding we can skip the computations of isometry. Then the output fractal coding parameters will be without the last column (then the reduced output code in (6) will be  $R_i \equiv (x_i, y_i, s_i, o_i)$ ). A basic fractal coding algorithm is depicted in the schematic Fig. 3.

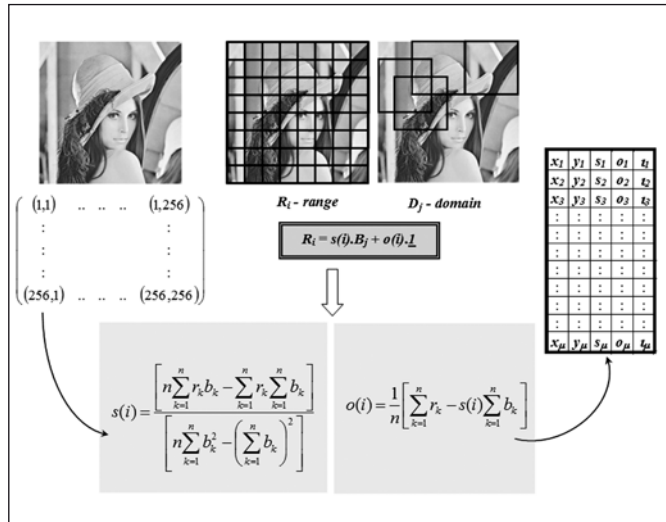


Fig. 3 Description of the basic fractal image coding algorithm

### 3.2. Standard Decoding Algorithm

Decoding of an original image is an iterative process of the reconstruction of blocks  $R_i$  from the set of fractal coding parameters. The decoding process of each block  $R_i$  is a finite sequence in the following form [1], [3]:

$$\begin{aligned}
 R_i^1 &= s(i)B_i + o(i) \mathbf{1}, \\
 R_i^2 &= s(i) \left[ s(i)B_i + o(i) \mathbf{1} \right] + o(i) \mathbf{1}, \\
 &\vdots \\
 R_i^k &= s^k(i)B_i + \left( o(i) \cdot \sum_{p=0}^{k-1} s^p(i) \right) \mathbf{1}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

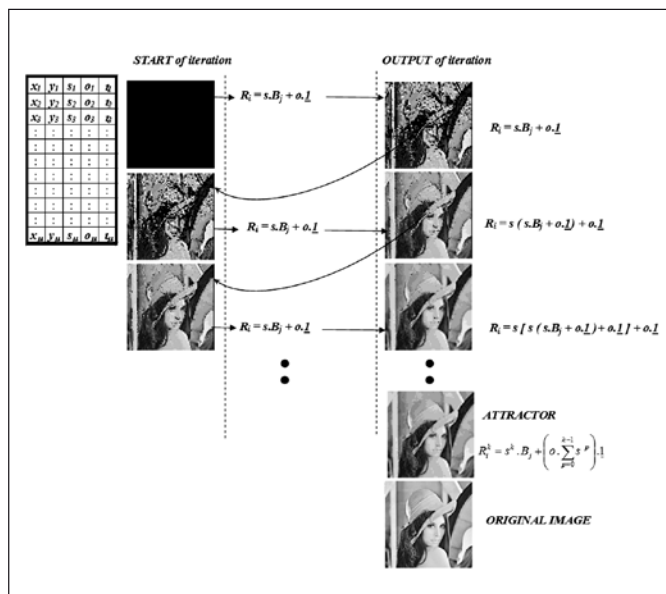


Fig. 4 Fractal decoding algorithm

The result of the decoding process after the  $k$ -th iteration is a reconstructed image called *attractor*. The fractal decoding algorithm is depicted in Fig. 4 (for a fixed block  $R_i$  we abbreviate coding parameters by  $s$  and  $o$ ).

### 4. PRACTICAL EXAMPLE

As an example of the fractal image coding was chosen the gray-scale image of Lenna in pgm (Portable Gray Map) format. The dimension of Lenna image is  $256 \times 256$  and the resolution of this image is 8bits/pixel, i.e. 256 levels of brightness.

The original image was divided into non-overlapped blocks  $R_i$ . The dimension of  $R_i$  was  $4 \times 4$ . The original image was also divided into non-overlapped blocks  $D_j$  of dimension  $16 \times 16$ . The subsampling (i.e. contraction operator  $w(\bullet)$  of blocks  $D_j$  with subsampling factor  $16/4 = 4$  was used for a change of the dimension of  $D_j$  to the dimension (size) of  $R_i$ . Then Euclidean metric was computed to compare the similarity of blocks  $B_j$  ( $D_j$ ) and  $R_i$ . Isometric transformations (parameter  $i$  in output code (6)) were ignored. So that, the compression ratio for the presented dimensions of blocks is  $C_r = 4$ . Only 4 bytes are used for the reconstruction of each block  $R_i$ . In the original image 16 bytes are needed for the description of each block  $R_i$ .

Decoding of an image starts from the zero matrix of dimension  $256 \times 256$  (black image). Decoding process is shown in Fig. 4. Procedure (7) is applied on the starting (black) image and the first output is the *first coded image approximation* (the *first iteration of a coded image*). Recursive repeating of this procedure gives particular approximations of the original image. The process of image reconstruction is depicted in Fig. 5.

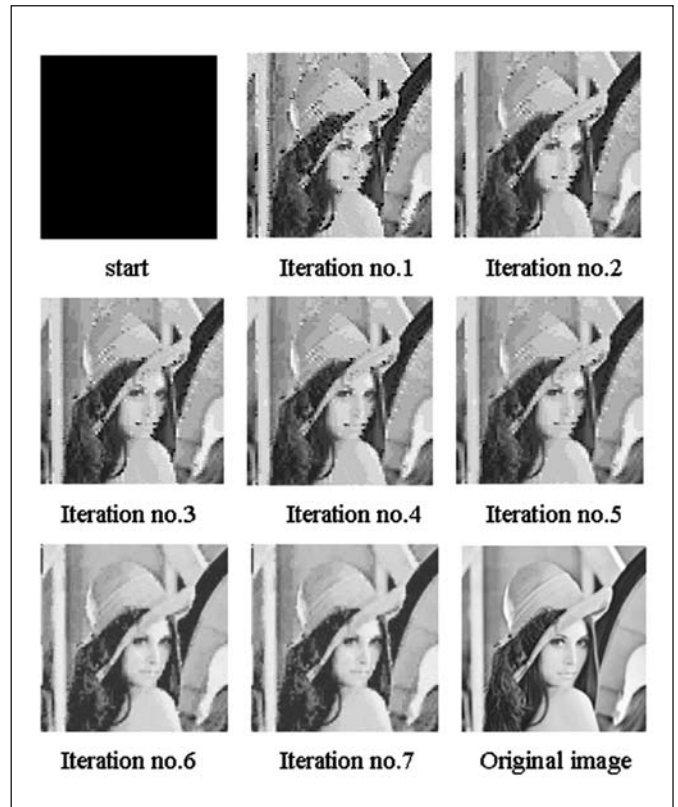


Fig. 5 Iterative reconstruction of the fractal coded image

### 5. SOME PROBLEMS OF COLOR IMAGE CODING

Fractal color image coding is a generalisation of the coding of gray-scale images. There are two basic problems in implementation of the coding algorithms of color images:

- selection of a good *color image model* (*color space*);
- selection of a good approach to compression.



In the first case it is necessary to choose such a color image model which gives a minimal distortion of encoded image (to color spaces we shall devote a special article). In the second case it is necessary to choose one of the two possible approaches to image encoding [6]:

- *tri-stimulus model*;
- *vector model*.

A tri-stimulus model is based on the decomposition of a color image to color components on which fractal image coding algorithms are applied. Vector approach to image coding considers the color components as a vector for each pixel.

## 6. CONCLUDING REMARKS

The paper presents the basic principles of the fractal theory applied to digital image compression. Fractal image coding finds the usage in image compression, where high compression ratio is required. Fractal image compression is a typical block-based lossy compression with an iterative decoding. Fractal compression is markedly asymmetric, compression always takes a long time compared with decompression. Therefore we designed and studied various modifications of the described procedures, mainly their quality of reconstructed images and speed of coding algorithms. Now we focus on a quite new approach which consists in the *randomization* of procedures. It seems that this way can be very perspective in all directions because it exploits all general advantages of randomization: the procedures are faster and, after the optimization of parameters, with the same or better quality.

## Acknowledgement

This work was partially supported by the grant of the Czech Science Foundation (GAČR), no. 102/06/1132.

## References

- [1] M. Čandík: *Fraktálové kódovanie obrazov (Fractal Coding of Images)*, OFTIS Ostrava, 2005
- [2] P. Král, D. Levický, M. Čandík: *Fast methods for fractal image coding*. In: Proc. of the 3-rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP'97), Herlany, 1997, pp. 173 - 176
- [3] N. Lu: *Fractal imaging*, Academic Press, San Diego, 1997
- [4] S. Welstead: *Self-Organizing Neural Network Domain Classification for Fractal Image Coding*. In: Proc. of the IASTED, Int. Conf. Artificial Intelligence and Soft Computing, Banff, Canada, 1997, pp. 248-251
- [5] E. Reusens: *Partitioning Complexity Issue for Iterated Function Systems Based Image Coding*. In: Proc. of VII. European Signal Processing Conference, Vol.1, Edinburg, U.K., 1994, pp. 171-174
- [6] B. Hürtgen, P. Mols, S. F. Simon: *Fractal Transform Coding of Color Images*. In: Proc. of Int. Conf. Visual Communications and Image Processing (SPIE'94), Chicago, USA, 1994, pp. 1683-1691

Ing. Marek Čandík, Ph.D., Institute of Control Process and Applied Informatics, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlín, Nad stráněmi 4511, 760 05 Zlín, Czech Republic, e-mail: marekchandik@yahoo.com  
RNDr. František Včelář, CSc., Department of Mathematics, Faculty of Applied Informatics, Tomas Bata University in Zlín, Nad stráněmi 4511, 760 05 Zlín, Czech Republic, tel.: +402 57 603 5060, e-mail: vcelar@ft.utb.cz

---

# Mezinárodní strojírenský veletrh – Nitra

**Ve dnech 20. – 23. 5. 2008 se uskutečnil na slovenském výstavišti Agrokomplex v Nitře 15. ročník Mezinárodního strojírenského veletrhu.**

Jednalo se o největší a nejvýznamnější strojírenskou veletržní událost na Slovensku, jejíž vysokou odbornou úroveň a kvalitu potvrzuje dlouhodobě rostoucí aktivní zájem domácí i zahraniční výrobní, obchodní a odborné sféry v oblasti strojírenství a technologicky provázaných odvětví, svařování, slévárenství, metalurgie, plastů pro strojírenství, elektrotechniky, měření, regulace a automatizace.

15. ročníku veletrhu se zúčastnilo na 700 vystavovatelů a spoluvystavovatelů, kteří zastupovali dalších cca 200 firem z 25 států. Největší přímé zastoupení ze zahraničních vystavovatelů měla Česká republika, dále Německá spolková republika, Rakousko a Švýcarsko. Krom toho se veletrhu přímo nebo v zastoupení zúčastnily firmy z Japonska, Maďarska, Velké Británie, Francie, Dánska, USA, Švédska, Finska, Izraele, Holandska, Itálie, Číny a dalších států.

Celková výstavní plocha veletrhu představovala takřka 28 000 m<sup>2</sup>. Z toho krytou plochu tvořilo cca 20 200 m<sup>2</sup> a venkovní 7 800 m<sup>2</sup>. V porovnání s loňským veletrhem je zřejmý mírný nárůst především v krytých plochách, což signalizuje přetrvávající oživení ve strojírenském průmyslu z minulých let.

## Doprovodné výstavy veletrhu

V rámci všeobecné - strojírensky orientované platformy byl veletrh rozčleněn do 23 základních produktových (komoditních) skupin. Z nich 4 byly samostatnými odbornými subvýstavami:

- EUROWELDING** - 14. ročník mezinárodní výstavy svařování a technologií pro svařování
- CAST-EX** - 14. ročník mezinárodní výstavy slévárenství, hutnictví a metalurgie
- CHEMPLAST** - 12. ročník mezinárodní výstavy plastů pro strojírenství
- EMA** - 8. ročník mezinárodní výstavy elektrotechniky, měření a automatizace

Svým rozsahem patří i tyto subvýstavy mezi největší specializované výstavy v SR.

Už po páté se na veletrhu podílela oficiální účastí i Německá spolková republika, v tomto roce pod hlavičkou AHP GmbH & Co.

Veletrh v Nitře měl výrazně internacionální charakter, který dal prostor pro účinnou prezentaci výrobků, vzájemné porovnávání výrobců s konkurencí, získávání kontaktů se zákazníky a následné upevňování vztahů mezi výrobou a uživatelem. Důležitým momentem veletrhu je i poukázání na směřování inovačních prvků v daném odvětví. Toto je také výzvou pro podnikatele v oblasti strojírenského odvětví průmyslu, aby se vytvářením oblastí vzájemně výhodné spolupráce získal synergický efekt, který by se projevil v dosaženém hospodářském výsledku.

-rp-

# Fotovoltaické systémy pro přímou transformaci solární energie

*Solární energie patří mezi čisté obnovitelné zdroje energie. Existuje mnoho způsobů transformace solární energie na jiný druh energie. Jednou z možností je přímá přeměna solární energie na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků. Předmětem tohoto příspěvku je popis jednotlivých typů fotovoltaických systémů a možnosti jejich aplikací.*

**Klíčová slova:** solární energie, elektrická energie, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, fotovoltaický systém, měnič.

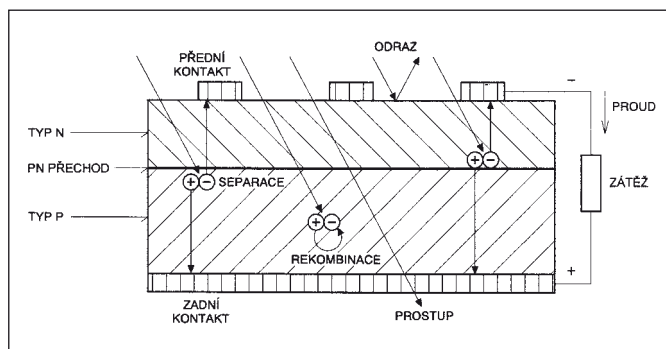
## 1. ÚVOD

Zdrojem solární energie jsou termonukleární reakce na Slunci [2], při kterých dochází k přeměně vodíku na helium při teplotě  $T = 1,3 \cdot 10^7$  K. Slunce vyzařuje výkon  $P_s = 3,8 \cdot 10^{26}$  W. Na povrch Země přitom dopadá solární záření o výkonu  $P_z = 1,8 \cdot 10^{17}$  W. Ostatní solární záření uniká do mezihvězdného a mezigalaktického prostoru. Solární energii lze transformovat [4] na energii chemickou (při pěstování řasových kultur nebo k rozkladu vody), tepelnou (u pasivních solárních systémů nebo s využitím slunečních kolektorů) nebo elektrickou (pomocí fotovoltaických článků). Solární energie je obnovitelný a ekologicky šetrný zdroj energie. Tato energie je zdarma k dispozici na rozdíl od neobnovitelných zdrojů energie (např. uhlí, ropa a zemní plyn). K nevýhodám využití solární energie patří nestálost tohoto energetického zdroje a poměrně vysoké náklady na výrobní technologie pro další transformaci solární energie na jiný druh energie (především při fotovoltaické přeměně).

Tento příspěvek se zabývá různými možnostmi využití přímo vyrobené elektrické energie ze solární energie. Jsou zde popsány jednotlivé typy fotovoltaických systémů, včetně příkladů jejich použití.

## 2. PŘÍMÁ PŘEMĚNA SOLÁRNÍ ENERGIE NA ELEKTRICKOU ENERGIÍ

Transformace energie solárního záření na elektrickou energii byla objevena Edmundem Becquerem [6] již v roce 1839. Tento proces se uskutečňuje ve vhodném polovodičovém prvku (především krystalickém křemíku) označovaném jako fotovoltaický nebo též solární článek. Fotovoltaický článek je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda s PN přechodem. Princip činnosti fotovoltaického článku je znázorněn na obr. 1. Vzájemným působením solárního záření a hmoty dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. V blízkosti PN přechodu jsou generovány vodivostní páry elektron – díra. Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Dopadající fotony pak uvolňují volné elektrony směrem k oblasti typu N a vzniklé díry k oblasti typu P. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl



Obr. 1 Princip činnosti fotovoltaického článku

(napětí naprázdno  $U_0 \approx 0,6$  V) mezi předním a zadním kontaktem. V oblasti typu N je tedy přebytek elektronů, naopak v oblasti typu P jejich nedostatek. Propojí-li se obě oblasti vnějším elektrickým obvodem se zátěží (např. elektrickým spotřebičem), začnou se elektrony z oblasti typu N přemísťovat přes zátěž do oblasti typu P. Vnější obvodem tedy protéká stejnosměrný elektrický proud, jehož velikost je úměrná ploše fotovoltaického článku a intenzitě dopadajícího solárního záření.

Část slunečního záření se odráží od povrchu článků nebo prochází skrz článek bez využití (viz obr. 1). Kromě toho může nastat rekombinace elektronů a děr před jejich separací. Dále v případě nízké energie fotonu nedojde k uvolnění elektronů. Naopak při velké energii fotonu se využije pouze část energie na uvolnění elektronu a ostatní energie se přemění v teplo. Z výše uvedených důvodů je účinnost přeměny solární energie na elektrickou energii velmi nízká. Fotovoltaické články pracují v současné době běžně s účinností  $\eta \approx 15$  %. Rozměry jednoho fotovoltaického článku jsou obvykle 10 cm x 10 cm. Protože pracovní napětí tohoto článku je příliš nízké ( $U \approx 0,5$  V), zapojují se tyto články sériově za účelem získání dostatečně vysokého napětí. Podobně se články zapojují paralelně za účelem získání většího elektrického proudu. Sérioparalelním zapojením fotovoltaických článků vznikne fotovoltaický panel, který je základním prvkem fotovoltaických systémů.

## 3. FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Elektrickou energii, která byla získána přímou přeměnou solární energie na fotovoltaických panelech, je třeba dále vhodným způsobem využívat. Z tohoto důvodu je k fotovoltaickým panelům připojena soustava elektronických a elektrotechnických prvků, které společně s fotovoltaickými panely vytváří fotovoltaický systém. Existuje několik typů fotovoltaických systémů. Základním hlediskem jejich rozdělení je dosah veřejné rozvodné elektrické sítě.

### 3.1 Systémy bez připojení k rozvodné elektrické síti – ostrovní systémy (grid off)

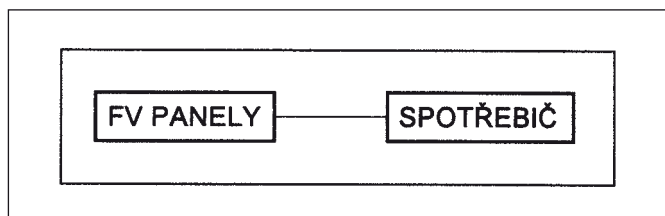
Ostrovní fotovoltaické systémy [8] se používají v místech, kde není k dispozici elektrina z veřejné rozvodné elektrické sítě. Tzn. v případech, kdy jsou příliš vysoké náklady na vybudování přípojky k rozvodné elektrické síti (cca ve vzdálenosti více než 500 m ÷ 1000 m od rozvodné elektrické sítě). Typickým příkladem aplikace ostrovních solárních systémů jsou různé chaty, samoty, rekreační objekty, automobilové obytné přívěsy nebo napájení dopravních signalizací v odlehklých místech bez přístupu k elektrické rozvodné síti.

#### 3.1.1 Autonomní systémy bez akumulace

U autonomních systémů bez akumulace elektrické energie se jedná o přímé propojení fotovoltaických (FV) panelů se spotřebičem (viz obr. 2). Aplikují se v takových případech, kdy nejsou kladeny zvláštní nároky na jejich provoz. Pracují pouze při dostatečně



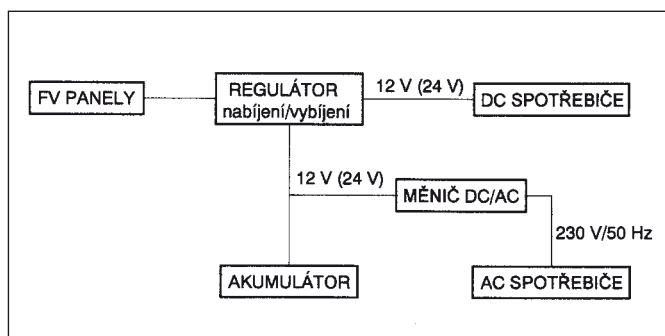
intenzitě slunečního záření a proto je jejich provoz velmi nepravidelný (tzn. náhodný). Používají se např. pro napájení čerpadel zavlažovacích systémů nebo zahradních okrasných fontánek, napájení ventilátorů pro odvětrávání prostorů apod.



Obr. 2 Autonomní fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie

### 3.1.2 Autonomní systémy s akumulací

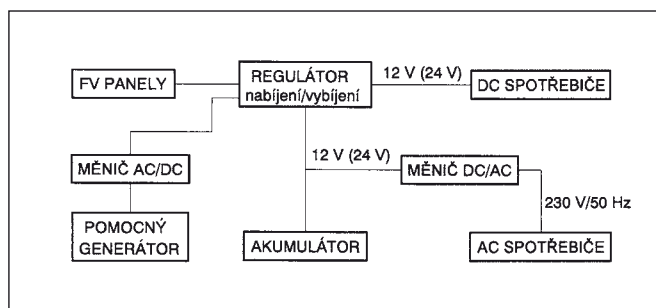
Jak již bylo uvedeno, sluneční záření je nestálý zdroj energie. Přitom doba, po kterou je k dispozici elektrická energie z fotovoltaických panelů, většinou nekoresponduje s dobou požadované spotřeby. Proto nezbytnou součástí autonomních systémů bývají akumulátory (viz obr. 3), které akumulují vyrobenou elektrickou energii v případě její nízké spotřeby a naopak se používají pro napájení elektrických spotřebičů v době, kdy je aktuálně větší spotřeba elektrické energie ve srovnání s vyrobenou elektrickou energií ze Slunce (např. v noci nebo při zatažené obloze). Pro optimální chod systému s akumulací energie je nutno zajistit správné nabíjení a vybíjení akumulátoru. K tomuto účelu slouží solární regulátor. K tomuto systému lze připojit spotřebiče na stejnosměrný proud (např. svítidla, chladničky aj. při stejnosměrném napětí zpravidla 12 V nebo 24 V) nebo spotřebiče na střídavý proud (tj. běžné síťové spotřebiče při napětí 230 V s frekvencí 50 Hz). K transformaci stejnosměrných veličin na střídavé slouží napěťový měnič DC/AC. Systémy s akumulací energie se používají jako zdroj energie pro chaty a jiné objekty, napájení dopravní signalizace, zahradních svítidel, světelných reklam apod.



Obr. 3 Autonomní fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie

### 3.1.3 Hybridní systémy

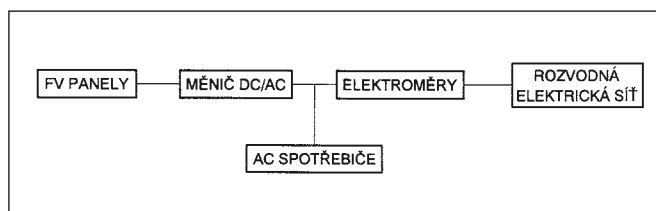
Hybridní ostrovní systémy se používají v místech, kde se předpokládá dlouhodobý provoz nebo občasný vysoký příkon energetických zařízení (např. pro napájení budov s celoročním provozem). V zimních měsících se přitom vyrobí podstatně méně elektřiny ze Slunce ve srovnání s letními měsíci. Proto by bylo nutno navrhnout fotovoltaický systém na zimní provoz. Ve svém důsledku by to znamenalo podstatné zvýšení instalovaného výkonu fotovoltaických panelů a tím i pořizovacích nákladů. Kromě toho by byl takový systém v letních měsících silně předimenzovaný. V těchto případech je vhodnější připojit doplňkový zdroj energie (tj. pomocný generátor – viz obr. 4), který pokryje energetické potřeby v době s nedostatečným slunečním svitem nebo v případech zvýšeného energetického odběru. Doplňkovým zdrojem energie může být např. větrný generátor, malá vodní elektrárna a diesलगрегát.



Obr. 4 Hybridní fotovoltaický systém

## 3.2 Systémy přímo připojené k rozvodné elektrické síti (grid - on)

Jak již je zřejmé z názvu, tyto systémy se uplatňují v místech, kde je k dispozici rozvodná elektrická síť. Používají se v objektech (např. v různých komerčních budovách a školských zařízeních), ve kterých jsou přednostně napájeni lokální elektrické spotřebiče elektrickou energií vyrobenou z fotovoltaických panelů. Spotřebiče v budovách jsou konstruovány na střídavý proud. Nezbytnou součástí těchto systémů je tedy měnič napětí, který transformuje stejnosměrný proud vyrobený fotovoltaickými panely na střídavý. Systém funguje zcela automaticky. V případě nedostatečného odběru je přebytečná elektrická energie dodávána do elektrické sítě. Naopak v případě, kdy fotovoltaické panely nejsou schopny pokrýt energetické nároky spotřebičů v budově, je nutno odebírat elektrickou energii z rozvodné elektrické sítě. Dodaná elektrická energie do rozvodné sítě i odebraná elektrická energie z rozvodné sítě jsou zaznamenány pomocí dvou nezávislých elektroměrů (viz obr. 5). Systémy přímo připojené k rozvodné elektrické síti se běžně obejdou bez poměrně nákladných akumulátorů, což je velká výhoda těchto systémů.



Obr. 5 Fotovoltaický systém přímo připojený k rozvodné elektrické síti

## 4. ZÁVĚR

Fotovoltaika patří k rychle se rozvíjejícím odvětvím. Mezi výhody tohoto odvětví patří především nevyčerpatelnost solární energie, ekologická šetrnost k životnímu prostředí a široké možnosti aplikace fotovoltaických systémů. Naopak k nevýhodám patří nestálý sluneční svit, nízká účinnost fotovoltaických systémů, drahá výroba a tím i dlouhá doba návratnosti vložených investičních prostředků do fotovoltaických zařízení. Proto je v současné době výroba elektřiny ze solární energie obtížně konkurenceschopným neobnovitelným zdrojem energie. Z důvodu rostoucích cen energií, vývoje účinnějších materiálů fotovoltaických článků, nových výrobních technologií, finančních dotací na obnovitelné zdroje energie, povinných výkupních cen elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů aj. lze očekávat perspektivní rozvoj fotovoltaiky v příštích letech.

## Literatura

- [1] Ceněk, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC s. r. o., Praha, 2001. 208 s.

- [2] Cihelka, J.: Sluneční vytápěcí systémy. SNTL, Praha, 1984. 208 s.
- [3] Götz, M.: Fotovoltaické systémy. Česká energetika 2003, roč. 3, č. 5, s. 48 – 52.
- [4] Kaminský, J., Vrtek, M.: Obnovitelné a alternativní zdroje energie. Skriptum VŠB – TU Ostrava, 1998. 148 s.
- [5] Medek, F.: Netradiční zdroje energie a architektura. Skriptum ČVUT Praha, 1994. 105 s.
- [6] Skácel, D.: Člověk a energie v souvislostech. Cesta k čisté elektřině. Alternativní energie 2004, roč. 7, č. 2, s. 36 – 37.
- [7] Vašina, M.: Demonstrační fotovoltaický systém FVS 2001E. Jemná mechanika a optika 2006, roč. 51, č. 10, s. 267 – 269.
- [8] <http://www.i-ekis.cz/?page=slunce-elektrina>

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576 035 101, e-mail: [vasina@ft.utb.cz](mailto:vasina@ft.utb.cz)

## VELETRH CONTROL POPRVÉ NA NOVÉM VÝSTAVIŠTI VE STUTTGARTU

Letošní 22. ročník veletrhu měřicí techniky CONTROL se konal ve dnech 22. – 25. 4. 2008, a to poprvé ve Stuttgartu. Organizátoři přistoupili k razantnímu kroku a přemístili tento veletrh z prostorů již nevyhovujících podmínek v Sinsheimu do pravděpodobně nejmodernějšího evropského výstavního areálu „Neue Messe Stuttgart“, který poskytuje v 9 pavilonech 100 000 m<sup>2</sup> výstavní plochy. Přibližně 900 vystavovatelů ze 30 zemí včetně České republiky zaplnilo zhruba polovinu výstaviště. Po všechny dny bylo vytiženo odbornými semináři i kongresové centrum.



Charakteristický pro tento ročník byl téměř agresivní nástup bezkontaktních optických metod do většiny oblastí strojírenské metrologie, a to od povrchové defektometrie přes klasické měřicí kamerové systémy až po třísořadnicovou měřicí techniku. Zdá se, že zbývající část Evropy začíná v tomto směru zaostávat za Německem, který má velké teoretické zázemí, zejména v prestižním Fraenhofer institutu. Řada německých firem si včas uvědomila, že ve světové konkurenci obstojí jen rychlým zaváděním těchto metod do praxe. Je potěšitelné, že tento trend zachytila i brněnská firma MESING, zaměřená mimo jiné na kontrolu povrchových vad a se svým německým partnerem OPTOSURF v jeho expozici prezentovala progresivní zařízení na bezkontaktní kontrolu úchylek kruhovitosti a drsnosti, ale i povrchových vad. Konkurenční



schopnost prokázaly i další dvě české firmy, aplikující hlavně klasické kontaktní metody. V některých expozicích zahraničních firem působil i řada českých dealerů jako informátoři.

Neue Messe Stuttgart poskytla vystavovatelům velmi dobré zázemí a návštěvníkům optimální prostředí se zdařilou architekturou, kompaktním a logickým uspořádáním hal a s vynikajícími klimatickými i světelnými podmínkami. Nové výstaviště je těsně vedle letištní odbavovací haly, dálnice A8, rychlodráhy s přípojem na ICE, dvou velkokapacitních parkovacích domů i volné parkovací plochy s celkovou kapacitou 17 000 parkovacích míst - vše dostupné pěšky během několika málo minut. Také díky této detailně promyšlené integraci všech prvků je možné bez problému zvládnout návštěvu veletrhu při odletu z Prahy i Vídně v jednom dni. Příští CONTROL se koná opět na výstavišti Neue Messe Stuttgart 5. – 8. 5. 2009.

*Jan Kůr*

Ing. Jan Kůr, MESING, spol. s r. o., Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, tel.: +420 545 426 211, e-mail: [info@mesing.cz](mailto:info@mesing.cz)

## Vizualizace blízkých elektromagnetických polí elektronických systémů

*V článku je popsán vyhodnocovací systém pro měření blízkého elektromagnetického pole vyzařovaného mobilním telefonem. Jsou zde prezentovány výsledky z navrženého vizualizačního programu, pomocí kterého lze nalézt místa se zvýšenou vyzařovací schopností a tím naznačit cestu pro konstrukční zásahy k omezení vzájemného rušení elektronických systémů.*

**Klíčová slova:** elektromagnetické pole, vizualizace, rušení, EMC

### 1. ÚVOD

V současné době hustota výskytu elektronických systémů dramaticky roste. Mikroprocesorová technika je zakomponována v obrovské spoustě výrobků, hračkami pro děti počínaje a našimi motorizovanými miláčky konče. To vede nejen ke zvýšení komfortu našich životů, ale někdy také k potížím, které vznikají vzájemným ovlivňováním těchto elektronických systémů. Problémy, které takto vznikají, jsou někdy velmi nebezpečné, uvážíme-li množství zabezpečovací a řídicí techniky ve výrobě, dopravě, zdravotnictví a dalších oblastech průmyslové civilizace. Toto záření je ve vyšších intenzitách dosti nebezpečné, jak pro ostatní přístroje, tak pro lidi v jejich okolí. Je proto velmi důležité konstruovat výrobky tak, aby byly odolné proti elektromagnetickému rušení a současně nerušily svou činností okolí. Aby u elektronického zařízení nenastal případ, kdy by toto zařízení vyzařovalo nebezpečnou intenzitu elektromagnetického záření, podléhají tato zařízení normám pro vyzařování elektromagnetického záření. U každého nově vyvinutého elektronického zařízení je potřeba zjistit, zda splňuje požadavky dané normy. To se zjišťuje ve zkušebním ústavu tak, že se provede měření elektronického zařízení ze vzdálenosti několika metrů. Problém pro firmu, vyvíjející zkoušené elektronické zařízení, nastává tehdy, jestliže je naměřena zkušebním ústavem vyšší intenzita elektromagnetického záření, než je stanovený limit. Zkušební ústav nedokáže detailně určit místo na elektronickém zařízení s nejvyšší intenzitou vyzařování elektromagnetického pole. Firma vyvíjející elektronické zařízení musí toto místo hledat pomocí elektrických a matematických modelů. Nalezení zdroje záření je tak dosti obtížné a časově zdouhavé. Cílem této práce je zobrazení elektromagnetického pole v okolí elektronického zařízení za účelem určení místa s jeho nejvyšší intenzitou a tím napomoci konstruktérům k jeho potlačení.

### EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### Použité přístroje

##### *Analogový XY zapisovač*

Pro posuv zkoumaného přístroje v osách X a Y byl použit analogový XY zapisovač. Tento zapisovač převádí změny analogových hodnot vstupu na změny posunutí „zapisovacího pera“ v osách X a Y. Na místo zapisovacího pera bylo umístěno elektronické zařízení určené ke skenování.

##### *Technologická karta Advantech PCL812PG*

K řízení XY zapisovače bylo zapotřebí analogového signálu. Za tímto účelem byla do PC přidána laboratorní karta PCL812PG od firmy Advantech.

##### *Sondy RS E 10 a RS H 2,5-2*

K měření kmitavé magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole pomocí spektrálního analyzátoru byly použity

sondy od firmy Rohde&Schwarz, jež mají velmi malé geometrické rozměry a jsou proto vhodné k detailnímu měření elektromagnetického pole.

##### *Spektrální analyzátor*

K měření magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole byl použit spektrální analyzátor SF300 s měřicím rozsahem 9 kHz – 3 GHz.

##### *Mobilní telefon Siemens C10*

Pro aplikaci skenovací aparatury na reálné zařízení byl vybrán starší mobilní telefon z důvodů značné intenzity vyzařovaného elektromagnetického záření.

#### Použitý software

Za účelem skenování byl vytvořen uživatelský program ve vývojovém prostředí Borland Delphi, který sloužil pro komunikaci s analogovým XY zapisovačem prostřednictvím laboratorní karty PCL 812 PG. Pro načítání a ukládání dat ze spektrálního analyzátoru byl vytvořen uživatelský program v prostředí Vee Pro (fy Agilent).

#### Měření intenzity elektrického pole a magnetické indukce kolem mobilního telefonu

Cílem této práce není skenování mobilního přístroje za účelem kritiky dodržování zdravotních limitů o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, ale nalezení míst s jeho nejvyšší intenzitou. Mobilní telefon byl proto záměrně poškozen odebráním stínicího krytu z vysokofrekvenčního modulu.

Mobilní telefony využívají pro komunikaci dvou frekvenčních pásem 900 MHz a 1,8 GHz. Bylo proto provedeno skenování



Obr. 1 Mobilní telefon SIEMENS C10, jeho elektronika s odkrytým vysokofrekvenčním modulem

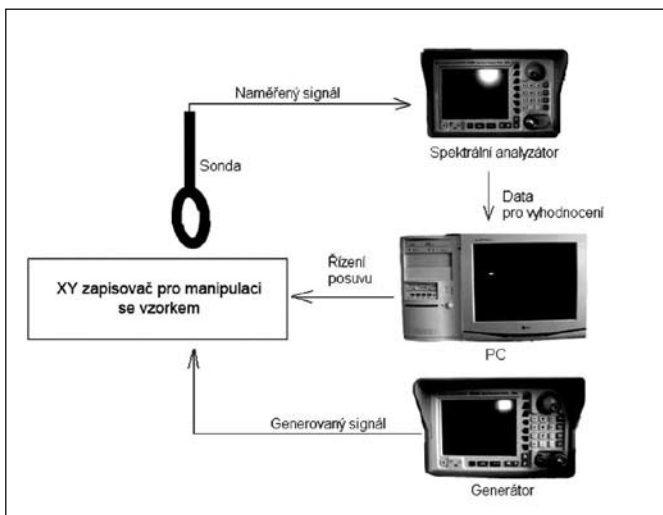


mobilního telefonu právě na těchto dvou frekvencích. Během vlastního měření byl mobilní telefon v nepřetržitém spojení se sítí. Mobilní telefon vykazoval dostatečnou (měřitelnou) intenzitu záření a pro vizualizaci bylo zapotřebí dostatečně malé rozlišení sond. Dle těchto kritérií byly vybrány dvě sondy. Pro skenování intenzity elektrické složky elektromagnetického pole byla vybrána sonda RS E 10, pro skenování intenzity magnetické složky elektromagnetického pole byla vybrána sonda RS H 2,5-2. Inkrement skenování byl zvolen 0,5 mm v obou osách.

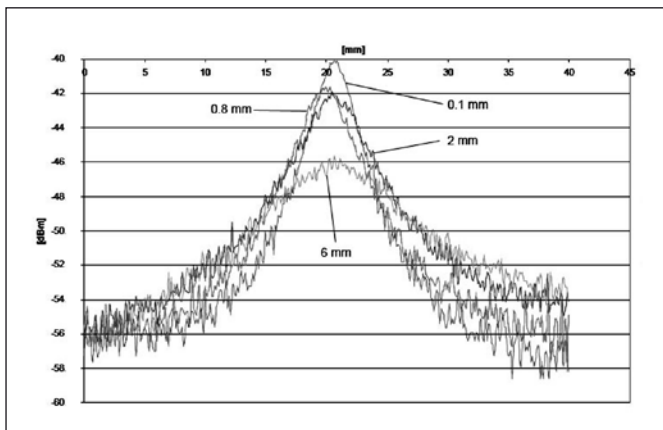
### Odhad rozlišovací schopnosti měřicí aparatury

Pro měření elektromagnetického vysokofrekvenčního pole za účelem jeho vizualizace bylo použito pěti sond značky Rohde&Schwarz. U těchto sond nebyly uvedeny pro nás potřebné údaje a to převážně minimální rozlišení sondy. K tomu bylo potřebné vytvořit a oskenovat jednotkový (Diracův) impuls s různými vzdálenostmi od zdroje a při různých frekvencích a z naměřených dat vyhodnotit minimální rozlišení sondy. Znalost tohoto rozlišení při skenování je důležitá pro nastavení minimálního posuvu sondy, což vede ke zkrácení doby skenování. Dále nám minimální rozlišení sondy naznačuje minimální vzdálenost dvou zdrojů signálu, které ještě lze z výsledků skenování rozeznat a identifikovat jako dva nezávislé zdroje. V okamžiku, kdy je vzdálenost těchto dvou zdrojů menší než rozlišení sondy, nelze již tyto dva zdroje signálu z výsledků skenování identifikovat.

Zdroj jednotkového impulsu představoval tenký drát (o průměru 0,635 mm), který byl napnut na dřevěnou konstrukci a napájen z generátoru požadovanou frekvencí. Zatěžovací impedance byla zvolena 50 Ω. Schéma aparatury je uvedeno na obrázku 2.



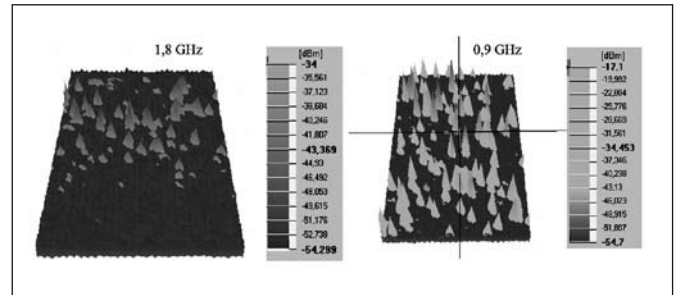
Obr. 2 Schéma měřicí aparatury



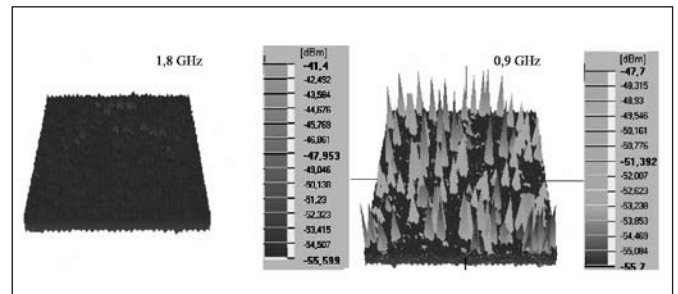
Obr. 3 Odezva soustavy na prostorový impuls pro frekvenci 1 GHz

Uvedená měřicí aparatura byla použita pro testování prostorové rozlišovací schopnosti zařízení. Měření bylo provedeno při frekvenci 1 GHz v různé vzdálenosti od přímého vodiče. Naměřené průběhy jsou uvedeny na obrázku 3.

S takto sestavenou a otestovanou aparaturou bylo provedeno skenování nad povrchem mobilního telefonu. Vizualizované složky elektromagnetického pole jsou znázorněny na obrázcích 4 a 5.

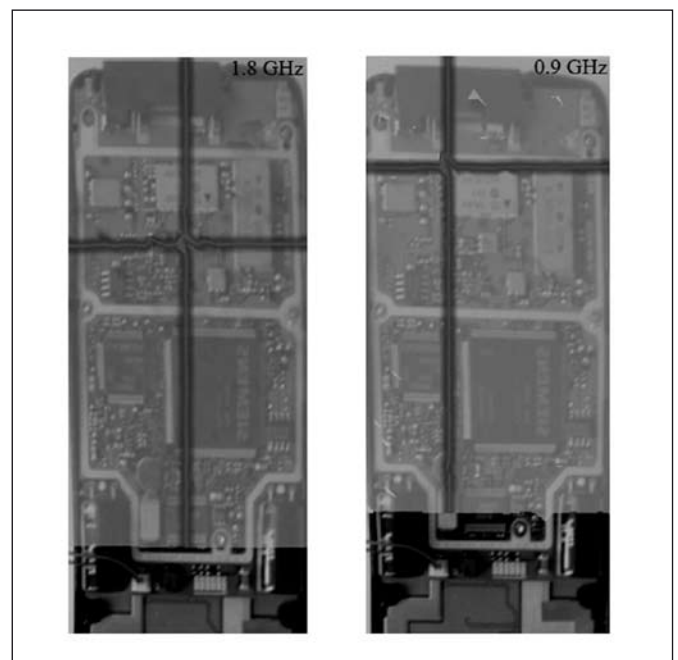


Obr. 4 Celková intenzita elektrické složky elektromagnetického pole pro 1,8 GHz a 0,9 GHz

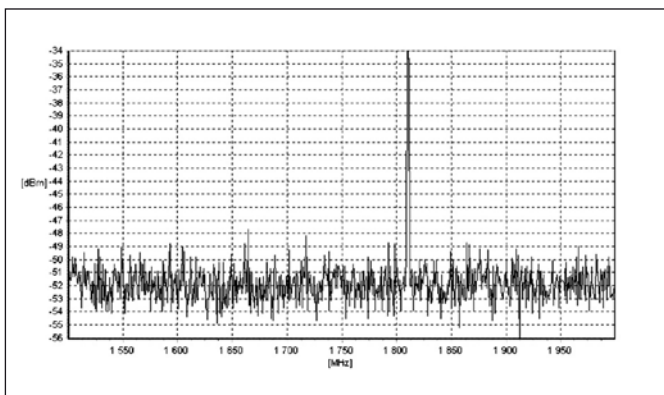


Obr. 5 Celková intenzita magnetické složky elektromagnetického pole pro 1,8 GHz a 0,9 GHz

Pomocí vizualizačního programu, kde takto získaná data jsou přeložena přes fotografický obraz elektronické struktury, lze nalézt místa s maximálními složkami elektromagnetického pole. Výstup z tohoto programu je uveden na obrázku 6.

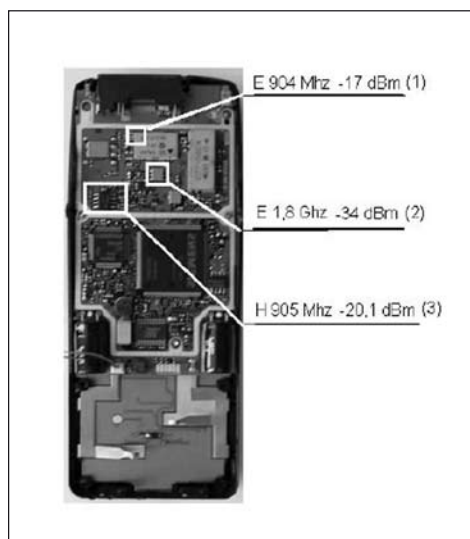


Obr. 6 Nalezení hodnoty maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole pomocí námi vyvinutého vizualizačního programu



Obr. 7 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole

Analýzou obou složek elektromagnetického pole lze nalézt místa s nejvyšší intenzitou vyzařování, jak dokumentujeme na následujícím obrázku.



Obr. 8 Lokalizace míst s maximálním vyzařováním elektromagnetického pole

## ZÁVĚR

V článku jsme ukázali úvodní experimenty, které byly udělány z důvodů vizualizace vyzařovaných elektromagnetických polí pro potřeby především konstruktérů. Naším konečným cílem je však zobrazení pole Poyntingova vektoru, který by nám říkal, kterým směrem v prostoru se nám energie šíří a to je velmi důležité v případě systémů s více deskami. Jedná se o složitější otázku, jak z hlediska techniky vlastního měření jednotlivých složek elektromagnetického pole, tak i výpočetního. Musíme si uvědomit, že měření provádíme v blízkém poli a zdroje vyzařování mají různé impedance. Měříme také složky intenzity elektrického pole a magnetické indukce a teprve následně dopočítáváme vektory obou veličin a následně energetický tok. To vše pro různé frekvence a ve velmi komplikovaných podmínkách složité elektronické struktury v 3D prostoru. Takže to, co jsme prezentovali nyní, je sice užitečný, ale přece jenom úvodní krok k vizualizaci elektromagnetických polí v laboratořích Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

*Tato práce vznikla za podpory výzkumného záměru MSM 7088352102 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.*

## Literatura

- [1] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita, principy a metody*, Vysoké učení technické, Brno 2001
- [2] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. aj. *Elektromagnetická kompatibilita elektronických systémů*. Grada Publishing, Praha, 1998
- [3] PAUL, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, Wiley Interscience, 2006
- [4] SENGUPTA, D. L., LIEPA, V. V. *Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility*, Wiley Interscience, 2006
- [5] KOŠINA, T. *Zobrazení elektromagnetických polí pro účely EMC*. Zlín: UTB, 2007. 179 s. Vedoucí diplomové práce Křesálek.
- [6] Rhode&Schwarz, firemní literatura

Kontakt: doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc., Ústav elektrotechniky a měření, Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: 577 341 310, e-mail: kresalek@fai.utb.cz

## Veletrh AUTOMATICA v Mnichově

V Novém mnichovském veletržním centru se od 10. do 13. června 2008 uskuteční třetí mezinárodní veletrh AUTOMATICA od roku 2004 pořádaný každý druhý rok. Je zaměřen na inovace v robotice, montážní a manipulační technologii, průmyslovém zobrazování a přidružených oborech. Je přehlídkou automatizace a robotizace od komponent a systémů po aplikace a služby a nabízí obchodníkům světově ojedinělou příležitost nalézt na míru navržená řešení s cílem dosažení produktivnějšího auto-

maticky řízeného výrobního procesu pomocí vyšší efektivity. Návštěvníci se seznámí s nejnovějšími výrobky předních firem v oboru. V prostorách výstavního střediska se konají doprovodné programy, například 11. a 12. června konference Robotic 2008, kongres DAGM, panelové diskuze, lektorské programy o automobilovém průmyslu a zpracování kovů, diskuze napříč průmyslovými obory. Podrobněji na <http://www.automatica-munich.com>.

# Měření modulu pružnosti kapalin

*Skutečné kapaliny jsou stlačitelné. Stlačitelnost kapalin je určena modulem pružnosti (resp. součinitelem objemové stlačitelnosti) podobně jako u pevných látek. Velikost modulu pružnosti u kapalin závisí na mnoha faktorech, zejména na obsahu volných plynů v kapalinách a dále na tlaku a teplotě kapalin.*

**Klíčová slova:** modul pružnosti, součinitel objemové stlačitelnosti, objem, tlak, vzduch, kapacita.

## 1. ÚVOD

Významnou fyzikální vlastností kapalin je jejich stlačitelnost. Stlačitelnost kapalin představuje schopnost měnit svůj objem při změně tlaku. Při zvýšení tlaku dochází ke zmenšení původního objemu kapaliny a naopak při poklesu tlaku nastává zvětšení původního objemu kapaliny. Tuhost daného objemu kapaliny je charakterizována modulem pružnosti kapaliny, resp. součinitelem objemové stlačitelnosti. Stlačitelnost kapaliny významně ovlivňuje vlastnosti hydraulických systémů. Modul pružnosti kapaliny se obecně mění s tlakem a teplotou. Tato změna se projeví zejména při velkých tlakových a teplotních změnách. Pro konstantní tlak a pomalé změny tlaku je stlačitelnost kapaliny dána izotermickým modulem pružnosti, pro rychlé změny tlaku (např. při hydraulickém rázu) adiabatickým modulem pružnosti. Na stlačitelnost kapaliny má významný vliv volný vzduch (resp. jiný plyn) ve formě bublin, který značně snižuje hodnotu modulu pružnosti kapalin.

## 2. TEORIE STLAČITELNOSTI KAPALIN

Součinitel objemové stlačitelnosti kapaliny  $B$  při konstantní teplotě je definován vztahem:

$$\beta = -\frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p} \quad (1)$$

kde  $\Delta V$  je změna objemu kapaliny při změně tlaku  $\Delta p$  a  $V$  je původní objem kapaliny. Převrácená hodnota součinitele objemové stlačitelnosti kapaliny je modul pružnosti kapaliny  $K$ :

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

Vzduch (nebo jakýkoliv jiný plyn) v kapalině se vyskytuje ve dvou formách. Buď ve formě bublin jako volný (tj. nerozpuštěný) nebo může být pohlcený (tj. rozpuštěný). Na stlačitelnost kapalin má vliv pouze volný vzduch, naopak vzduch pohlcený v kapalině stlačitelnost kapaliny neovlivňuje. Volný vzduch v kapalině se významně projeví ve zvýšení stlačitelnosti kapaliny, tzn. hodnota modulu pružnosti kapaliny se sníží. Modul pružnosti kapaliny s volným vzduchem se stanoví podle vztahu [5]:

$$K_s = \frac{K_k \cdot n \cdot p}{n \cdot p + \alpha_v \cdot (K_k - n \cdot p)} \quad (3)$$

kde:  $K_k$  je modul pružnosti kapaliny bez volného vzduchu,  $p$  je tlak,  $n$  je polytropický exponent ( $n = 1$  pro izotermickou kompresi,  $n = 1,4$  pro adiabatickou kompresi) a  $\alpha_v$  je objemová koncentrace vzduchu ve směsi kapaliny a volného vzduchu.

Objemová koncentrace vzduchu ve směsi kapaliny a volného vzduchu je dána vztahem:

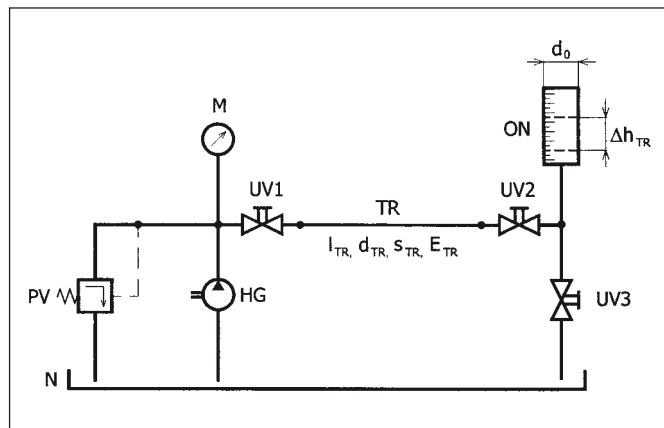
$$\alpha_v = \frac{V_v}{V_v + V_k} = \frac{V_v}{V_s} \quad (4)$$

kde:  $V_v$  je objem volného vzduchu ve směsi,  $V_k$  je objem kapaliny ve směsi a  $V_s$  je objem směsi kapaliny a volného vzduchu.

## 3. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI KAPALIN

Měření modulu pružnosti kapaliny [4] bylo provedeno v laboratorních katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení na VŠB – TU Ostrava. Měřenou kapalinou byl hydraulický minerální olej Madit typu OH – HM 32 (výrobce Slovnaft, a. s., Bratislava), který se používá u hydrostatických mechanismů s vysokým mechanickým a tepelným namáháním pro stabilní i mobilní zařízení [6].

Princip měření je zřejmý z obr. 1. Zdrojem tlakové energie kapaliny je neregulační hydrogenerátor HG. Tlakový spád  $\Delta p$ , který byl snímán pomocí manometru M, se nastavil na pojistném ventilu PV. K měření modulu pružnosti oleje se použila ocelová trubka TR (s vnitřním průměrem  $d_{TR} = 25$  mm, tloušťkou stěny  $s_{TR} = 1,5$  mm, délkou  $l_{TR} = 1430$  mm a modulem pružnosti  $E_{TR} = 2,1 \cdot 10^{11}$  Pa), která se umístila mezi uzavírací ventily UV1 a UV2. Dále byla součástí zařízení odměrná nádobka ON s průměrem  $d_0 = 10,7$  mm a uzavírací ventil UV3, který se používal k vypouštění oleje z odměrné nádoby. Nejprve se otevřel uzavírací ventil UV1. Ostatní uzavírací ventily byly uzavřeny. V důsledku nastaveného tlakového spádu  $\Delta p$  nastalo odpovídající stlačení oleje v trubce. Přebytečný olej proudil přes pojistný ventil do nádrže N. V dalším kroku se uzavřel uzavírací ventil UV1 a v trubce zůstal stlačený olej. Potom se otevřel uzavírací ventil UV2. Následkem toho nastalo zvýšení hladiny oleje  $\Delta h_{TR}$  v odměrné nádobce. Toto zvýšení hladiny bylo úměrné stlačitelnosti oleje v trubce, resp. nastavenému tlakovému spádu  $\Delta p$ , a tím i modulu pružnosti oleje. Stejným způsobem se postupovalo při měření modulu pružnosti při jiných tlakových spádech.



Obr. 1 Schéma zařízení na měření modulu pružnosti kapalin



Pro stanovení modulu pružnosti oleje se vychází ze skutečnosti, že celková kapacita soustavy olej + trubka  $C_{O,TR}$  je dána součtem dílčích kapacit, tzn. kapacity oleje  $C_O$  a kapacity trubky  $C_{TR}$ :

$$C_{O,TR} = C_O + C_{TR} \quad (5)$$

Pro jednotlivé kapacity platí následující vztahy:

$$C_{O,TR} = \frac{\Delta V_{O,TR}}{\Delta p} \quad (6)$$

$$C_O = \frac{V_{O,TR}}{K_O} \quad (7)$$

$$C_{TR} = \frac{V_{O,TR} \cdot d_{TR}}{E_{TR} \cdot s_{TR}} \quad (8)$$

Po dosažení rovnic (6) ÷ (8) do rovnice (5) a následujících matematických úpravách lze stanovit vztah pro výpočet modulu pružnosti oleje  $K_O$ :

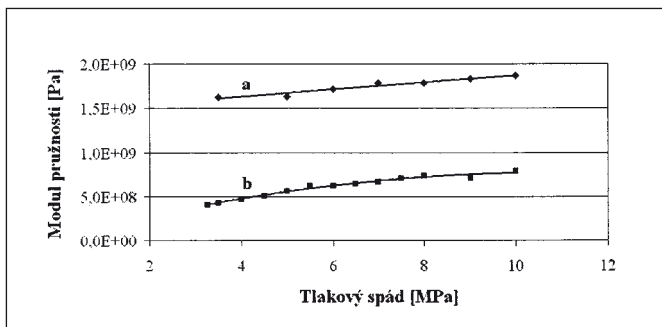
$$K_O = \frac{1}{\frac{\Delta V_{O,TR}}{V_{O,TR} \cdot \Delta p} - \frac{d_{TR}}{E_{TR} \cdot s_{TR}}} \quad (9)$$

Pro přírůstek objemu oleje (v důsledku jeho stlačitelnosti) v odměrné nádobce  $\Delta V_{O,TR}$  a objem oleje v trubce  $V_{O,TR}$  přitom platí rovnice:

$$\Delta V_{O,TR} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot \Delta h_{TR} \quad (10)$$

$$V_{O,TR} = \frac{\pi \cdot d_{TR}^2}{4} \cdot l_{TR} \quad (11)$$

Ze vztahů (9) ÷ (11) je zřejmé, že pro stanovení modulu pružnosti oleje bylo třeba změřit velikost tlakového spádu  $\Delta p$  na pojistném ventilu a zvýšení hladiny oleje  $\Delta h_{TR}$  v odměrné nádobce. Ostatní veličiny byly již známy. Měření modulu pružnosti oleje Madit OH – HM 32 proběhlo při konstantní teplotě oleje  $t = 26^\circ\text{C}$ . Naměřené závislosti modulu pružnosti v závislosti na tlakovém spádu jsou uvedeny na obr. 2. Pro porovnání pružných vlastností kapalin byl změřen výše uvedený olej bez příměsi vzduchu a s obsahem vzduchu



Obr. 2 Závislosti modulu pružnosti oleje Madit OH – HM 32 na tlakovém spádu (a – olej bez obsahu volného vzduchu, b – olej s obsahem volného vzduchu)

ve formě nerozpuštěných vzduchových bublin. Z obr. 2 je zřejmé, že s rostoucím tlakovým spádem vzrůstá modul pružnosti oleje. Kromě toho je patrný vliv nerozpuštěného vzduchu v oleji. Je zřejmé, že s rostoucím obsahem volného vzduchu v oleji se snižuje modul pružnosti oleje a tím i jeho tuhost při daném tlakovém spádu.

V tab. 1 jsou pro srovnání uvedeny hodnoty modulu pružnosti (viz [2] a [3]) různých druhů kapalin, které neobsahují volný plyn. Z tohoto srovnání je zřejmé, že nejvyšší hodnoty modulu pružnosti jsou dosaženy u vody, vodní emulze a glycerinu, tj. u méně stlačitelných kapalin. Naopak nižších hodnot modulu pružnosti kapalin je dosaženo u syntetických kapalin, minerálních olejů a naftových produktů. Tyto kapaliny tedy patří ke kapalinám s vyšší stlačitelností.

Tab. 1 Moduly pružnosti některých druhů kapalin

Kapalina	Modul pružnosti [Pa]
Minerální oleje	$(1,4 \div 1,8) \cdot 10^9$
Glycerin	$(4,5 \div 5,0) \cdot 10^9$
Syntetické kapaliny	$(1,0 \div 1,3) \cdot 10^9$
Letecký olej	$2,0 \cdot 10^9$
Produkty nafty	$1,4 \cdot 10^9$
Emulze do 10 % oleje ve vodě	$2,0 \cdot 10^9$
Voda 18 °C	$2,1 \cdot 10^9$

## ZÁVĚR

Předmětem tohoto příspěvku byla metodika měření izotermického modulu pružnosti kapalin s posouzením některých faktorů, které ovlivňují hodnotu modulu pružnosti kapalin. Modul pružnosti u kapalin je obdobou Youngova modulu pružnosti u tuhých pružných těles a charakterizuje pružnost (resp. tuhost) samotného sloupce kapaliny. Z experimentálního měření je zřejmá závislost modulu pružnosti na tlaku pro minerální olej jak bez obsahu volného vzduchu, tak i s jeho obsahem. Měřením se potvrdilo, že modul pružnosti kapalin všeobecně vzrůstá se vzrůstajícím pracovním tlakem kapaliny a s klesajícím množstvím volného vzduchu v kapalinách.

## Literatura

- [1] Peňáz, V., Benža, D.: Tekutinové mechanizmy. Skriptum VUT Brno, 1990. 211 s.
- [2] Noskovič, J.: Hydromechanika. Skriptum VŠB - TU Ostrava, 1986. 130 s.
- [3] Rýc, Z.: Hydraulické pohony a mechanizmy. Skriptum VŠB - TU Ostrava, 1984. 91 s.
- [4] Vašina, M.: Energeticky úsporné hydraulické systémy zvedacích a nakládacích zařízení montovaných na nákladní automobily. Disertační práce. VŠB - TU Ostrava, 2000.
- [5] Kopáček, J.: Vzduch v minerálním oleji a jeho měření. Strojírenství, svazek 36, č.11, str. 656 - 662, 1986.
- [6] <http://www.vurup.sk/english/madit/ohhm3246/slovak.html>

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035101, e-mail: vasina@ft.utb.cz

Dr. Ing. Lumír Hružík, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, Fakulta strojní, Česká republika, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: +420 597324384, e-mail: lumir.hruzik@vsb.cz

# Vliv znečištění atmosféry na výkonnost solárních panelů

*Přímá transformace energie slunečního záření v elektrickou energii se uskutečňuje prostřednictvím solárních panelů. Účinnost této energetické přeměny je velmi nízká. Je ovlivněna mnoha faktory, především použitým polovodičovým materiálem solárních panelů a úhlem dopadu slunečního záření na solární panely. Předmětem tohoto příspěvku je posouzení vlivu znečištění atmosféry na výkonnost solárních panelů.*

**Klíčová slova:** sluneční záření, solární panel, znečištění atmosféry, výkon, elektrická energie

## 1. ÚVOD

Energie slunečního záření patří k obnovitelným zdrojům energie. Ve srovnání s fosilními palivy je prakticky nevyčerpatelná. Tato energie se dá využít mnoha způsoby. Jednou z možností je přímá přeměna solární energie v elektrickou energii, tzv. fotovoltaická přeměna. Výstupem této přeměny je stejnosměrný elektrický proud, který lze dále ve střídači transformovat na střídavý elektrický proud. Fotovoltaická přeměna se uskutečňuje na solárních (tzv. fotovoltaických) panelech, které jsou vyrobeny z vhodných polovodičových materiálů. Solární panely se vyrábí především na bázi křemíku (monokrystalického, polykrystalického nebo amorfního). K dalším vhodným materiálům patří arsenid galia, telurid kademnatý a sulfid kademnatý [2].

Účinnost přímé přeměny solární energie v elektrickou energii dosahuje v současné době nízkých hodnot (běžně okolo 15 %) a je ovlivněna mnoha faktory. K těmto faktorům patří druh materiálu, úhel sklonu a orientace solárních panelů, možnost regulace natáčení solárních panelů neustále kolmo ke slunci, znečištění atmosféry, nadmořská výška, zeměpisná poloha, účinnost střídače při transformaci stejnosměrných elektrických veličin na střídavé apod.

Tento příspěvek se zabývá posouzením vlivu znečištění atmosféry na výkonnost solárních panelů, resp. na množství vyrobené elektrické energie.

## 2. MĚŘENÍ VLIVU ZNEČIŠTĚNÍ ATMOSFÉRY NA VÝKONNOST SOLÁRNÍCH PANELŮ

### 2.1 Instalace solárních panelů

Měření vlivu znečištění atmosféry na výkonnost solárních panelů se uskutečnilo v době od července 2004 do listopadu 2005. Za tímto



Obr. 1 Umístění zkoumaných solárních panelů na střeše budovy UTB ve Zlíně

účelem byly na střeše budovy U5 Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně v lokalitě Jižní svahy (viz obr. 1) umístěny dva kusy solárních panelů typu SP17 od firmy Solartec, s. r. o. Rožnov pod Radhoštěm. Jednalo se o panely vyrobené z monokrystalických křemíkových solárních článků s pevným sklonem pod úhlem 45° vzhledem k vodorovné rovině s orientací na jižní světovou stranu. Špičkový (za ideálních podmínek) stejnosměrný výkon jednoho solárního panelu byl  $P_{\text{imax}} = 100$  W. Solární panely byly zajištěny proti pohybu soustavou betonových desek. Jeden solární panel byl pravidelně čištěn jednou týdně směsí teplé vody s běžně dostupným čisticím prostředkem (viz panel vlevo na obr. 1), druhý panel zůstal po celou dobu měření znečištěný.

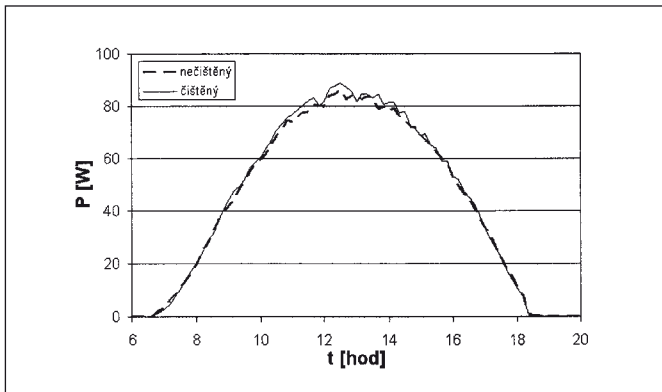
### 2.2 Princip měření vlivu znečištění

Jak již bylo uvedeno, oba solární panely vyrábí stejnosměrný elektrický proud ze slunečního záření. Tento stejnosměrný proud z obou solárních panelů byl veden ke střídačem umístěným pod jednotlivými panely a byl transformován na střídavý elektrický proud. Střídavý výkon ze střídačů byl přenášen silovým vedením do rozváděče. Vyrobená elektrická energie byla následně dodávána do místní elektrické sítě. Střídače byly propojeny přes datovou linku s dataloggerem, který posílal získaná data (tzn. celková vyrobená energie, okamžité hodnoty napětí, proudu a energie) ze střídačů přes místní počítačovou síť do internetu. Získaná data byla následně zpracována a vyhodnocena.

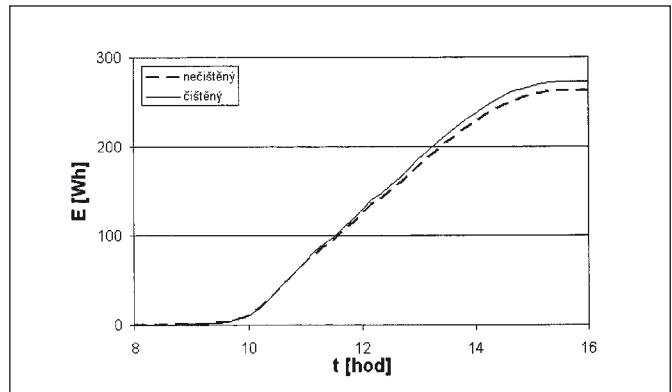
## 3. POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH ZÁVISLOSTÍ OBOU SOLÁRNÍCH PANELŮ

Měření vlivu znečištění na výkonnost (resp. na množství vyrobené energie) u obou solárních panelů trvalo více než jeden rok. Po celou dobu měření se přitom obecně měnil úhel dopadu slunečního záření na solární panely v závislosti na konkrétních dnech kalendářního roku. Např. maximální hodnota úhlu sklonu slunce (tj. 63°) nad obzorem je dosažena v červnu a minimální hodnota úhlu sklonu slunce (tj. 17°) v prosinci v podmínkách České republiky [5]. Kromě toho se měnila doba východu a západu slunce v jednotlivých dnech, četnost oblačnosti apod.

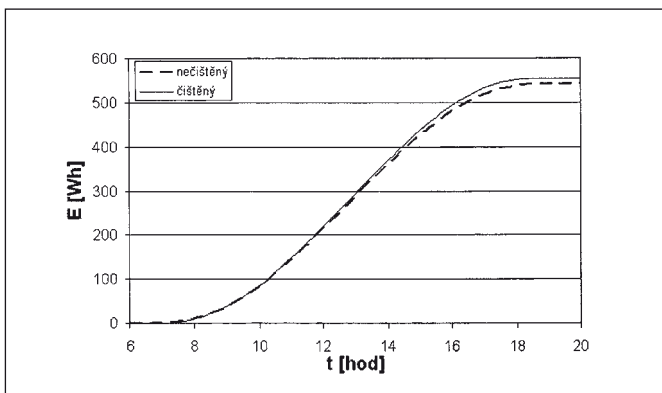
Na obr. 2 jsou znázorněny průběhy střídavých výkonů čištěného a nečištěného panelu ze dne 31. 7. 2004, kdy slunce svítilo po celý den. V tenýž den je pro srovnání na obr. 3 znázorněna vyrobená elektrická energie obou solárních panelů. Stejně grafické závislosti ze dne 25. 11. 2004 jsou znázorněny na obr. 4 a obr. 5. Z obr. 4 je zřejmé, že slunce nesvítilo stále a došlo k poklesu výkonnosti solárních panelů (především po 11. hodině). Na obr. 6 je znázorněn týdenní průběh vyrobené elektrické energie solárními panely v týdnu od 16. 8. 2004 do 22. 8. 2004. Podobné časové průběhy střídavého výkonu a vyrobené elektrické energie se získaly i v ostatních dnech měření vlivu znečištění.



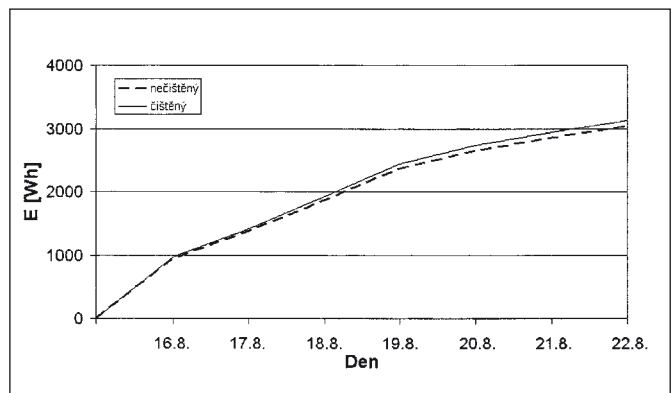
Obr. 2 Střídavé výkony solárních panelů ze dne 31. 7. 2004



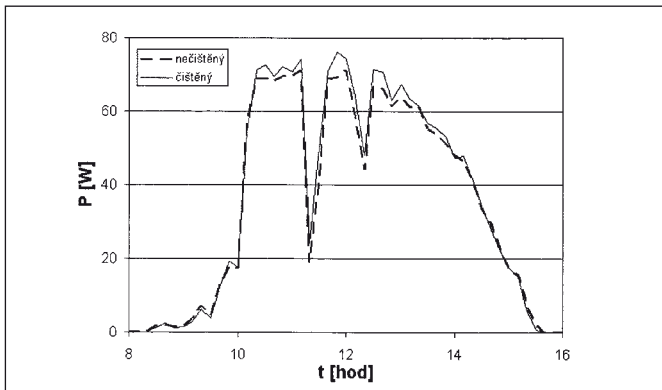
Obr. 5 Elektrická energie vyrobená solárními panely ze dne 25. 11. 2004



Obr. 3 Elektrická energie vyrobená solárními panely ze dne 31. 7. 2004



Obr. 6 Elektrická energie vyrobená solárními panely v týdnu od 16. 8. 2004 do 22. 8. 2004



Obr. 4 Střídavé výkony solárních panelů ze dne 25. 11. 2004

Z výše uvedených grafických průběhů je zřejmé, že znečištění atmosféry má vliv na výkonnost solárních panelů a tím i na vyrobenou elektrickou energii. Tento vliv ale není příliš velký. Po celou dobu měření vlivu znečištění bylo vyrobeno zhruba o 2,65 % více elektrické energie u solárního panelu, který byl čištěn pravidelně jednou týdně. I když se toto zvýšení množství vyrobené elektrické energie zdá příliš nízké, přesto se může jednat o poměrně velké energetické úspory. To platí zejména u provozovatelů fotovoltaických zařízení velkých špičkových výkonů. Na druhé straně existují jisté finanční náklady (např. na čisticí prostředky) a časové nároky na čištění solárních panelů. Dále je třeba vzít v úvahu bezpečnostní hledisko při čištění, především na sedlových střechách budov.

#### 4. ZÁVĚR

Z naměřených výsledků je zřejmé, že znečištění atmosféry má vliv na výkonnost, a tím i na vyrobenou elektrickou energii, při přímé přeměně solární energie na elektrickou energii. I když tento vliv není příliš velký, přesto se v některých případech může jednat o poměrně velké energetické úspory při pravidelném čištění solárních panelů. Všeobecně lze konstatovat, že čištění solárních panelů se vyplatí u provozovatelů velkých fotovoltaických elektráren. Méně výhodné je toto čištění u rodinných domů.

#### Poděkování:

Tento příspěvek vznikl v rámci programu „Racionální využití energie a obnovitelné zdroje energie-SN“ Ministerstva životního prostředí ČR pod názvem „Výzkum vlivu znečištění atmosféry na snížení výkonu FV instalací a rozdílnost znečištění v regionech a městech ČR v závislosti na způsobu umístění FV instalací“ (VaV/320/13/03).

#### Literatura

- [1] Kaminský, J., Vrtek, M.: Obnovitelné a alternativní zdroje energie. Skriptum VŠB – TU Ostrava, 1998. 148 s.
- [2] Kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. ČEZ, a. s., Praha, 2003. 144 s.
- [3] Medek, F.: Netradiční zdroje energie a architektura. Skriptum ČVUT Praha, 1994. 105 s.
- [4] Vašina, M.: Demonstrační fotovoltaický systém FVS 2001E. Jemná mechanika a optika 2006, roč. 51., č. 10, s. 267 – 269.
- [5] <http://www.ekowatt.cz/library/infolisty/infolisty1999/>

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035101, e-mail: vasina@utb.cz

Ing. Dušan Fojtů, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035117, e-mail: fojtu@ft.utb.cz



# Uplatnenie matematickej aproximácie v procese korekcie rozmerového defektu rezného nástroja

**Kľúčové slová:** monitorovanie, aproximácia, regulácia, sústruženie, optický snímač

## 1. ÚVOD

Opotrebenie rezného nástroja je kľúčovým problémom rezného procesu, ktorý ovplyvňuje jeho kvalitu a ekonomiku a preto je jeho podstatám, príčinám, identifikácii, dôsledkom a znižovaniu venovaná značná pozornosť. Z rozboru literárnych prameňov vyplýva, že z dôvodu aplikácie v prevádzkových podmienkach je potrebné sa sústrediť na nepriame metódy aktívnej kontroly, z ktorých sa medzi perspektívnymi ukazuje metóda zisťovania otupenia rezných nástrojov zo zmien rozmerov obrobkov. Geometria sústružníckeho noža sa však v priebehu používania mení vplyvom opotrebenia. Opotrebenie je strata pôvodného geometrického tvaru rezného klína. Môže byť spojené aj so zmenou mechanických vlastností. Vzniknuté rozmerové opotrebenie rezného nástroja je možné korigovať, a to korekčným posuvom sústružníckeho noža smerom k obrobku o hodnotu opotrebenia. Snímačom sa meria rozmer obrobku a merané hodnoty sa postupne dostávajú do vyhodnocovacieho zariadenia [7].

## 2. REGULOVANÁ SÚSTAVA A JEJ ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI

Schéma regulácie vždy obsahuje základné časti riadiaceho procesu, ale výstup meracieho systému samočinne riadi nastavovací člen. Riadiaci obvod sa stáva regulátorom. Riadiaca slučka je uzavretá. Aby slučka vedela, akú hodnotu má nastaviť, potrebuje poznať menovitou hodnotu, ktorá sa v porovnávacom obvode porovnáva s nameranou hodnotou. Rozdiel menovitej a nameranej hodnoty je zdrojom nastavovacej veličiny, ktorá ovplyvňuje nastavovací člen tak, aby na výstupe riadenej časti bola požadovaná hodnota. Pri astatických regulovaných sústavách rastie regulovaná veličina po poruche neustále ďalej bez toho, aby dosiahla ustálenú hodnotu, ako je to pri statických sústavách. V procese obrábania sa opotrebenie rezného nástroja prejavuje tak, že priemer obrobku narastá s opotrebením v čase podľa určitej funkcie. Pri približovaní sa hodnoty priemeru k tolerančnej hranici dochádza k spusteniu regulačného posuvu noža smerom k obrobku, čím sa hodnota priemeru vráti do požadovaného tolerančného poľa.

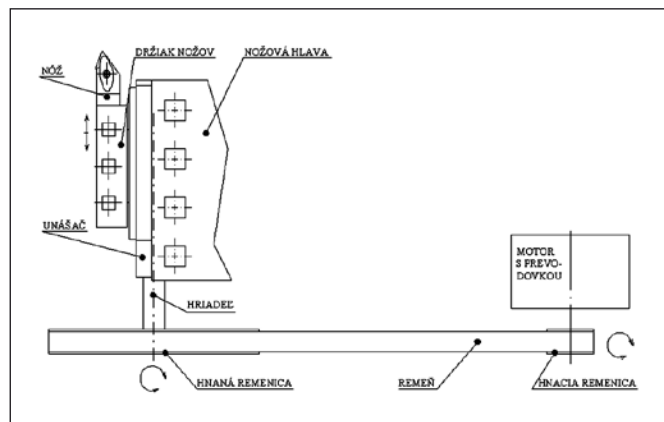
Stanovené ciele pre tvorbu efektívneho automatizovaného systému:

Inovovať súčasné typové štruktúry automatizovaných výrobných systémov o systém zostavený na princípe multiprofesných technologických pracovísk, pričom v rámci riešenia:

- Rozvinúť automatizáciu výrobných procesov vývojom a typizáciou zoskupení výrobných a pomocných zariadení v úrovni viacprofesných technologických pracovísk.
- Hľadať model zvýšenia integrácie funkcií jednotlivých členov automatizovanej sústavy a nadväzne ich optimalizácie.
- Navrhnuť metódy a prostriedky pre inováciu navrhovania robotických zariadení pri zachovaní prístupu a úloh vyplývajúcich zo zvýšených požiadaviek na ich technickú úroveň [6].

## 2.1 Posuvný mechanizmus nástroja a jeho model

Pre realizáciu tohto zariadenia bola zvolená alternatíva s plávajúcím uložením (obr. 1) sústružníckeho noža. Ako pohon je použitý motor AS. MOT. – 3 ~ 4AP S63 – 4s. K motoru bola pripojená prevodovka. Vodiace puzdro je upevnené v nožovej hlave pomocou skrutiek, ktoré sa v nej nachádzajú. Puzdro je obdĺžnikového prierezu. K puzdru je pripojená matica, kryt unášača a lišta vodiaca pomocou skrutiek. Na konci hriadeľa je bežec, ktorý istí poistný krúžok. Bežec je obdĺžnikového prierezu. K bežci je upevnené puzdro pre nôž pomocou skrutiek. V puzdre pre nôž sa nachádza sústružnícky nôž. V puzdre pre nôž sú skrutky, ktoré ho upnú.



Obr. 1 Výkresová podoba riešenia posuvného mechanizmu nástroja

## 2.2 Opis posuvného zariadenia

Posuvné zariadenie obsahuje motor upevnený na vstup prevodovky kvôli zníženiu otáčok a tým aj spomaleniu posuvu noža a súčasne k zvýšeniu krútiaceho momentu motora. Na výstup prevodovky je upevnená skrutka s maticou, pričom matica je upevnená na noži. Nôž je uložený tak, aby sa pri otáčaní skrutky mohol posúvať spolu s maticou v smere kolmom na os obrobku a tým korigoval chybu vzniknutú opotrebením noža.

Tento posuv noža má určité zrýchlenie z dôvodu požadovaného postupného narastania otáčok elektromotora. Keďže pri regulácii potrebujeme regulačný proces spustiť na určitý presný časový interval, je potrebné pri určení tohto času spustenia zahrnúť aj zrýchlenie skrutky pri posuve. To bude úlohou simulácie. Tento postupný nárast otáčok je spôsobený momentom zotrvačnosti motora a záťaže. Ide teda o astatickú sústavu s oneskorením I. rádu popísanú diferenciálnou rovnicou II. rádu

$$a_2 \frac{d^2x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} = b_0 y, \quad (1)$$

$$T \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} = k_i y, \quad T = \frac{a_2}{a_1}, \quad k_i = \frac{b_0}{a_1}, \quad (2)$$

kde  $T$  [s] je časová konštanta predstavujúca oneskorenie dosiahnutia nominálnych otáčok motora  $f_0$  [ $s^{-1}$ ] a  $k_i$  [ $ms^{-1}$ ] predstavuje koeficient zosilnenia vstupnej veličiny. Koeficienty  $a_1$  a  $a_2$  sú pôvodnými koeficientmi diferenciálnej rovnice.

Postupným odvodením posuvu noža na základe fyzikálnych vlastností všetkých prislúchajúcich komponentov dostaneme výraz

$$s = \Delta h f_0 p [t - T(1 - e^{-\frac{t}{T}})], \quad (3)$$

kde  $s$  [m] je posuv noža za čas  $t$  [s],  
 $p$  – prevodový pomer prevodovky,  
 $f_0$  [ $s^{-1}$ ] – nominálne otáčky motora.

Ak vzorec pre výpočet posuvu noža z diferenciálnej rovnice (1) má tvar

$$x(t) = k_i [t - T(1 - e^{-\frac{t}{T}})], \quad (4)$$

potom koeficient zosilnenia  $k_i$  vstupnej veličiny môžeme vypočítať podľa vzorca

$$k_i = \Delta h f_0 p. \quad (5)$$

### 2.3 Opis podmienok simulovaného obrábacieho procesu

Simulácia bude prebiehať len pri zvolených alebo tabulkových hodnotách parametrov, keďže konkrétne merania niektorých parametrov sú technicky, finančne alebo časovo náročné a zároveň nie sú predmetom rozboru tejto práce. Do procesu vstupuje obrábaný predmet vyvíjajúci určitú silu na obrábací nôž. Táto sila sa dá rozložiť do troch zložiek, pričom v tomto prípade je pre nás najdôležitejšia sila pôsobiaca v smere rovnobežnom s pozdĺžnou osou noža, čiže radiálna sila  $F$ . Táto sila nech napríklad má v tomto procese konkrétnu hodnotu 3800 N pri čiastočne otupenom nástroji s  $VB = 0,6$  mm.

Rovnicu opisujúcu priebeh korekcie opotrebenia nástroja v procese regulácie tvaru

$$T \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} = k_i y \quad (6)$$

môžeme pre potrebu simulácie v Matlabe upraviť nasledovne. Po integrácii oboch strán a presunutí výstupnej veličiny  $x$  na pravú stranu dostávame tvar

$$T \frac{dx}{dt} = \int (k_i y) dt - x. \quad (7)$$

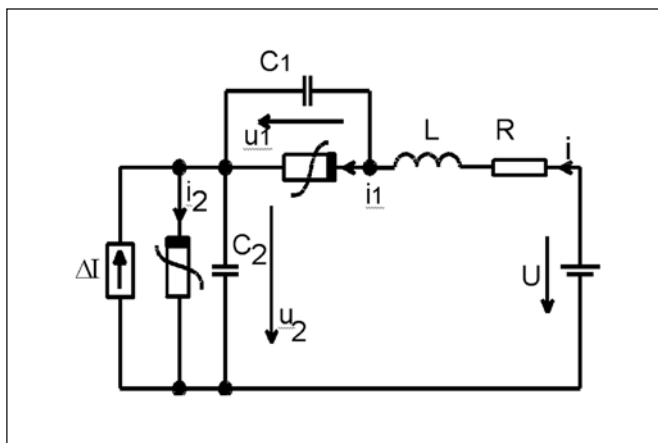
Pri druhej integrácii oboch strán a presunutí časovej konštanty  $T$  na pravú stranu upravíme rovnicu na tvar

$$x = \frac{1}{T} \int \left[ \int (k_i y) dt - x \right] dt. \quad (8)$$

V rovnici je vidieť potrebu zavedenia spätnej väzby z výstupu systému späť na jeho vstup.

Uvedený systém obsahuje aj pamäťové bunky slúžiace k uloženiu dát získaných výpočtom a ich porovnávaním s meranými dátami počas procesu. K dosiahnutiu väčších presností, pri zachovaní postačujúcej rýchlosti zálohovania dát, je vhodné použiť obvod viachodnotovej logiky ilustrovaný na obr. 2, ktorý bol prvý raz definovaný a popísaný v informácii [7], kde bol uvedený aj algoritmus výpočtu hraničnej plochy.

Kapacity  $C1$ ,  $C2$  zahŕňajú kapacitu ekvivalentného obvodu rezonančnej tunelovej diódy, prípadne parazitnú kapacitu na čípe. Indukčnosťou  $L$  naznačujeme indukčnosť prívodov k vlastnému systému diódy. Odpor  $R$  uvažujeme nulový a  $U = 0,44$  V. Symboly nelineárnych prvkov tu zodpovedajú rezonančnej tunelovej dióde [2].



Obr. 2 Model pamäťovej bunky

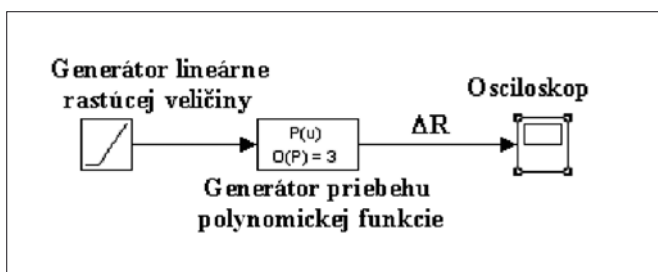
### 3. MODEL REGULOVANEJ SÚSTAVY OPOTREBENIA REZNÉHO NÁSTROJA

Daný model potrebný k simulácii bol vytváraný v programe Matlab Simulink. Daný model je zložený z nasledujúcich blokov:

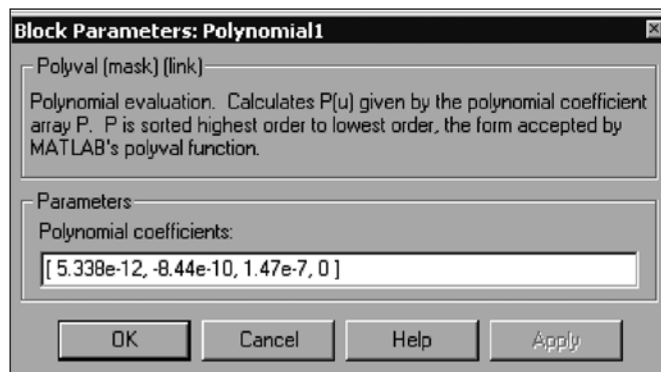
- blok sústavy SNOF (stroj, nástroj, obrobok, prípravok), v ktorom prebieha opotrebenie nástroja,
- blok snímača so zosilňovačom a dolnopriepustným RC filtrom (odstránenie krátkotrvajúcich rušivých vplyvov),
- blok regulátora zložený z
  1. porovnávacieho člena ( $s$  nastaviteľnou prahovou úrovňou),
  2. generátora impulzu ( $s$  nastaviteľnou dĺžkou trvania impulzu),
- blok posuvného mechanizmu noža (realizácia korekcie opotrebenia nástroja vykonaním posuvu noža o hodnotu opotrebenia).

#### 3.1 Opis bloku sústavy SNOF

Blok sústavy SNOF obsahuje generátor polynomickej funkcie, ktorej tvar zodpovedá tvaru priebehu opotrebenia rezného nástroja v závislosti na čase. Do tohto bloku je potrebné zadať koeficienty polynómu (obr. 3), ktorý je získaný na základe matematických vyjadrení.



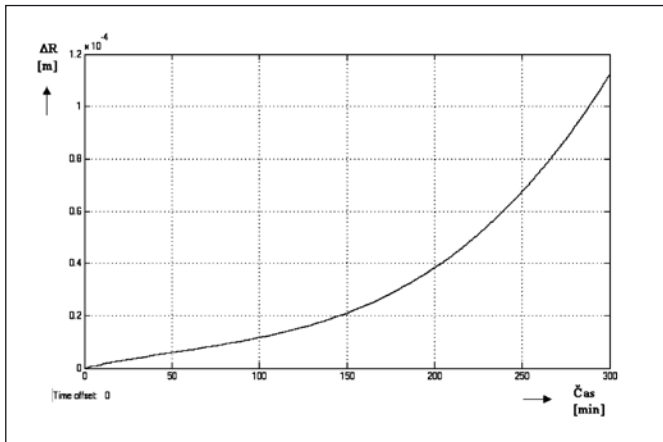
Obr. 3 Bloková simulačná schéma generátora polynomickej funkcie



Obr. 4 Zadávanie parametrov pre generátor priebehu polynomickej funkcie

Funkciu tvaru polynómu, vygenerovanú pomocným programom vytvoreným v programe Microsoft Excel, je možné dosadiť do generátora priebehu funkcií v programe Matlab Simulink (obr. 4).

Pre príklad sú zadané konkrétne hodnoty koeficientov polynómu tretieho stupňa a priebeh tejto aproximačnej funkcie je zobrazený na obr. 5.



Obr. 5 Priebeh konkrétnej polynomickej funkcie

Na obr. 5 je znázornený priebeh výstupnej veličiny z generátora polynomickeho priebehu. Táto veličina počas simulácie predstavuje zmenu polohy hrotu obrábacieho noža počas obrábania v dôsledku opotrebenia. Z priebehu je vidieť, že namerané hodnoty opotrebenia nevytvárajú čistý parabolický alebo exponenciálny priebeh.

## ZÁVER

Simuláciou pomocou programu Matlab Simulink a vhodne navrhnutého simulačného modelu bolo možné stanoviť optimálnu dĺžku trvania korekcie opotrebenia rezného nástroja. K tomu však bolo potrebné zadať vstupné parametre vyhovujúce počiatočným podmienkam s čo najväčšou presnosťou. Základom bolo aproximovať priebeh opotrebenia sústružníckeho noža s čo najmenšou chybou aproximácie. Tento predpoklad bol úspešne splnený. Pre danú sústavu je optimálna hodnota dĺžky trvania korekcie opotrebenia rezného nástroja upraví na požadovanú hodnotu. Hodnota výsledku simulácie môže mať určitú odchýlku od skutočnej hodnoty, a to

z dôvodu nezohľadnenia niektorých poruchových veličín, ako sú trenia plôch v prevodovke, trenie noža v ložiskách atď. Daný simulačný model je možné úpravou prispôbiť na potrebný počet korekčných bodov, pričom veľkou výhodou tohto modelu je možnosť vyhodnotenia výstupných veličín ktorejkoľvek časti systému. Pri praktickom overení funkčnosti posuvného mechanizmu noža bol meraný posuv s väčšou hodnotou kvôli možnostiam merania. Skutočný posuv noža zodpovedajúci príchodu korekčného impulzu sa len málo odlišoval od požadovaného, a to aj napriek tomu, že z technických dôvodov neboli úplne presne zadané niektoré parametre do simulačného programu.

## Literatúra

- [1] BALLUFF, Katalog snímačů '05, Balluff slovakia, www.balluff.sk
- [2] GUZAN, M: Limitné cykly a trajektórie vo viachodnotovej pamäťovej bunke. In: Acta Electrotechnica et Informatica. vol. 2, no. 1 (2002), pp. 36-41. ISSN 1335-8243.
- [3] CHVÁLA, B.: Automatizace, SNTL/ALFA, Praha 1987, DT 621.002 : 681.5 (075.8)
- [4] KLOS, O.: Optoelektronické senzory. In: Automatizace. Roč. 44 č. 5 (2001), s 320-325
- [5] ŘEZÁČ, K.: ROBOTIKA.CZ, Aktualizované 28-10-2005 [cit. 01-05-2007] Dostupné na adrese: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [6] SVETLÍK, J. - DOBRÁNSKY, J.: MPRC - multiprofesné výrobné robotické centrum. In: Výrobné inžinierstvo. roč. 4, č. 4 (2005), s. 50-52. ISSN 1335-7972.
- [7] ŠPÁNY, V.: Negative Load Resistance and the Basins of Attraction. Internal information in the Department of Radioelectronics, TU Košice, August 1994.
- [8] VEDRAL, J. – FISCHER, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku. Vydavatelství ČVUT, Praha 1999.

Recenzent: Prof. Ing. Emil Ragan, CSc.

Tento článok bol písaný v rámci projektu Vývoj, realizácia a overenie technického systému pre bezkontaktnú optickú identifikáciu a nadväznú korekciu rozmerového opotrebenia výrobného nástroja počas plynulého priebehu výrobných operácií č. 1/0562/08151 na FVT.

Ing. Radoslav Krehel, PhD., Katedra prevádzky technologických systémov, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, tel.: +421 517 722 604, e-mail: krehel.radoslav@fvt.sk

Ing. Jozef Dobránsky, PhD., Katedra prevádzky technologických systémov, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, tel.: +421 517 722 604, e-mail: dobransky.jozef@fvt.sk

**Optatec®**



## OPTATEC 2008

**8. mezinárodní veletrh pro optické technologie, komponenty, systémy a výrobu**

**17. - 20. června 2008**

**Frankfurt nad Mohanem, Německo**

**Meopta-optika, s. r. o.**

**vystavuje v hale 3, ve stánku F12**



# Aplikácia optického profilometra microprof FRT v experimentálnej štúdii topografie povrchu hliníka vytvoreného hydroabrazívnym delením

*Práca sa zaoberá identifikáciou a analýzou faktorov vo vzťahu k topografii povrchov hliníka vytvorených hydroabrazívnym delením. Pomocou plánovaných experimentov sa sledoval vplyv faktorov na nerovnosti povrchu hliníka v iniciačnej, hladkej, prechodovej a zdrsnenej zóne. Drsnosť povrchu hliníka bola kvantifikovaná pomocou parametrov profilu  $R_a$ ,  $R_q$  a  $R_z$ , ktoré boli zisťované v 24 hĺbkových líniiach. Informácie o topografii povrchu experimentálne vyrobených vzoriek boli dosiahnuté 3D optickým meraním povrchu.*

**Kľúčové slová:** hydroabrazívny prúd, topografia povrchu, faktory

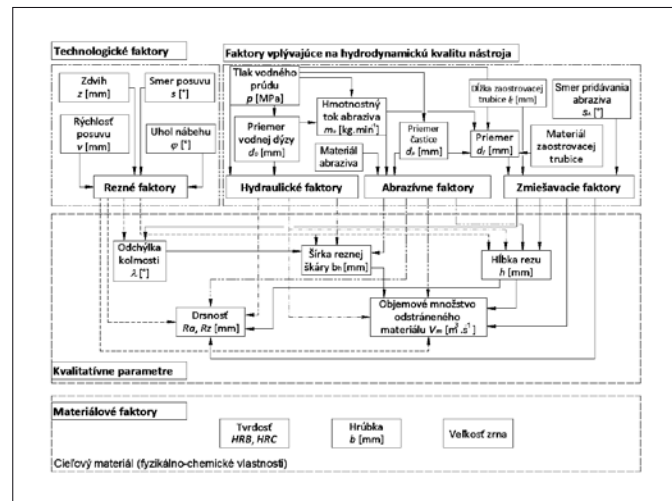
## ÚVOD

Pretrvávajúcim problémom spojeným s hydroabrazívnym delením (z angl. Abrasive WaterJet, ďalej len AWJ) sú nerovnosti v forme rýh a drsnosti, ktoré vznikajú pri delení materiálov uvedenou technológiou. Príčiny týchto povrchových defektov limitujú širšie použitie technológie vysokorychlostného hydroabrazívneho prúdu v priemysle [20], [23]. Vzhľadom k uvedenému je prekvapujúce, že v súčasnosti neexistuje štúdia, ktorá by prinášala komplexné hodnotenie topografie povrchu. Technológia vysokorychlostného hydroabrazívneho prúdu je síce predmetom mnohých bádání, ich prínos je však iba čiastkový [4], [14]. Zameriavajú sa na hodnotenie určitých nejednoznačne definovaných hĺbkových línii. Ich prístup je z experimentálneho hľadiska zameraný len na jeden faktor, ktorému autori prisudzujú najväčší význam [1], [4], [6], [11]. Tieto práce však v súčasnosti nezodpovedajú konkrétnym požiadavkám praxe. Náplňou predloženej štúdie je snaha o hlbšie, komplexnejšie preniknutie do problematiky analýzy a identifikácie faktorov vo vzťahu k topografii povrchov a zameranie sa na riešenie vyššie uvedených nedostatkov s cieľom poskytnúť nový spôsob členenia kvalitatívne a morfológiicky odlišných zón na povrchy vytvorené AWJ.

## SÚVISIACE A PREDCHÁDZAJÚCE PRÁCE

Ani v najnovšie vydaných publikáciách sa nenachádza kvantitatívne riešenie analytických otázok, ako je napr. diskutovaná problematika predikcie kvality povrchu podľa voľby technologických faktorov. Predikčné výpočty okamžitého a konečného stavu povrchu vytvoreného hydroabrazívnym delením sú pritom veľmi potrebné vo fáze projektovej prípravy prevádzky, hlavne v prípade, ak ide o väčší objem zákazkovej práce. Optimálna voľba technologických faktorov podložená teoretickými predpokladmi súvisí s dosiahnutím požadovanej kvality a výkonu. Proces delenia hydroabrazívnym prúdom je definovaný množstvom príčin, ktoré striedavo ovplyvňujú úber materiálu a vývoj charakteristík povrchu. Vplyvom prevádzkových faktorov hydroabrazívneho prúdu, ako je tlak, hmotnostný tok abrazíva, zdvih, počet prechodov a rýchlosť posuvu sa zaoberalo množstvo autorov, napr. Hashish [7], Hloch [9], [10], Krajný [13]. Výsledky ich štúdií poukázali na to, že delenie materiálov je významne ovplyvnené skladbou konkrétnych faktorov a ich variáciou. Stupeň vplyvu faktorov však závisí aj na rozsahu zmien parametrov a delného materiálu. Čiastkové analýzy faktorov AWJ sú spracované v prácach [16], [22], kde sa uvádza, že vplyv na proces delenia materiálov hydroabrazívnym prúdom

a jeho efektívnosť má množstvo faktorov (obr. 1). Autori Hashish [7] a Krajný [13] tieto faktory rozdeľujú na hydrodynamické a technologické [12], [14], [15].



Obr. 1 Bloková schéma vplyvu faktorov vysokorychlostného hydroabrazívneho prúdu na ukazovatele kvality

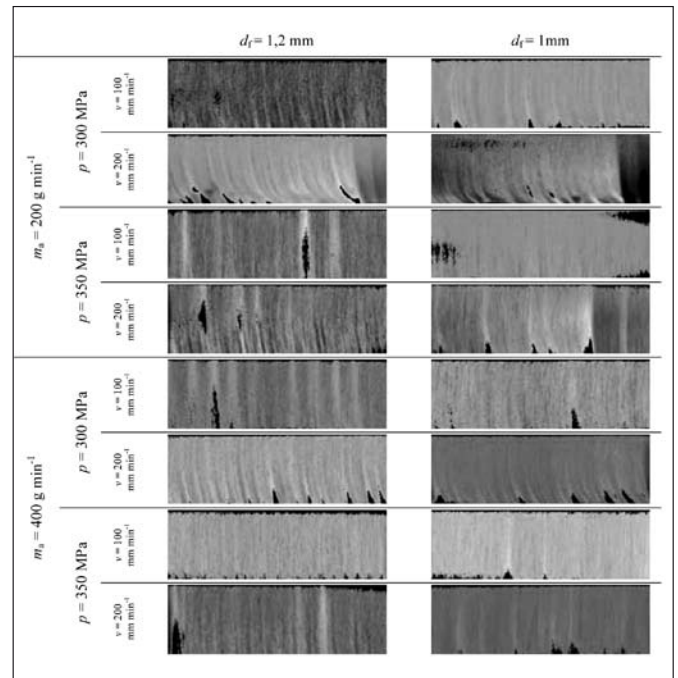
Do skupiny nepriamych faktorov, ktoré ovplyvňujú kvalitu východiskového nástroja, patria hydrodynamické faktory, zmiešavacie faktory a faktory abrazíva. Nástroj vytvorený pomocou týchto hydrodynamických faktorov vstupuje do technologického procesu úberu materiálu, ktorý sa uskutočňuje na veľkom počte lokalít pomocou technologických faktorov. Podľa ďalších publikovaných štúdií existujú tri zdroje príčin, ktoré sa podieľajú na vytváraní nerovností. Medzi tieto príčiny patrí charakter procesu delenia, dynamické charakteristiky nástroja a vibrácie v technologickom systéme. Analýza faktorov AWJ spracovaná v odborných prácach [10] naznačuje, že najväčší vplyv na proces delenia materiálov a jeho efektívnosť majú hydraulické faktory a parametre abrazíva [22]. Z faktorov zmiešavacích majú najväčší vplyv – priemer  $d_f$  a dĺžka zaostrovacej trubice  $l_f$  [13]. Funkčné vzťahy parametrov štruktúry povrchu k režimovým faktorom technológie hydroabra-

zívného prúdu boli verifikované autormi Monno, Ravasio, Valíček [16], [21], [22]. Analytický popis vzájomných väzieb medzi faktormi vysokorýchlostného hydroabrazívneho prúdu s kvantifikovaným vyjadrením ich vplyvu na kvalitu obrobených plôch bol pre potreby projektovej prípravy odvodený Hashishom [7]. Podľa autora je rezná plocha realizovaná technológiou AWJ morfológicky rozdelená na dve kvalitatívne rozdielne časti, a to na hornú, relatívne hladkú, a spodnú časť, intenzívnejšie deformovanú [9]. Z uvedených prác a vykonaných analýz vyplýva, že v prevádzke nepôsobia faktory AWJ vždy len aditívnym spôsobom, ale spoločne, vo vzájomnej interakcii (obr. 1). Z uvedeného prehľadu je zrejme, že z hľadiska technologickej dedičnosti [2] je možné hlbšie analyzovať proces vzniku nerovností prostredníctvom analýzy faktorov, pomocou ktorých sa vytvára povrch, ktorý sa morfológicky vo vertikálnom smere mení.

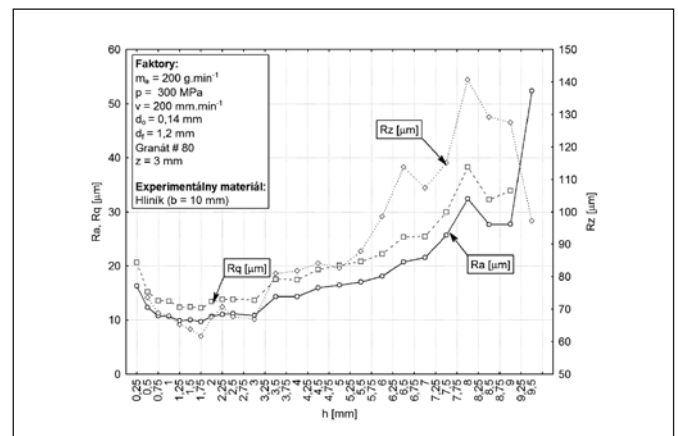
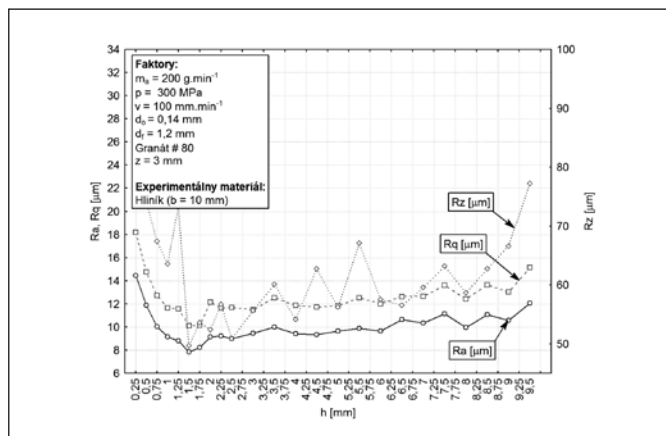
### EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA

Pre analýzu príčin - faktorov, ich optimalizáciu a vzájomné závislosti ich vplyvu na kvalitatívne parametre sa použili plánované experimenty, pri ktorých sa vykonali pokusy pre všetky kombinácie úrovní uvažovaných faktorov. Táto technika analýzy údajov umožňuje popísať štruktúru závislosti súboru faktorov, ktoré ovplyvňujú parametre profilu drsnosti  $Ra$ ,  $Rq$ ,  $Rz$  vo výrobnom systéme s AWJ: konfigurácia pomerov priemeru vodnej dýzy a priemeru zaostrovanej trubice, hmotnosť tok abrazíva, tlak permeátu, rýchlosť posuvu abrazívnej hlavice. Parametre profilu drsnosti  $Ra$ ,  $Rq$  a  $Rz$  zisťované pomocou optického profilometra MicroProf FRT od výrobcu Fries Research & Technology GmbH, Nemecko, na pracovisku Ústavu fyzikálneho inžinierstva FSI VUT v Brne. Pomocou trojrozmerného nekontaktného a nedeštruktívneho merania sa získala matica hodnôt výškových nerovností povrchu, generovaného konkrétnou skladbou faktorov technológie AWJ z celej plochy povrchu. V oblasti vstupu AWJ bola za účelom identifikácie a analýzy vplyvu faktorov

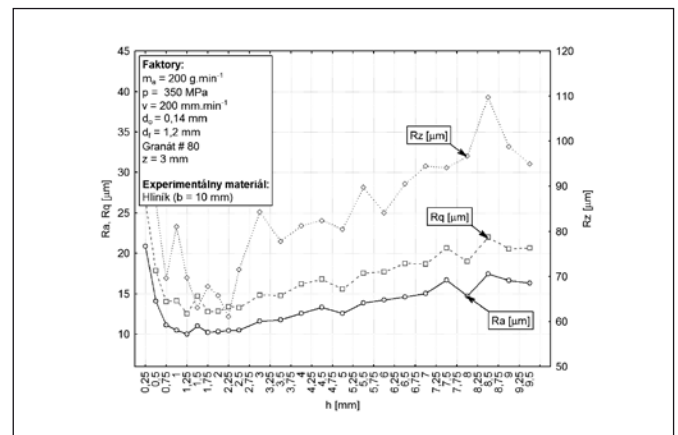
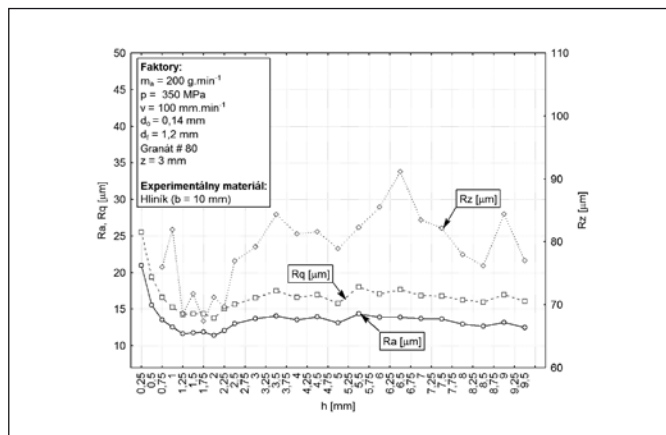
Tab. 1 Jeden z výstupov 3D merania topografie povrchu hliníka podľa plánovaných experimentov



na topografiu povrchu v iniciačnej zóne hodnota ekvidištančných vzdialeností jednotlivých hĺbkových línií od povrchu 0,25 mm od hĺbky 0,25 mm do 2,5 mm. Od 2,5 mm od povrchu boli línie, v ktorých sa zisťovali parametre profilu drsnosti, od seba vzdialené



Obr. 2 Vývoj číselných hodnôt parametrov profilu drsnosti  $Ra$ ,  $Rq$ ,  $Rz$



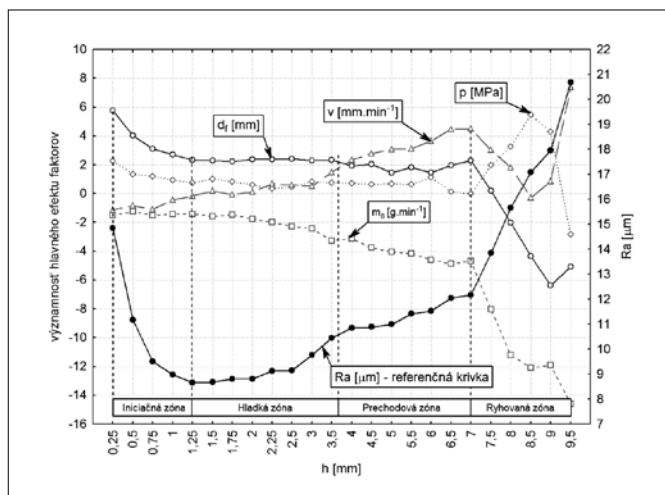
Obr. 3 Vývoj číselných hodnôt parametrov profilu drsnosti  $Ra$ ,  $Rq$ ,  $Rz$

0,5 mm do hĺbky 9,5 mm. Spolu sa merania realizovali v 24 hĺbkových líniah. Príklad merania je schematicky znázornený v tab. 1. Vlastné merania sa realizovali v centrálnej zóne vzorky s vylúčením okrajových oblastí vzorky, za účelom dosiahnutia čo najpresnejších meraní. Aby bol štatisticky dosiahnutý čo najpresnejší výsledok, každé meranie sa opakovalo 8-krát.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obr. 2 a obr. 3 je znázornené morfológické rozdelenie zón na povrchu hliníka, ktorý bol vytvorený definovanou skladbou faktorov a s priebehmi parametrov profilu povrchu  $Ra$ ,  $Rq$  a  $Rz$ . Povrch hliníka bol vyrobený za týchto experimentálnych podmienok: kde  $v = 100 \text{ mm min}^{-1}$ ,  $p = 350 \text{ MPa}$ ,  $m_a = 200 \text{ g min}^{-1}$ ,  $d_f = 1,2 \text{ mm}$ . Z priebehov parametrov drsnosti  $Ra$ ,  $Rq$  a  $Rz$  vidieť, že, od hranice končiacej iniciačnej zóny a začínajúcej hladkej zóny, číselné hodnoty  $Ra$  nepresiahli hodnotu  $20 \mu\text{m}$  a hodnoty  $Rz$  oscilovali okolo hodnoty  $80 \mu\text{m}$ . Hydroabrazívny prúd disponoval dostatočnou kinetickou energiou, aby bol zabezpečený plynulý úber materiálu až do jeho výstupu v spodnej časti deleného materiálu. Ako vidieť z obr. 2, povrch v iniciačnej zóne, kde počiatkové namerané hodnoty  $Ra$  prevyšujú  $20 \mu\text{m}$ , je zdrsnený, tieto následne pozvoľna klesajú do hĺbky  $h = 1,75 \text{ mm}$ . Je to spôsobené nízkou hodnotou hmotnostného toku abrazíva ( $m_a = 200 \text{ g min}^{-1}$ ). Pri zvýšení rýchlosti posuvu v z hodnoty  $100$  na  $200 \text{ mm min}^{-1}$  na obr. 3 vidieť zvýšený presah zdrsnenej zóny na úkor hladkej, ktorej výskyt končí v hĺbke  $5,25 \text{ mm}$ . Zvýšenie rýchlosti posuvu malo za následok zníženie dotovanej energie na exponovaný materiál.

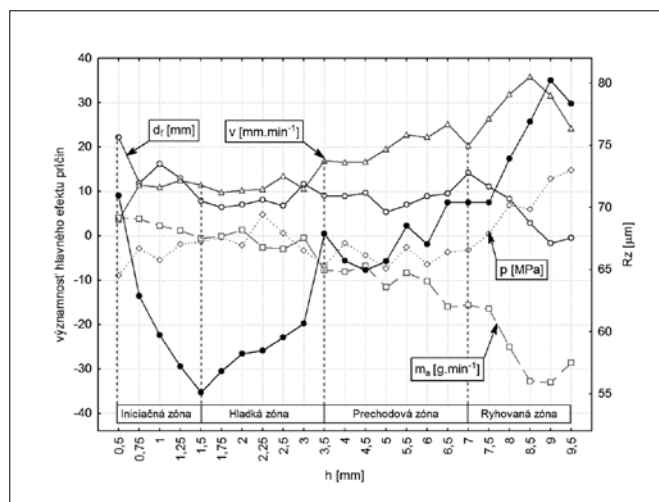
Na základe hodnotenia vplyvu hodnotených faktorov na parametre profilu  $Ra$  a  $Rz$  v 24 hĺbkových líniah sa faktorovou analýzou určila významnosť faktorov v hodnotených hĺbkových líniah podľa Studentovho kritéria. Priebeh týchto hodnôt a významnosť hlavného efektu faktorov na parameter profilu drsnosti  $Ra$  pri delení hliníka je znázornený na nasledujúcom obr. 4.



Obr. 4 Významnosť hlavného efektu faktorov na parameter profilu drsnosti  $Ra$  [ $\mu\text{m}$ ] v závislosti od hĺbky pri delení hliníka  $b = 10 \text{ mm}$

Na grafe obr. 4 sú zreteľne vidieť štyri oblasti indikujúce výskyt štyroch kvalitatívne odlišných zón, daných priebehom referenčnej krivky  $Ra$   $\mu\text{m}$ . Do hĺbky  $1,25 \text{ mm}$  vidieť výskyt iniciačnej zóny. V tejto oblasti číselné hodnoty  $Ra$  klesajú z hodnoty  $15 \mu\text{m}$  na lokálne minimum, ktorého hodnota je  $9 \mu\text{m}$ . Významnosť faktorov v tomto úseku ovplyvňujúce charakteristiky  $Ra$ , ktorá bola zistená najmä u faktora  $d_f$  a  $p$ . Zistilo sa, že pri delení mäkkých materiálov priemer zaostrovacej trubice významne ovplyvňuje číselné hodnoty parametra profilu drsnosti  $Ra$ . Významnosť hmotnostného toku abrazíva je v tomto úseku konštantná. V hladkej zóne sú priebehy významnosti priemeru zaostrovacej trubice a tlaku konštantné, kým významnosť faktorov rýchlosť posuvu a hmotnostný tok abrazíva

$m_a$  rastie. V hĺbke približne  $3 \text{ mm}$  dominancia rýchlosti posuvu narastá a hodnoty významnosti sú väčšie ako hodnoty významnosti priemeru zaostrovacej trubice  $d_f$  a tlaku  $p$ . Možno konštatovať, že v tejto zóne je z hydrodynamického hľadiska hydroabrazívny prúd stabilný a koncentrovaný. AWJ sa nachádza v osi rezacej hlavice, stopa rezu sa nezakrivuje vplyvom meškania oproti rýchlosti posuvu rezacej hlavice  $v$ . V prechodovej zóne významnosť rýchlosti posuvu v narastá. V prechodovej zóne v závislosti od nastavenia kombinácie faktorov sa AWJ v kritickú hĺbku spomaľuje a dekoncentruje v dôsledku straty kinetickej energie, čo dokumentuje aj obr. 4. V tomto prípade však nemožno Hashishovu kritickú hĺbku  $h_d$  chápať ako presne definovanú hĺbkovú líniu pretože šírka prechodovej zóny sa môže meniť v závislosti od fluktuácie a distribúcie kinetickej energie abrazívnych častíc  $E_k$  v hydroabrazívnom prúde. Dekoncentráciu hydroabrazívneho prúdu zreteľne vidieť v ryhovanej zóne, kde sa jednotlivé faktory a ich významnosť menia. Prudko rastú hodnoty významnosti hmotnostného toku abrazíva, to znamená, že pre dosiahnutie nízkych hodnôt parametra profilu drsnosti  $Ra$  je potrebné zvýšiť množstvo abrazívnych častíc v hydroabrazívnom prúde a ich lokálnu koncentráciu. S koncentráciou prúdu súvisí priemer zaostrovacej trubice  $d_f$  a hodnoty tlaku  $p$ . V nasledujúcej tabuľke je zmapovaná významnosť hlavného efektu faktorov, pričom prevláda významnosť hmotnostného toku abrazíva (*obr. 5*).



Obr. 5 Významnosť hlavného efektu faktorov na parameter profilu drsnosti  $Rz$  [ $\mu\text{m}$ ] v závislosti od hĺbky pri delení hliníka  $b = 10 \text{ mm}$

## ZÁVER

Pri delení materiálov AWJ je dôležité zabezpečiť požadované kvalitatívne charakteristiky vytvorenej plochy. Tie sú podmienené znalosťou priebehu funkčných závislostí medzi parametrami kvality a faktormi výrobného systému technológie AWJ. Hlavným zámerom predloženej práce preto bolo priniesť hlbšie poznatky týkajúce sa interakcie AWJ s deleným materiálom na základe identifikácie a analýzy vplyvu faktorov vo vzťahu k topografii povrchu vytvoreného hydroabrazívnym delením.

Poznatky, získané faktorovou analýzou parametrov pomocou optického profilometra MicroProf FRT, bližšie reálne vysvetľujú problematiku vzťahu štyroch faktorov AWJ vo vzťahu k topografii, ktorá bola nimi vytvorená. Ich účelom bolo podať hlbšie a ucelenejšie poznatky prostredníctvom identifikácie faktorov vo vzťahu k topografii povrchu. Autori priniesli nový spôsob členenia kvalitatívne odlišných zón povrchov vytvorených hydroabrazívnym delením. Na základe reálnej topografickej funkcie získanej 3D meraním povrchu v 24 hĺbkových líniah rozšírili poznatky v oblasti interakcie hydroabrazívneho prúdu, mechanizmu úberu, priebehu a významnosti sledovaných faktorov. Potvrdením existencie iniciačnej zóny, ktorá doteraz nebola predmetom intenzívneho



výskumu, uviedli taktiež argumenty, že topografia povrchu sa delí na štyri kvalitatívne odlišné časti. Na základe štatistickej analýzy vytvorili matematické modely, pomocou ktorých stanovili maximálnu hĺbku iniciačnej a hladkej zóny, ktorej kvantifikácia doposiaľ chýbala. Na základe pozorovanej pravidelnosti vývoja oblastí, a s tým súvisiacich číselných hodnôt parametrov profilu drsnosti  $R_a$ ,  $R_q$  a  $R_z$ , stanovili a upresnili nový spôsob horizontálneho členenia topografie povrchu využitím identifikácie a analýzy vplyvu faktorov vo vzťahu k topografii povrchu prostredníctvom sledovaných parametrov. Získané poznatky pomôžu efektívnejšie a jednoduchšie stanoviť kvalitu pripravovaného produktu v technologickej praxi. Navyše prezentované výsledky budú slúžiť ako dôležitý podklad pre pripravovanú automatizáciu hydroabrazívneho delenia a pre ďalší experimentálny výskum.

#### Podakovanie:

Článok vznikol za podpory projektu VEGA 1/4157/07 „Nelineárne matematické modelovanie a vibrodiagnostika progresívnych technologických procesov pri delení ťažkoobrábateľných materiálov pomocou DoE a Taguchiho dizajnu“ (60 %), a interných grantov IG HGF VŠB-TUO 2008 (20 %) a projektu MŠMT No. MSM6198910016 (20 %).

#### Literatúra

- [1] Akkurt A., Kulekci M. K., Seker U., Ercan F.: Effect of feed rate on surface roughness in abrasive waterjet applications. *J. Mater. Process. Technol.* 2004; 147, 389 – 96.
- [2] Bátora B., Vasilko K.: Machined surfaces: technological heredity, functionality. Trenčín: p. 183, 2000.
- [3] Cebalo R., Stoić A.: Optimisation of the roughness of the ground surface by diamond roller dressing, *Tehnički vjesnik* 3, 4; 2003, pp. 3 - 8.
- [4] Fabianová J.: Význam skúmania vplyvu rezných parametrov pri rezaní vodným lúčom. In: *Výrobné inžinierstvo*. roč. 6, č. 2 (2007), s. 53 - 55. ISSN 1335-7972.
- [5] Gombár M.: Statistical model of surface roughness. In: *Electrotechnics in practise*. 2006, Vol. 16, No. 11 - 12, pp. 26 - 28.
- [6] Hascalik A., Caydas U., Gurun H.: Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of Ti-6Al-4V alloy. In: *Materials & Design*, Volume 28, Issue 6, 2007, pp. 1953 – 1957.
- [7] Hashish M.: Optimization factors in abrasive waterjet machining. *ASME J. Eng. Ind.* 1991; 113: 9 – 37.
- [8] Hlaváč L. M. et al.: Quality Investigation by Declination Angle of the Water Jet Trajectory Inside Kerf. In: *Proceedings of Technology Systems Operation* (Hloch S. et al. Ed.), Prešov 2007, pp. 15 - 18.
- [9] Hloch S., Gombár M., Fabian S., Straka L.: (2006) Factor analysis of abrasive waterjet process factors influencing the cast aluminum surface roughness, In: *Manufacturing Science and Technology*. Malaysia, pp. 145 – 149.
- [10] Hloch S., Gombár M., Valíček J.: Analysis of abrasive waterjet factors influencing the cast aluminium surface roughness. In: *International Journal of Precision Technology*. vol. 1, 2007, pp 1 - 10.
- [11] Jegaraj J. J. R., Babu R. N.: A strategy for efficient and quality cutting of materials with abrasive waterjets considering the variation in orifice and focusing nozzle diameter. In: *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, (2005), pp. 1443 - 1450.
- [12] Kozak D., Vojvodica J., Gubelj N., Semenski D.: Factors influencing the yielding constraint by cracked welded components. Program and book of abstracts of 12th Conference on Materials and Technology. Jenko, Monika, editor(s). Ljubljana: Institut za kovinske materiale in tehnologije, 2004, pp. 79 – 79.
- [13] Krajný Z.: Vodný lúč v praxi WJM. Mračko – Bratislava, 1998.
- [14] Kulekci K. M.: Processes and apparatus developments in industrial waterjet applications. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002) 1297 – 1306.
- [15] Kušnerová M., Hlaváč L. M.: Self vibrating chambers with continuous passage of liquid. *Sborník vědeckých prací VŠB - TUO. Řada strojn. č. 1/2006, roč. LII. VŠB-TUO, Ostrava, 2006, s. 127 - 134. ISSN 1210-0471.*
- [16] Monno M., Ravasio C.: The effect of cutting head vibrations on the surfaces generated by waterjet cutting. In: *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45 (2005), pp. 355 -363.
- [17] Ohlídal M., Páleníková K.: Možnosti optického profilometru MicroProf FRT při 3D hodnocení kvality povrchu, *Jemná mechanika a optika*, Vol. 49, (2004), No. 9, pp. 251 - 255, ISSN 0447-6411.
- [18] Páleníková K., Ohlídal M.: Potentialities of optical profilometer MicroProf FRT for surface quality measurement, 14-th Slovak-Czech Polish Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, pp. 59451 - 59456, ISBN 0-8194-5951-8, (2005), SPIE - The international Society for Optical Engineering.
- [19] Stoić A., Lucić M., Kopač J.: (2006) Evaluation of the Stability During Hard Turning, *Strojniški vestnik* 52, 11; pp. 723 - 737.
- [20] Stoic A., Samardzic I., Klaric S.: Cutting errors in abrasive water jet cutting. *CIM 2007 Computer Integrated Manufacturing and High Speed Machining*. Aberle, Eberhard ; Udiljak, Toma; Ciglar, Damir, editor(s). Zagreb: Croatian Association of Production Engineering, 2007. pp. 333 – 338.
- [21] Valíček J., Držík M., Ohlídal M., Mádr V., Hlaváč L. M.: (2001) Optical method for surface analyses and their utilization for abrasive liquid jet automation. In: *Proc. of the 2001 WJTA American Waterjet Conference*, M. Hashish (ed.), WJTA, Minneapolis, Minnesota, pp. 1 – 11, 2001.
- [22] Valíček J., Hloch S.: (2006) Surface topography optical identification generated by abrasive waterjet. In: *Fine Mechanics and Optics*. vol. 51, no. 11 - 12, pp. 320 - 322.
- [23] Vasilko K., Lipták J., Kozáková D., Modrák V.: (1990) New materials and technologies of their machining. *Alfa*, pp - 365.

Sergej Hloch, Katedra prevádzky technologických systémov, Fakulta výrobných technológií, TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, Slovenská republika, tel.: +421 517 723 504, fax.: +421 517 733 453, e-mail: hloch.sergej@fvt.sk  
 Jan Valíček, Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB Technická Univerzita Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: +420 597 323 128, fax.: +420 596 918 589, e-mail: jan.valicek@vsb.cz  
 Kateřina Páleníková, Odbor optiky a přesné mechaniky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2, 616 96 Brno, tel.:+420 541 142 820, fax.: +420 541 142 842, e-mail: katannpal@email.cz

# Application of waste polyurethane materials at vibration damping

*The aim of this paper is an investigation of damping properties of polyurethane materials that were produced from polyurethane foam granules. There were used polyurethane materials with different thickness and inertial masses. After measurements of damping vibration, the polyurethane samples were compared and recommended in reference to their damping properties.*

**Keywords:** vibration damping, dynamic load, transfer function, frequency.

## 1. INTRODUCTION

Vibrations are defined as mechanical oscillations and pulsations. They come up by a movement of elastic bodies and environments, when single points of these elastic bodies and environments oscillate about their state equilibriums. Vibrations belong to fall-out of procedures of machines (production facilities, vehicles, engines, different domestic appliances etc.). They have a negative influence on our environment. For the above-mentioned reasons, it is necessary to reduce vibrations. It is possible by application of suitable damping materials. There are a lot of materials for vibration damping. Porous materials (for example foam polyurethane materials, pressed materials from chippings, fibreglasses, coconut fibres, crushed textile etc.) belong in general to vibration damping materials. This paper deals with utilization of waste polyurethane materials for mechanical vibration damping.

## 1. THEORY

At the investigation of vibration damping, material samples during testing are dynamically loaded by the defined cyclic stress  $\sigma$ :

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) = \sigma_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (1)$$

where:  $\sigma_0$  – stress amplitude,  
 $\omega$  – circular frequency of oscillation,  
 $f$  – frequency of oscillation,  
 $t$  – time.

In consequence of the cyclic stress, there are generated material vibrations. The vibration damping is characterized by the transfer function  $D$ , which is given by the formula:

$$D = 20 \cdot \log \frac{v_0}{v} \quad (2)$$

where:  $v_0$  – excitation velocity amplitude,  
 $v$  – exit velocity amplitude.

The transfer function is given in the case of the dynamic stress (1) by the expression:

$$D = 20 \cdot \log \frac{a_0}{a} \quad (3)$$

where:  $a_0$  – excitation acceleration amplitude,  
 $a$  – exit acceleration amplitude.

## 3. METHODOLOGY

### 3.1 Preparation of Material Samples

Material samples were prepared from polyurethane foam crumb (Gumotex JSC., Břeclav), bonding agent KRASOL NN 22 (poly(urethane) prepolymer based on low-molecular poly(butadiene)

and diphenylmethandiisocyanate; Kaučuk JSC., Kralupy nad Vltavou) and crosslinking agent. Amount of bonding agent (heated on temperature 40 – 60 °C to reach sufficient fluidity) was calculated as percentage portion (in this case 40 %) from weight of polyurethane foam crumb. Amount of crosslinking agent was calculated as percentage portion from weight of bonding agent (in this case 5 %). Above-mentioned materials were mixed and compacted in form in hand press at laboratory temperature. Designations and parameters of spot samples are adduced in Table 1.

Table 1 Parameters of samples

Sample nr.	PUR quantity	Binder quantity	Crosslinking agent quantity	Thickness [mm]	Inertial mass [g]
	[g]	[g]	[g]		
1	23,146	9,258	0,463	33	0
2					87
3					370
4					500
5	30,854	12,342	0,617	45	0
6					87
7					371
8					500
9	46,072	18,429	0,921	60	0
10					87
11					370
12					500

### 3.2 Measurement of Vibration Damping

Vibration damping (transfer function) was measured on two-channel signal analyzer Brüel & Kjær type 2034 with vibrator in the frequency range of 40 Hz to 2000 Hz. Single samples were loaded by four different inertial masses in the range of  $m = (0 \div 500)$  g. The values of inertial masses are adduced in Table 1.

## 4. MEASURED RESULTS AND DISCUSSION

There are shown the dependencies of transfer function on frequency for spot polyurethane samples in Fig. 1 ÷ Fig 5. Frequency characteristics of samples with the same thickness are presented in Fig. 1 ÷ Fig. 3. Further figures show transfer function–fre-

quency characteristics for samples with no inertial mass (Fig. 4) and with the maximal inertial mass (Fig. 5). From the above-mentioned dependencies is evident that the transfer function is in general increasing with increasing frequency. There is the first resonance frequency in the frequency range of 280 Hz to 640 Hz (see Table 2). Lower values of the first resonance frequency are obtained in general at material samples with higher thickness, higher values at material samples with lower thickness.

Further it is evident that better damping properties are in general achieved at polyurethane materials with higher inertial masses and higher material thickness.

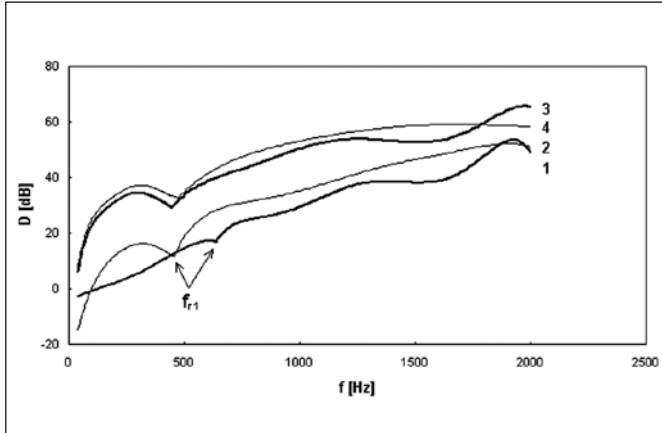


Fig. 1 Transfer function – frequency characteristics for samples with thickness  $t = 33$  mm

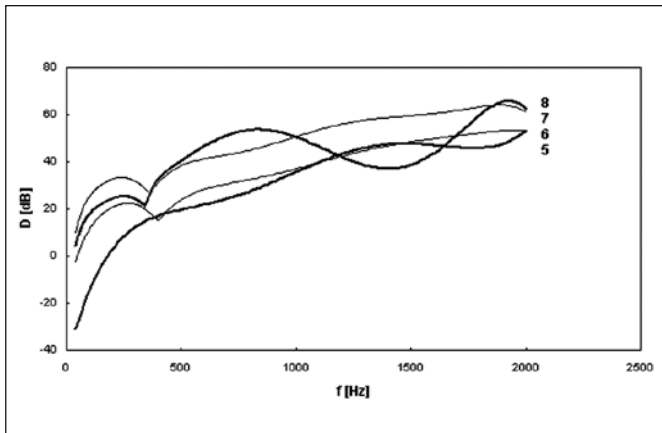


Fig. 2 Transfer function – frequency characteristics for samples with thickness  $t = 45$  mm

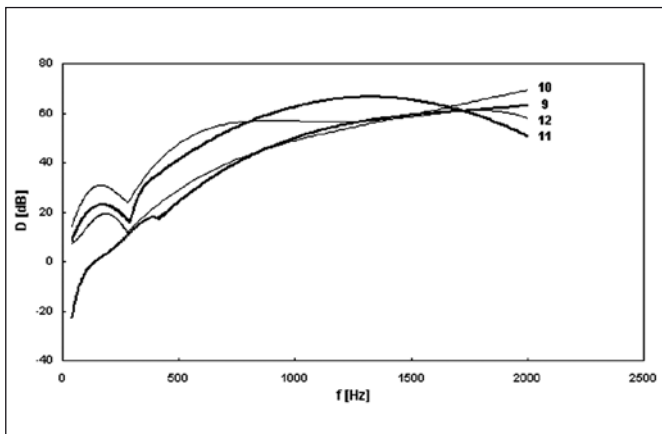


Fig. 3 Transfer function – frequency characteristics for samples with thickness  $t = 60$  mm

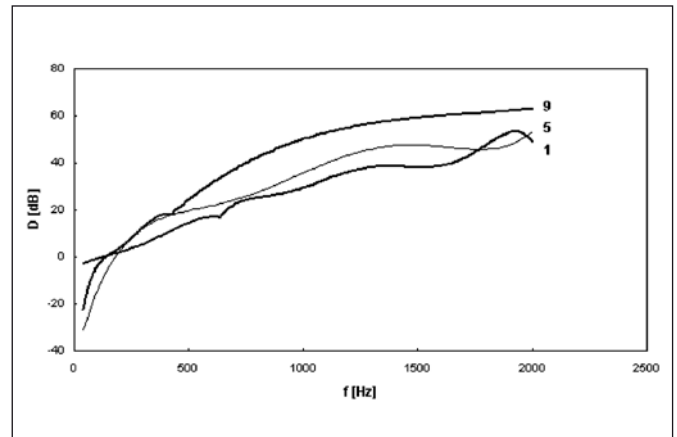


Fig. 4 Transfer function – frequency characteristics for samples without inertial mass ( $m_i = 0$  g)

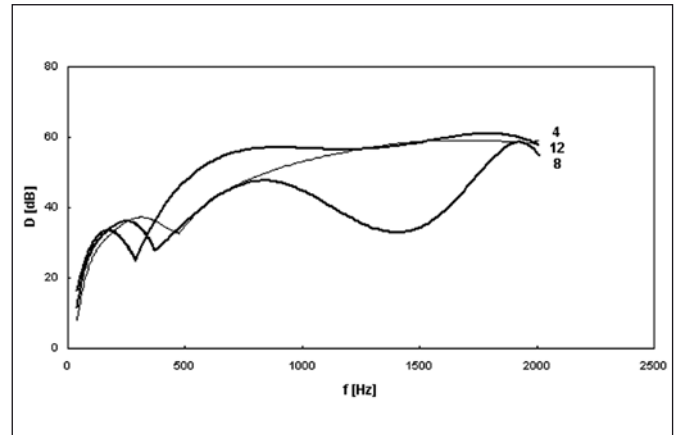


Fig. 5 Transfer function – frequency characteristics for samples with maximal inertial mass ( $m_i = 500$  g)

Table 2 Values of first resonance frequency and relevant transfer function

Sample nr.	Thickness	First resonance frequency	Transfer function
	[mm]		
1	33	640	16,81
2		480	17,45
3		440	29,52
4		480	32,70
5	45	360	11,18
6		400	15,17
7		360	26,66
8		360	29,77
9	60	440	18,05
10		280	11,46
11		280	24,08
12		280	26,40



## 5. CONCLUSION

The purpose of this paper was an investigation of influence of material thickness and inertial masses on vibration damping at recycled polyurethane materials. It is possible to submit that damping properties are strongly influenced by the material thickness and inertial masses. Better properties are in general obtained at polyurethane samples with higher material thickness and higher inertial masses. This method of industry waste utilization belongs to positive aspects of environmental protection.

## References

- [1] Beranek, L. L.: Noise reduction. Mc Graw – Hill Book Company, London, 1960. 752 s.
- [2] Jiříček O.: Úvod do akustiky. Skriptum ČVUT Praha, 2002. 146 s.
- [3] Mišun V.: Vibration and noise. Skriptum VUT Brno, 1998. 177 s.
- [4] Nový R.: Hluk a chvění. Skriptum ČVUT Praha, 2000. 165 s.

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Thomas Bata University in Zlín, Institute of Physics and Material Engineering, Faculty of Technology, Czech Republic, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035101, e-mail: vasina@ft.utb.cz

Ing. Viktor Volčík, Thomas Bata University in Zlín, Institute of Physics and Material Engineering, Faculty of Technology, Czech Republic, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035100, e-mail: volcik@ft.utb.cz

---

## Z technické knihovny

---

**Saleh B.E.A., Teich C.M.: Fundamentals of Photonics. Wiley-Interscience, New York 2007. 2. vydání, 1200 stran, ISBN: 978-0471358329, 108.00 USD**

Jedná se o nové vydání vynikající příručky fotoniky, jejíž první vydání bylo též přeloženo do češtiny a v letech 1994-1995 vydáno pod názvem „Základy fotoniky“ ve čtyřech dílech v nakladatelství Matfyzpress. Oproti předchozímu vydání čtenáře především upoutá její současné barevné grafické zpracování, kdy většina obrázků, schémat a fotografií je vyhotovena v barevném provedení. Nicméně ani z hlediska inovace obsahu knihy nezůstane čtenář ochuzen, neboť téměř každá z dvaadvaceti kapitol prvního vydání byla důkladným způsobem aktualizována a doplněna tak, že publikace nyní poskytuje komplexní příručku fotoniky na současné úrovni znalostí. Dále též nové vydání zahrnuje dvě zcela nové části, které se zabývají optikou fotonických krystalů a optikou ultrakrátkých pulzů. Též kapitoly o optických vláknových komunikacích a fotonických spínačích byly podstatným způsobem přepracovány, aby odrážely současný stav technologie.

Knihou představuje učebnici (příručku), která popisuje současný stav fotoniky, jež se neustále rozvíjí a uplatňuje v nejrůznějších oblastech aplikované fyziky, techniky a medicíny. Je napsána jako vyvážená kombinace teoretických znalostí a praktických aplikací teoretických poznatků. Obsah publikace pokrývá podrobným způsobem základní teoretické přístupy k popisu světla, tj. paprskové, elektromagnetické a fotonové optiky, stejně jako popis interakce světla s látkou a základů teorie polovodičů. Struktura kapitol je uspořádána logicky takovým způsobem, že komplexnost a náročnost výkladu postupně vzrůstá a počáteční kapitoly slouží jako základ pro pochopení pokročilejších oblastí fotoniky jako jsou např. fotodetektory, zdroje záření, vláknová optika a optické komunikace, nelineární optika, fotonické spínání a optické počítače. Každá kapitola je na závěr zakončena shrnutím obsahujícím důležité teoretické vztahy, úlohy na procvičení dané problematiky a seznam vybrané odborné literatury, která může sloužit k dalšímu hlubšímu studiu v dané oblasti. Kniha je dále vhodným způsobem doplněna barevnými schématickými obrázky a fotografiemi, seznamem použitých symbolů a věcným rejstříkem.

Jak již bylo naznačeno, je v druhém vydání kniha tématicky rozčleněna na dvacet čtyři kapitol a tři dodatky. Počátečních šest kapitol je věnováno klasickým základům geometrické a elektromagnetické optiky. Jsou zde podrobně rozebrány oblasti paprskové optiky, skalární teorie elektromagnetického vlnění, optiky svazků, Fourierovské optiky, elektromagnetické teorie světla, polarizačních

vlastností světla a krystaloptiky. Následující tři kapitoly jsou postupně zaměřeny na optiku fotonických krystalů, vlnovodnou a vláknovou optiku. Desátá kapitola se zabývá základy teorie optických rezonátorů, jež slouží dále pro výklad teorie laserů. Jedenáctá kapitola je zasvěcena popisu statistických vlastností optického záření. Ve dvanácté až patnácté kapitole jsou podrobně rozebírány základy tzv. fotonové optiky, interakce světla s látkou, teorie laserů a laserových zesilovačů. Další tři části knihy se zabývají výkladem základů teorie polovodičů a jejich optických vlastností. Jsou zde popsány principy fungování různých polovodičových zdrojů optického záření a polovodičových detektorů. Devatenáctá až dvacátá kapitola je poté věnována výkladu problematiky akustooptiky, elektrooptiky a nelineární optiky. Zcela nově je zařazena dvaadvacátá kapitola, která vysvětluje základy teorie šíření, tvarování a detekce tzv. ultrakrátkých pulzů. Poslední dvě kapitoly této učebnice se zabývají moderní problematikou fotonického spínání, optických počítačů a optických vláknových komunikací. Ve třech dodatcích knihy poté najde čtenář stručný přehled vlastností Fourierovy transformace funkcí jedné a dvou proměnných a vlastností jednorozměrných a dvourozměrných lineárních systémů, který slouží jako matematická pomůcka při studiu některých partií optiky.

Knihou je výbornou příručku základů fotoniky, jež je určena především pro studenty vyšších ročníků univerzit resp. doktorského studia v oblastech optiky, elektroniky a aplikované fyziky. Publikace vzhledem k rozsahu vykládané problematiky předpokládá dobré znalosti základních partií aplikované a moderní fyziky v rozsahu vysokoškolského studia technického zaměření. Díky své struktuře výkladu je jí možno využít i jako učební text pro samostatné studium. Další výhodou této učebnice z pedagogického hlediska je možnost modulárně sestavit různé semestrální kurzy pro výuku různých partií fotoniky - např. kurzy optiky, optoelektroniky, laserové techniky a kvantové elektroniky, zpracování optické informace, optických komunikací, apod. Na konci každé kapitoly je vždy uveden seznam doporučené odborné literatury, jež popisuje danou problematiku podrobněji a kde lze nalézt detailnější vysvětlení a odvození nežli v této příručce. Přehledný věcný rejstřík umožňuje poté snadné vyhledávání požadovaných hesel. Publikaci je možno vřele doporučit jako výbornou učebnici vysokoškolským studentům optiky, elektroniky nebo aplikované fyziky, ale i jako komplexní příručku inženýrům a vědeckým pracovníkům ve zmíněných oblastech, která by v jejich knihovně jistě neměla chybět.

*J. Novák*

# CONTENTS

---

**Tomas Bata University in Zlín (UTB)** ..... 131

**Tomas Bata University will introduce itself in New York**.... 131

**Dr. Věra Blumová in her 90th**

(J. Eigl, A. Mikš)..... 132

**Experimental Determination of Modulus of Elasticity of Hoses**

(L. Hružík, M. Vašina) ..... 133

Modulus of elasticity of solid materials is determined by an experimental static tensile test on usual terms. The test is insufficient for hoses. Therefore, there is provided a special test for the determination of modulus of elasticity of hoses in reference to pressure and temperature of working liquid and environment temperature. The aim of the paper is to experimentally determinate modulus of elasticity of hoses depending on pressure of working liquid.

**Keywords:** modulus of elasticity, hose, steel pipe, liquid, pressure, experimental equipment.

**International engineering trade-fair Nitra (rp)** ..... 139

**Photovoltaic Systems for Direct Transformation of Solar**

**Energy** (M. Vašina) ..... 140

Solar energy belongs to clean renewable energy sources. There are a lot of transformation methods of solar energy into another kind of energy. The direct transformation of solar energy into electrical energy by means of photovoltaic cells is one of the possibilities. The aim of this paper is to describe single types of photovoltaic systems and possibilities of their applications.

**Keywords:** solar energy, electrical energy, photovoltaic cell, photovoltaic panel, photovoltaic system, converter.

**Trade-fair CONTROL for the first time in the new exhibition centre in Stuttgart** (Jan Kür)..... 142

**Visualization of near electromagnetic fields of electronic**

**systems** (V. Křesálek, M. Navrátil, J. Ivanka, T. Košina) ..... 143

In this article, evaluating system for measuring of near electromagnetic field is described. The field is radiated by a cell phone. Results from proposed software are presented here. It can help find positions with raised emissivity and give some indication for engineering interventions leading to elimination of interference of electronic systems.

**Keywords:** electromagnetic field, visualisation, interference, EMC

**Trade-fair AUTOMATICA in München**..... 145

**Measurement of Modulus of Elasticity of Liquids**

(M. Vašina, L. Hružík) ..... 146

Real liquids are compressible. The compressibility of liquids is described by modulus of elasticity (or by coefficient of volume compressibility) analogous to solids. A value of modulus of elasticity at liquids depends on many factors, above all on volume of free gases in liquids and further on pressure and temperature of liquids.

**Keywords:** modulus of elasticity, coefficient of volume compressibility, volume, pressure, air, capacity.

**Influence of Atmospheric Pollution on Solar Panels Efficiency**

(M. Vašina, D. Fojtů) ..... 148

Direct transformation of solar radiation energy into electrical energy is realized through solar panels. The efficiency of the energetic transformation is very low. It is influenced by many factors, mainly by used semiconductor material of solar panels and incidence angle of solar radiation on solar panels. The aim of the paper is to examine an influence of atmospheric pollution on solar panels efficiency.

**Keywords:** solar radiation, solar panel, atmospheric pollution, power, electrical energy

**Application of mathematical approximation for correction process of cutting tool size defect**

(R. Krehel, J. Dobránský) ..... 150

**Optatec** ..... 152

**Application of optical profilometer microprof FRT in experimental study of aluminium surface topography created by abrasive waterjet**

(S. Hloch, J. Valíček, K. Páleníková)..... 153

The paper deals with identification and factor analysis in relationship to aluminium surface topography created by abrasive waterjet. By means of design of experiments has been evaluated the influence of abrasive waterjet factors to surface irregularities of aluminium. Surface roughness has been quantified by means of surface profile parameters  $Ra$ ,  $Rq$  and  $Rz$  obtained from 24 depth trace lines. Information about surface topography of experimentally created samples has been achieved by means of 3D measurement of surfaces.

**Keywords:** abrasive waterjet, surface topography, factors

**From technical library** (J. Novák)..... 159

## ANOTACE

---

**Algoritmy fraktálového kódování obrazů**

(M. Čandík, F. Včelař) ..... 136

Fraktálové kódování obrazů patří mezi nové účinné techniky ztrátové komprese obrazů. Článek obsahuje obecný popis technik a základní algoritmy fraktálového kódování a dekódování (šedých) obrazů. Jsou uvedeny některé příklady. Experimenty byly realizovány na proslulém statickém šedém obraze LENNA, který dnes již představuje určitý standard pro testování většiny procedur zpracování obrazu. Krátce jsou zmíněny i některé základní problémy kódování barevných obrazů.

**Klíčová slova:** kódování obrazu, fraktál, iterační rekonstrukce, atraktor.

**Využití odpadních polyuretanových materiálů při tlumení vibrací** (M. Vašina, V. Volčík) ..... 157

Tématem tohoto příspěvku je vyšetření tlumících vlastností polyuretanových materiálů vyrobených z polyuretanových pěnových granulí. Byly použity polyuretanové materiály s různými tloušťkami a setrvačnými zátěžemi. Po provedení měření útlumů vibrací polyuretanových vzorků byly jednotlivé vzorky porovnány a doporučeny z hlediska jejich tlumících vlastností.

**Klíčová slova:** útlum vibrací, dynamické zatížení, přenosová funkce, frekvence.

# Mezinárodní veletrh zařízení pro sklářský průmysl glasstec 2008,

který se bude konat ve dnech **21. – 25. 10. 2008** na výstavišti v Düsseldorfu spolu se speciální přehlídkou „**glass technology live**“.

Veletrh **glasstec** se koná jednou za dva roky a letos se ho zúčastní přes 1200 vystavovatelů z celého světa, kteří představí v deseti výstavních halách novinky pro **výrobu, zpracování, zušlechtnění a použití skla, sklářské stroje, přístroje a pomůcky, měřicí, řídicí a regulační techniku**. Zvýrazněným tématem bude „**Sklo a energie**“ – aktuální vývoj v efektivním použití skla a solární energie.

**Speciální přehlídka „glass technology live“** se bude kromě tradičních tématických okruhů zpracování a zušlechtnění skla zabývat hlavně zvýrazněnými tématy ochrany klimatu a využitím sluneční energie, dále to bude potenciál skla v oblasti stavebních solárních komponentů a fotovoltaika. Doprovázena bude odborným symposiem s přednáškami a prezentacemi z výzkumu a praxe a kongresem architektů. Další informace naleznete na [www.glasstec.de](http://www.glasstec.de)

**Odbor zahraničního zastoupení Veletrhy Brno, a.s.** jako zástupce Messe Düsseldorf nabízí českým a slovenským zájemcům následující možnosti nákupu vstupenek a katalogů:

## Prodej vstupenek a katalogů se slevou v předprodeji BVV v CZK

Naše nabídka	Cena CZK - předprodej BVV
jednodenní vstupenka	680,-
jednodenní vstupenka studenti, učni	327,-
dvoudenní vstupenka	1083,-
permanentní vstupenka (5 dnů)	1662,-
katalog	453,-

Upozorňujeme, že **vstupenka je při jízdě na veletrh a zpět použitelná i jako bezplatná jízdenka** v dopravní síti pod označením VRR.

Dále nabízíme množstevní slevy podle počtu objednaných vstupenek (platí pouze pro vstupenky objednané v předprodeji BVV):

- při odběru **nad 40 ks** poskytujeme slevu 5 %
- při odběru **nad 80 ks** slevu 10 %.

## Objednávku přes Veletrhy Brno, a.s. - platba v CZK zašlete **nejpozději do 10. 10. 2008**

**Bližší informace:** Veletrhy Brno, a.s., odbor zahraničního zastoupení, Marie Horáková, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: 541 152 533, fax: 541 153 051, e-mail: [mhorakova@bvvcz](mailto:mhorakova@bvvcz)

**Cestovní kancelář BVV FAIR TRAVEL, s.r.o.**, Výstaviště 1, 647 00 Brno, [www.fairtravel.cz](http://www.fairtravel.cz) zajišťuje:

**Zájezdy** - Marcela Frnková, tel.: 541 159 190, [frnkova@fairtravel.cz](mailto:frnkova@fairtravel.cz)

**Ubytování a autobusové jízdenky** - Zora Musilová, tel.: 541 159 189, [musilova@fairtravel.cz](mailto:musilova@fairtravel.cz)

**Letenky** - Jitka Müllerová, tel.: 541 159 181, [mullerova@fairtravel.cz](mailto:mullerova@fairtravel.cz)

Pokud využijete nabídky zájezdů **BVV FAIR TRAVEL, je pro Vás s objednaným zájezdem zajištěna současně i vstupenka a katalog.**

*Ing. Jiří Knop  
vedoucí odboru zahraničního zastoupení  
a zástupce Messe Düsseldorf pro ČR a SR*





## DEN OTEVŘENÝCH DVEŘÍ A ODHALENÍ PAMĚTNÍ DESKY

Meopta – optika, s.r.o.

Kabelíkova 1  
750 02 Přerov



Foto: Vlastimil Mihal