

**9**  
**2009**

# JMO

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS



**FESTO**

### Bezpečnost strojů

Všechny výrobní stroje a zařízení musejí od nového roku odpovídat směrnici 2006/42/EC podle normy EN ISO 13849-1 pro bezpečný provoz. Vyžádejte si praktickou příručku s příklady zapojení na [support\\_cz@festo.com](mailto:support_cz@festo.com) nebo na 485 104 838.

# 1. výroční seminář Vladimíra Dvořáka



*Prof. Ishibashi s chotí  
a RNDr. Jan Petzelt, DrSc. (FZÚ)*



*Ředitel Fyzikálního ústavu AV ČR, v.v.i.,  
doc. Jan Řídký, CSc.*



*Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. (FZÚ) a prof. Yoshihiro Ishibashi  
(Nagoya University, Japonsko)*



*Účastníci semináře v posluchárně Fyzikálního ústavu  
AV ČR, v.v.i.*



*Šéfredaktor časopisu JMO Jaroslav Nevřala, dipl. tech.,  
prof. RNDr. Václav Janiš, DrSc. a Jiří Hlinka, Ph.D. (FZÚ)*



*Petzelt, Hlinka, Ishibashi, syn dr. Dvořáka Pavel Dvořák  
s chotí a její matkou, paní Ishibashi, Milada Glogarová (FZÚ)*

## 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 HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, 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, prof. 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, 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.:** doc. Jan ŘÍDKÝ, CSc.

**Odpoovědný 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 2009

# JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS  
ROČNÍK 54 9/2009

## OBSAH

<b>Optická soustava boroskopu I</b> (J. Keprt, L. Pospíšil).....	235
<b>Vytváření rovných optických povrchů leštěním</b> (Y. Filatov, V. Sidorko).....	239
<b>Materiálová citlivost magnetooptické elipsometrie v nanostrukturách</b> (K. Postava, D. Hrabovský, O. Životský, J. Pištora).....	243
<b>Fotovoltaická elektrárna v Rokytnici nad Jizerou</b> (V. Beránek, M. Libra).....	248
<b>EuroBLECH 2010</b> .....	250
<b>Modelování indexu lomu solného roztoku užitím SPR metody</b> (P. Otipka, J. Vlček, M. Lesňák).....	251
<b>LASER World of PHOTONICS - veletrh a kongresy</b> (P. Tománek).....	254
<b>Automatická kontrola barevných značek automobilových pružin</b> (M. Čepl, G. Ivanov, A. Kratochvil, H. Hiklová, M. Hrabovský).....	255
<b>MESING na MSV Brno 2009</b> (J. Kůr, D. Smutný, P. Kracík,).....	259
<b>Bezpečnost Festo</b> (Z. Haumer).....	261
<b>Treba zainvestovat aj do výstav a veletrhů</b> (P. Horňák, F. Mikuláš).....	263
<b>Fluorescenční mikroskop pro detekci jednotlivých molekul</b> ....	263
<b>Integrované automatizační systémy Siemens zvyšují produktivitu při tváření kovů</b> (J. Studeny).....	264
<b>Seminář Vladimíra Dvořáka</b> .....	267
<b>První přednáška na semináři Vladimíra Dvořáka</b> (J. Petzelt).....	267
<b>VISION 2009</b> (S. Stoll).....	268

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 HORŇÁK - 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 JASTRABÍK - 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 KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), 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 LOŠŤÁK - 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.), Miroslav MILER - 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 SENDERÁKOVÁ - 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 STUĐENOVSKÝ - 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 2009

# FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL  
VOLUME 54 9/2009

## CONTENTS

<b>Optical system of boroscop I</b> (J. Kepřt, L. Pospíšil) .....	235
<b>Formation of Flat Optical Surfaces in Polishing</b> (Y. Filatov, V. Sidorko) .....	239
<b>Material sensitivity of magneto-optical ellipsometry in nanostructures</b> (K. Postava, D. Hrabovský, O. Životský, J. Pištora) .....	243
<b>Photovoltaic electric station in Rokytnice nad Jizerou</b> (V. Beránek, M. Libra) .....	248
<b>EuroBLECH 2010</b> .....	250
<b>Designing of refractive index of NaCl solution using SPR</b> (P. Otipka, J. Vlček, M. Lesňák) .....	251
<b>LASER World of PHOTONICS – trade-fair and conferences</b> (P. Tománek) .....	254
<b>Automatic control of colour marks for springs in automotive industry</b> (M. Čepl, G. Ivanov, A. Kratochvíl, H. Hiklová, M. Hrabovský) .....	255
<b>MESING at International Engineering Fair Brno 2009</b> (J. Kůr, D. Smutný, P. Kracík,) .....	259
<b>Festo security</b> (Z. Haumer) .....	261
<b>It is necessary to embark in exhibitions and trade-fairs too</b> (P. Horňák, F. Mikuláš) .....	263
<b>Fluorescent microscope for detection of single molecules</b> .....	263
<b>Integrated automation systems Siemens can enhance productivity of metal forming</b> (J. Studený) .....	264
<b>Vladimír Dvořák's seminar</b> .....	267
<b>First lecture in Vladimír Dvořák's seminar</b> (J. Petzelt) .....	267
<b>VISION 2009</b> (S. Stoll) .....	268

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

# Optická soustava boroskopu I

*Optická soustava boroskopu je tvořena třemi základními členy. První člen je širokouhlá předsádka sestávající z plankonkávní rozptylky a plankonvexní spojky. Druhý člen je základní objektiv sestávající z tmelené spojky, jednoduché spojky a tmelené spojky. Třetí přídavný, resp. opakovaně prodlužovací člen, sestává z volné spojky a tmelené spojky. V případě slabého optického signálu je použito varianty původního návrhu, která spočívá na zvětšení světelnosti soustavy a využití kamer s menším rozměrem CCD čipů.*

**Klíčová slova:** boroskop, volná spojka, volná rozptylka, tmelená čočka, čip CCD kamery

## 1. ÚVOD

Známé soustavy boroskopů nebo též boreskopů, resp. endoskopů [1] se liší složitostí, tvarem jednotlivých členů, rozměry a účelem použití. Jde o soustavy, které umožňují pozorování nedostupných oblastí a částí předmětů, které je nutno pozorovat v reálném čase, případně je regulovat a ovlivňovat. Většinou jde o soustavu zobrazovacích vláken (např. lékařský endoskop), která se zavede do blízkosti vyšetřované části nedostupného předmětu a jednoduchým optickým členem se předmět pozorování zobrazí na čip CCD kamery, přičemž jej příslušný pracovník studuje na obrazovce monitoru počítače.

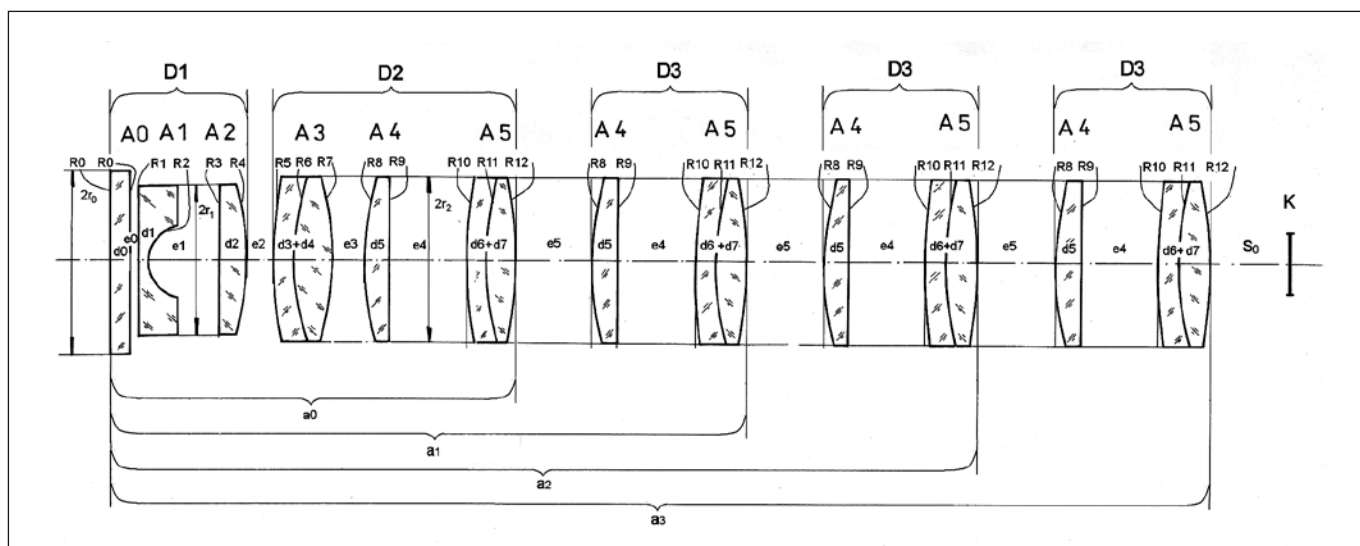
V průmyslové praxi však převažuje z praktických důvodů optická soustava tvořená řadou optických zobrazovacích členů (čoček, případně zrcadel), která postupně zobrazuje studovaný předmět na čip kamery, resp. monitor počítače. Návrhy a realizace každé takové specializované soustavy jsou ovlivněny jejím specifickým použitím v průmyslové a společenské praxi.

## 2. OPTICKÁ SOUSTAVA BOROSKOPU, VERZE A

V práci je podán návrh optické soustavy boroskopu (endoskopu) pro pozorování plamene žárových kotlů (elektráren, tepláren, cementáren apod.), která zprostředkuje přenos obrazu na čip CCD kamery (rozměr čipu  $i \times j$  mm, délka uhlopříčky  $u$  mm), který je vzdálen  $s_0$  mm od poslední plochy optické soustavy. Délka boroskopu má tři varianty odpovídající různým tloušťkám pláště kotlů,

tj.  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  mm. Maximální průměr čoček je  $2r_2$  mm, maximální zorné pole je  $\alpha$ , stupňů. Výměnou prvního optického členu je možno měnit pozorování obrazového prostoru ještě pod úhly  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  stupňů. Zobrazení je realizováno v oblasti viditelného světla, tj. pro vlnové délky 400 nm - 900 nm.

Optická soustava boroskopu je tvořena dvěma základními zobrazovacími členy D1, D2 a přídavnými soustavami D3 umožňujícími prodlužování boroskopu (obr. 1). První zobrazovací člen je širokouhlá předsádka sestávající z plankonkávní rozptylky A1 a plankonvexní čočky A2, druhý člen je základní objektiv sestávající z tmeleného spojného dubletu A3, volné plankonvexní čočky A4 a spojného tmeleného dubletu A5. Základní soustava složená z uvedených čoček má celkovou délku  $a_0$  mm a polohu obrazu ve vzdálenosti  $s_0$  mm. Volné čočky A4 a tmeleného objektivu A5 je s výhodou užito pro skokové prodlužování délky boroskopu, a to tak, že čočku A4 umístíme do vzdálenosti  $e_5$  mm za poslední plochu druhé zobrazovací soustavy, přičemž za ni do vzdálenosti  $e_4$  mm vložíme tmelený člen A5. Tím dosáhneme celkové délky soustavy  $a_1$  mm, včetně krycího skla A0 (tloušťky do průměru  $2r_0$ ) a polohy obrazu ve vzdálenosti  $s_0$  mm. Další prodloužení délky boroskopu spočívá v opětovném umístění spojky A4 do vzdálenosti  $e_5$  mm za poslední plochu dubletu. Dublet A5 ve vzdálenosti  $e_4$  mm za čočkou A4 umožní zobrazení na čip CCD kamery opět ve vzdálenosti  $s_0$  mm při celkové délce boroskopu  $a_2$  mm. Další prodloužení



Obr. 1 Schéma optické soustavy boroskopu, verze A (OSB/A)

spočívá v opětovném užití stejné metodiky s využitím čočky A4 a dubletu A5, při zobrazení ve vzdálenosti  $s_0$  mm a celkové délce boroskopu  $a3$  mm. Schéma optické soustavy včetně prodlužovacích členů je znázorněno na obr. 1.

V obr. 1 značí R0 až R12 poloměry zakřivení kulových optických ploch,  $d0$  až  $d7$  osové tloušťky,  $e0$  až  $e4$  vzdálenosti vzduchových mezer,  $s_0$  vzdálenost obrazové roviny.

První zobrazovací člen, který obsahuje rozptylku A1 (R1, R2) a spojku A2 (R3, R4) o průměru  $2r_1$ , je využíván k pozorování (a následné regulaci) plamene pod úhlem  $\alpha_1$  stupňů. Pozorování (a regulace) plamene pod úhlem  $\alpha_2$  stupňů, resp.  $\alpha_3$  je realizováno prostou výměnou rozptylky A1 rozptylkou stejné tloušťky a průměru, ale jiného poloměru křivosti R2 druhé optické plochy. Spojka A2 zůstává stejná. Mechanické a optické vzdálenosti zůstávají z výrobních a praktických důvodů totožné. Druhý optický člen tvořený dubletem A3 (R5, R6, R7), spojkou A4 (R8, R9) a dubletem A5 (R10, R11, R12) o průměru  $2r_2$  zůstávají ze stejných důvodů (mechanická výroba) identické. Poloha obrazu se však poněkud změní. Požadované kvality obrazu se dosáhne přestrojením, resp. mechanickým posuvem CCD kamery (jejího čipu) o vzdálenost  $\Delta s_0$ .

Nejvzdálenější část a detaily pozorovaného předmětu (plamene) je možno studovat pod zorným úhlem  $\alpha_4$  stupňů. V tomto případě první zobrazovací člen je odstraněn, tj. optické díly A1 a A2 jsou vyjmuty a zůstává prázdný mechanický díl D1 s ochranným sklem A0. Druhý zobrazovací člen D2 s přídatnými částmi až do délky  $a3$  mm zajistí ostré zobrazení ve vzdálenosti  $s_0$  mm. Ostroty obrazu docílíme stejně jako v předcházejícím případě posuvem kamery o vzdálenost  $\Delta s_0$ .

Přínos této optické soustavy v porovnání se stávajícími komerčně vyráběnými boroskopy vidíme v těchto skutečnostech:

1. Navržená optická soustava umožňuje flexibilní upravení délky boroskopu odpovídající síle stěny ochranného pláště žárových kotlů v rozsahu délek  $a0$  až  $a3$  mm.
2. Velikost zorného pole boroskopu je možno přizpůsobit velikostí regulovaného plamene, resp. detailu jeho částí, prostou výměnou mechanického dílu prvního optického členu (A1, A2) boroskopu, přičemž druhý díl a přídatné části zůstanou nezměněny.

Tyto dvě skutečnosti mají zásadní význam pro jednoduchost výroby optických a mechanických prvků boroskopů a jejich využití v praxi.

### 3. PŘÍKLAD KONKRÉTNÍ OPTICKÉ SOUSTAVY

Požadavkem budoucích uživatelů boroskopů byl návrh takové optické soustavy pro pozorování plamene žárových kotlů elektráren, tepláren, cementáren apod., která zprostředkuje přenos obrazu na čip CCD kamery (rozměr čipu  $6,4$  mm  $\times$   $4,8$  mm, délka uhloupíčky  $8$  mm), který je vzdálen asi  $150$  mm od poslední plochy optické soustavy.

Návrh optické soustavy, splňující uvedené požadavky, má tři varianty, které odpovídají různým tloušťkám pláště kotlů, tj.  $530$ ,  $830$  a  $1130$  mm. Maximální průměr čoček je  $9$  mm, maximální zorné pole je  $90$  stupňů. Výměnou prvního optického členu je možno měnit pozorování obrazového prostoru ještě pod úhly  $60$ ,  $30$  a  $10$  stupňů. Zobrazení je realizováno v oblasti viditelného světla, tj. pro vlnové délky  $400$  nm -  $900$  nm.

Parametry základní opticko-mechanické části jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Parametry základní opticko-mechanické části boroskopu, verze A (OSB/A)

R [mm]	e, d [mm]	n	v
R0 = $\infty$	$d0 = 1,0$	1,51872	63,96
R0 = $\infty$	$e0 = 0,5$		
R1 = $\infty$	$d1 = 0,5$	1,51872	63,96

R2 = 2,008	$e1 = 22,1$	1,0	
R3 = $\infty$	$d2 = 1,5$	1,51872	63,96
R4 = -14,995	$e2 = 5,0$	1,0	
R5 = 39,987	$d3 = 1,0$	1,62408	36,11
R6 = 14,995	$d4 = 2,3$	1,51872	63,96
R7 = -30,058	$e3 = 39,5$	1,0	
R8 = 37,493	$d5 = 1,4$	1,51872	63,96
R9 = $\infty$	$e4 = 148,0$	1,0	
R10 = 68,545	$d6 = 1,0$	1,62408	36,11
R11 = 24,998	$d7 = 1,7$	1,51872	63,96
R12 = -61,091	$s_0 = 152,9$	1,0	

V tab. 1 značí R0 až R12 poloměry zakřivení kulových optických ploch,  $d0$  až  $d7$  osové tloušťky,  $e0$  až  $e4$  vzdálenosti vzduchových mezer,  $s_0$  vzdálenost obrazové roviny,  $n$  index lomu užitých skel BK7 a F2 pro vlnovou délku  $546,1$  nm, v Abbeovo číslo odpovídajícího skla. Pro tuto i všechny dále uvažované optické soustavy předpokládáme polohu pozorovaného předmětu v nekonečnu.

Základní soustava složená z uvedených čoček má celkovou délku  $225,5$  mm a polohu obrazu ve vzdálenosti  $152,9$  mm. Volné čočky A4 a tmeleného objektivu A5 je s výhodou užito pro skokové prodlužování délky boroskopu, a to tak, že čočku A4 umístíme do vzdálenosti  $150$  mm za poslední plochu druhé zobrazovací soustavy, přičemž za ní do vzdálenosti  $148$  mm vložíme tmeleň člen A5. Tím dosáhneme celkové délky soustavy  $529,1$  mm (včetně krycího skla A0 tloušťky  $1$  mm, průměru  $10$  mm, které je vzdáleno  $0,5$  mm od rovinné plochy rozptylky A1) a polohu obrazu ve vzdálenosti  $152,9$  mm. Další prodloužení délky boroskopu spočívá v opětovném umístění spojky A4 do vzdálenosti  $150$  mm za poslední plochu dubletu A5. Dublet A5 ve vzdálenosti  $148$  mm za čočkou A4 umožní zobrazení na čip CCD kamery opět ve vzdálenosti  $152,9$  mm při celkové délce boroskopu  $831,2$  mm. Další prodloužení spočívá v opětovném užití stejné metodiky s využitím čočky A4 a dubletu A5, při zobrazení ve vzdálenosti  $152,9$  mm a celkové délce boroskopu  $1133,3$  mm.

Při alternativním pozorování plamene pro různé zorné úhly  $\alpha$  se pak mění vzdálenost obrazové roviny  $s_0$  v závislosti na poloměrech křivosti R2 vyměnitelné rozptylové čočky A1 podle následující tabulky (tab. 2).

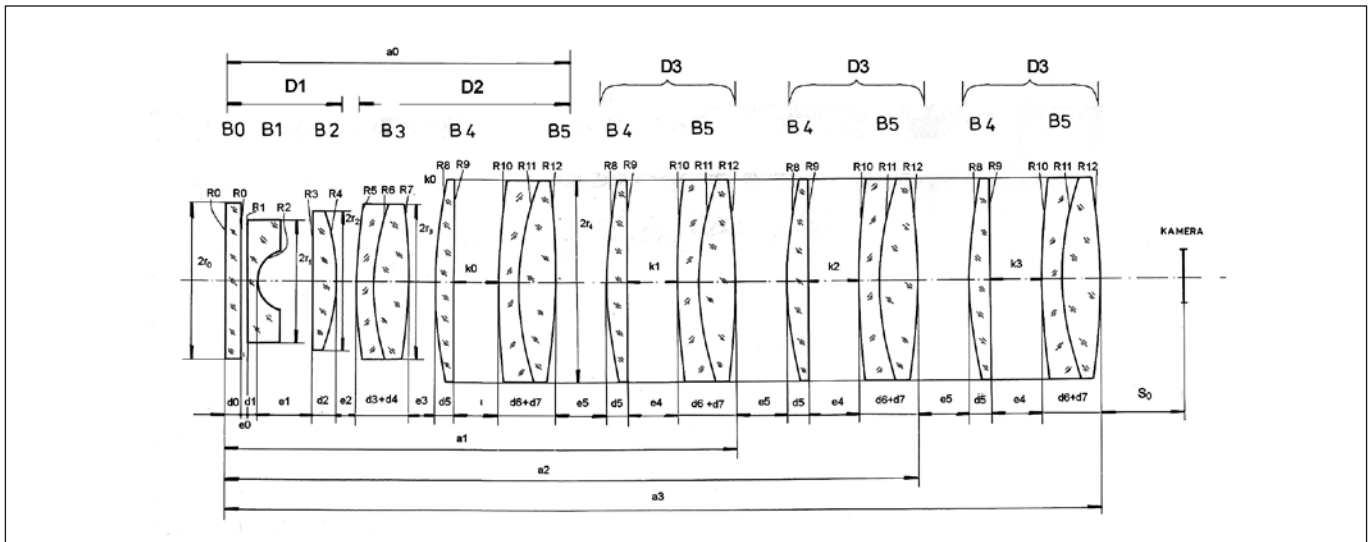
Tab. 2 Odpovídající pozorovací úhly  $\alpha$  a obrazové vzdálenosti  $s_0$  pro rozptylku A1 s poloměrem křivosti druhé plochy R2

$\alpha$	R2 [mm]	$s_0$ [mm]
$90^\circ$	2,008	152,9
$60^\circ$	3,077	148,1
$30^\circ$	5,035	173,8
$10^\circ$	---	152,9

Zde pro zorný úhel  $\alpha = 10^\circ$  jsou optické díly A1, A2 ze soustavy zcela vyjmuty. Tento zorný úhel slouží pro sledování detailů pozorovaného předmětu (plamene).

### 4. MODIFIKACE OPTICKÉ SOUSTAVY PRO ZVĚTŠENÍ SVĚTELNOSTI

V některých případech, tj. zvláště u kotlů starších cementáren, se stává, že optický signál na čipu kamery je slabý a tudíž jeho úroveň je nutno zvýšit zvětšením průměru optických členů. Přitom ovšem je nutno respektovat požadavek uživatele, zachovat průměr mechaniky optických vstupních členů, tj. krycího skla A0



Obr. 2 Optické schéma boroskopu, verze B (OSB/B)

a frontální rozptylky A1 (obr. 1) tak, aby bylo využito stávajícího chladičného systému mechaniky boroskopu. Z důvodu co nejmenších zásahů do výroby optických členů již komerčně vyráběných optických soustav boroskopů, navržených podle schématu na obr. 1, byly zvětšeny průměry optických členů A2 a A3 na 9 mm a 10 mm, resp. optických členů A4 a A5 na 16 mm. Schéma upravené optické soustavy je zřejmé z obr. 2.

V obr. 2 zůstávají poloměry křivosti jednotlivých optických ploch stejné jako v případě uvedeném na obr. 1, resp. v tab. 2, zůstávají stejné rovněž optické parametry užitých skel ( $n_c$ ,  $v_c$ ). Kromě A0 a A1 se však mění průměry optických členů, dále jejich tloušťky, a jsou většinou modifikovány vzdálenosti optických členů, resp. obrazová vzdálenost čipu kamery. Pro větší přehled ve výrobně-obchodní komunikaci byly optické členy této nové soustavy označeny symboly B0, B1 až B5, přičemž platí zřejmě A0 = B0, A1 = B1.

Pro splnění těchto požadavků byla vytvořena optická soustava, jejíž parametry pro základní část sestávající z předádkového členu D1 a zobrazovacího členu D2, resp. D3 jsou v následující tabulce 3.

Tab. 3 Parametry optické soustavy boroskopu, verze B

R [mm]	$e, d, s$ [mm]	$r$ [mm]	$n_c$	$v_c$
R0 = $\infty$	$d_0 = 1,0$	$2r_0 = 10$	1,51872	63,96
R0 = $\infty$	$e_0 = 0,5$		1,0	
R1 = $\infty$	$d_1 = 0,5$	$2r_1 = 8$	1,51872	63,96
R2 = 2,008	$e_1 = 22,1$		1,0	
R3 = $\infty$	$d_2 = 1,55$	$2r_2 = 9$	1,51872	63,96
R4 = -14,995	$e_2 = 5,0$		1,0	
R5 = 39,987	$d_3 = 1,05$	$2r_3 = 10$	1,62408	36,11
R6 = 14,995	$d_4 = 2,35$		1,51872	63,96
R7 = -30,058	$e_3 = 37,5$		1,0	
R8 = 37,493	$d_5 = 2,1$	$2r_4 = 16$	1,51872	63,96
R9 = $\infty$	$e_4 = 148,0$		1,0	
R10 = 68,545	$d_6 = 1,5$		1,62408	36,11
R11 = 24,998	$d_7 = 3,0$		1,51872	63,96
R12 = -61,091	$s_0 = 154,0$		1,0	

Zde R0 až R12 jsou poloměry křivosti optických ploch,  $d_0$  až  $d_7$  jsou osové tloušťky optických dílů,  $e_0$  až  $e_4$  jsou vzdálenosti vzduchových mezer,  $s_0$  je vzdálenost obrazové roviny,  $r_0$  až  $r_4$  jsou poloměry optických dílů,  $n_c$  je index lomu jednotlivých čoček,  $v_c$  je velikost Abbeova čísla odpovídajícího skla,  $k_0$  až  $k_3$  jsou vzdálenosti optických členů B4 a B5,  $k_i$  je korekční vzdálenost posledních dvou členů B4 a B5 u prodlužovacích dílů D3, přičemž pro základní délku platí  $k_i = e_0$ .

Základní optická soustava tvořená uvedenými členy D2 má celkovou délku  $a_0 = 225,5$  mm a polohu obrazu ve vzdálenosti  $s_0 = 152,6$  mm. Pro skokové prodloužení optické soustavy je připojen přídatný člen D3, když druhá kolektivní spojná čočka B4 se umístí ve vzdálenosti  $e_5 = 150$  mm za poslední plochu zobrazovacího členu D2 a doplňková spojná čočka B5 se umístí ve vzdálenosti  $e_4 = 148$  mm za tuto druhou kolektivní spojnou čočku B4. Tím se dosáhne celkové délky optické soustavy  $a_1 = 529,1$  mm, tj. včetně tloušťky  $d_0 = 1$  mm krycího skla B0, umístěného ve vzdálenosti  $e_0 = 0,5$  mm od rovinné plochy rozptylové čočky B1. Stejným způsobem je pak dosaženo skokového prodloužení optické soustavy připojením dalších přídatných členů D3, kdy je dosaženo celkové délky  $a_2 = 831,2$  mm nebo  $a_3 = 1133,3$  mm, jak je patrné z přiloženého obrázku.

Tato úprava byla již realizována a je komerčně ověřována v praxi. V případě potřeby dalšího zvýšení intenzity světla v obraze se nabízí možnost použít CCD kamery s menším rozměrem čipu. Tj. místo kamery typu 1/2" o úhlopříčce 8 mm je možno po minimálním zásahu do optické sestavy použít kameru typu 1/3" o úhlopříčce 6 mm a stejném rozlišení nebo kameru typu 1/4" o úhlopříčce 4 mm s nepatrně horším rozlišením, přičemž dochází až ke čtyřnásobné většímu osvětlení čipu.

Při alternativním pozorování plamene pro různé zorné úhly  $\alpha$  se pak mění korekční vzdálenosti  $k_i$  a vzdálenost obrazové roviny  $s_0$  v závislosti na úhlu pozorování  $\alpha$ , resp. poloměrech křivosti R2 vyměnitelné rozptylové čočky B1 podle následující tabulky 4.

Tab. 4 Korespondenční hodnoty úhlů pozorování  $\alpha$  a parametrů boroskopu

$\alpha$	R2 [mm]	$u$ [mm]	typ CCD	$k_i$ [mm]	$s_0$ [mm]
90°	2,008	8	1/2"	147	154
„	„	6	1/3"	170	135
„	„	4	1/4"	210	116

60°	3,077	8	1/2"	147	150
„	„	6	1/3"	170	132
„	„	4	1/4"	220	112
30°	5,035	8	1/2"	121	177
„	„	6	1/3"	140	151
„	„	4	1/4"	175	126

Zde  $R_2$  je poloměr křivosti rozptylky B1,  $u$  je velikost úhlopříčky čipu odpovídající typu CCD kamery,  $k_i$  jsou korekční vzdálenosti posledních dvou členů B4 a B5 prodloužení D3 a  $s_0$  je obrazová vzdálenost předmětu v nekonečnu.

## 5. ZÁVĚR

Obě varianty A i B optické soustavy boroskopu byly v několika kusech vyrobeny jako funkční vzorky a jsou ověřovány v různých typech kotlů elektráren, tepláren, spaloven a cementáren u nás, na Slovensku, v Rakousku a Německu. Podle zkušeností z praxe je tato soustava dále upravována tak, aby co nejlépe vyhovovala provozním podmínkám při regulaci teploty a zplodin procesu ho-

ření. V současné době je tudíž navržena další soustava (varianta C), která splňuje snad už všechny požadavky obsluhy v provozu různých druhů a typů kotlen tak, aby bylo možno zahájit malosériovou výrobu těchto zařízení.

Dosažené výsledky byly získány za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci podpory projektu výzkumu a vývoje 1M06002.

## Literatura

- [1] Edmund Scientific, Optics and Optical Instruments Catalog 2007, p. 336, 264, 265
- [2] B. Havelka, Geometrická optika I, Nakladatelství ČSAV Praha 1955
- [3] A. Štrba, Všeobecná fyzika 3, Optika, ALFA Bratislava, SNTL Praha 1979
- [4] Osvědčení o zápisu užitého vzoru č. 16946 ze dne 23. 10. 2006, Optická soustava boroskopu, UPV Praha (verze A)
- [5] Osvědčení o zápisu užitého vzoru č. 18243 ze dne 5. 2. 2008, Optická soustava boroskopu UPV Praha (verze B)

RNDr. Jiří Kepřt, Dr.Sc., Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, tel.: 585 631 507, e-mail: jiri.keprt@upol.cz  
Ladislav Pospíšil, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50

# 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 „π“ 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 nevěnujte 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 resumé 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.



# Formation of Flat Optical Surfaces in Polishing

Yuriy Filatov and Vladymyr Sidorko

V. Bakul Institute for Superhard Materials, the National Academy of Sciences of Ukraine,  
2 Avtozavodska str, 04074, Kiev, Ukraine  
mail: filatov@ism.kiev.ua

*Using a physico-statistical model of the formation of slime particles of workpiece material in polishing and a cluster model of wear; the formation accuracy of flat optical surfaces and the wear uniformity of the tool working layer have been analyzed. The results are given of the experimental verification of the calculated values of the polishing efficiency, tool wear rate, and the shape accuracy of the interacting tool and workpiece surfaces.*

**Keywords:** slime particles, optical surfaces, polishing, efficiency, tool wear

## 1. INTRODUCTION

At present high-efficiency polishing of precision optical surfaces is characterized by considerable achievements in the solution of technological problems related to an increase in the above surface formation accuracy and machining quality. An increase in the accuracy of precision surface formation in polishing by controlling the process kinematic and working parameters and a choice of the functionally oriented designs and characteristics of the working layers of polishing tools is attained (as applied to particular workpieces) using theoretic and experimental methods. The existing methods to calculate the intensity of the glass removal in polishing are based on the Preston (1927) equation [1–6] and may be used only with the allowance made for the function of the pressure distribution and particular assumptions and approximations that are true only for special machining conditions.

Dispersion of workpiece material particles (slime) is a stochastic process. For glass grinding the functions of the distribution of particles over the surface were theoretically and experimentally studied in [7] and for polishing they were described by the Poisson distribution law in [8]. The effect has been studied of the technological and structural parameters, physico-chemical properties of a workpiece, tool, and coolant on the efficiency and quality of polishing nonmetallic materials [9, 10]. At the same time the attempts to analyze the formation of slime particles, interaction of them in the contact zone, and removal of the workpiece material in polishing did not give grounds to derive the general regularities of the formation of surfaces of the interacting workpiece and tool.

## 2. REGULARITIES OF THE FORMATION OF FLAT SURFACES OF OPTICAL PARTS IN POLISHING

Volume  $V_1$  of the material removed in polishing as the function of the  $\rho$ ,  $z$  coordinates and time  $\tau$  is defined by the formula [11]

$$V_1(\rho, \tau) = \sum_i V_{0i} c_i(z, \rho, \tau) \Big|_{z=R_{\max}}, \quad (1)$$

where  $R_{\max}$  is the maximum height of microirregularities of the surface machined,

$$c_i(z, \rho, \tau) = n_{0i} \left[ 1 - \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\eta_i(\rho)\tau}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha(\rho)}{2\sqrt{\eta_i(\rho)}}\right)} \right] \quad (2)$$

is the concentration of  $i$ th particles of slime,  $n_{0i}$  is the concentration of  $i$ th particles on the surface,  $\alpha(\rho)$  is the coefficient, which defines the law of the movement of a tool–workpiece interface,

$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  is the error integral [12],  $V_{0i}$  is the volume of  $i$ th slime particles.

Coefficients of volumetric wear  $\eta_i(\alpha)$  depend on the slime particle size  $d_i$ , time of their contact with the tool surface  $\tau_c(\alpha)$  and are defined by  $\eta_i(\rho) = d_i^2 / 4 \beta_i^2(\rho) \tau_c(\rho)$ .

The  $\beta_i(\rho)$  values are the solutions of the equations

$$f(\beta_i(\rho)) = D(\rho, i), \quad (3)$$

where  $f(\beta_i) = \frac{e^{-\beta_i^2}}{\sqrt{\pi} \operatorname{erf}(\beta_i)}$ ,

$$D(\rho, i) = \frac{L_f}{n_{0i}(\rho) S_i} \sqrt{\frac{\lambda T \tau_c(\rho)}{p_a(\rho)}},$$

here  $p_a(\rho)$  is the distribution of the tool nominal pressure against the workpiece at circular zones of radius  $\rho$ ,  $L_f$  is the friction length of an element of the workpiece surface against the surface of the tool working layer,  $\lambda$  is the heat conductivity coefficient,  $T$  is the temperature,  $S_i$  is the surface area of the  $i$ th slime particle.

Equations (1) – (3) allow one to calculate the intensity of the workpiece material removal in polishing of nonmetallic materials as a function of the polishing time and circular zone radius, i.e. to define the shape of the workpiece surface and its variation in machining.

When analyzing the formation of optical surfaces, we use the parameters of the cluster model [10], technological parameters of the machine adjustment for two variants of the mutual arrangement of a tool and workpieces, tool design, and the known physicochemical characteristics of the workpiece and tool materials, and a coolant.

In the case that a tool is an upper element and a workpiece is a lower element, flat surfaces of K8 grade glass plates are polished on a 3ShP-350 grinding and polishing machine by lapping. The plates with diameter  $d_i = 60$  mm (7 pcs in a block with diameter  $D_s = 180$  mm) were polished by a bound cerium dioxide polisher [6, 9] of diameter  $D_t = 150$  mm having a working layer as EP1- AKVAPOL polishing elements ( $N_i = 66$  pcs) of diameter

$d_t = 10$  mm. Working and kinematic parameters of polishing were as follows: angular velocity of the workpiece rotation  $\omega_1 = 20.9$  s<sup>-1</sup>, force of the workpiece pressing against the tool  $P_0 = 250$  N, mark length  $L = 30$  mm, mark unsymmetry  $e_0 = 10$  mm. Water was used as a coolant. Density of the K8 glass  $\rho_1 = 2.52 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, the heat conductivity coefficient = 0.95 W/(mK), bonding energy = 3.9 eV (90 kcal/mole), cluster energy = 5.3 eV, number of O=Si=O fragments in a cluster = 96, Lifschitz constant  $\omega_{123} = 1.36 \times 10^{13}$  s<sup>-1</sup>, parameter of slime particle-size distribution (Poisson's distribution law) = 0.74, most likely slime particle size  $a_v = 3.2$  nm, slime particle concentration =  $1.1 \times 10^{23}$  (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>). Length of the friction of an element of the surface machined against the tool working surface  $L_f = d_g$ , element relative movement rate  $u(\rho) = \omega_1 \rho$ , time of the contact with the surface of the polishing powder grain (CeO<sub>2</sub>,  $d_g = 1$   $\mu$ m)  $\tau_c(\rho) = d_g/u(\rho)$ , temperature in the contact zone  $T = 300$  K.

The distribution of the pressing force over the workpiece circular zones is given by the equation [13, 14]

$$p_a(\rho) = \frac{2P_0 F(\varphi_k(\rho), k_1)}{\pi D_t (\rho + e_0) \varphi_k(\rho)}, \quad (4)$$

where  $F(\varphi_k(\rho), k_1)$  is an incomplete elliptic integral of the first kind,

$$k_1 = \frac{2\sqrt{\rho e_0}}{\rho + e_0} \text{ is the modulus of the integral [12],}$$

$$\varphi_k(\rho) = \begin{cases} \pi, & \rho \leq \frac{D_t}{2} - e_0 \\ \arccos \left[ \frac{\rho^2 + e_0^2 - \left(\frac{D_t}{2}\right)^2}{2\rho e_0} \right], & \frac{D_t}{2} - e_0 < \rho < \frac{D_t}{2} + e_0 \\ 0, & \rho \geq \frac{D_t}{2} + e_0 \end{cases}$$

is the function of covering.

We took into account that the average value of the maximum height of the microirregularities of the machined surface profile  $R_{max} = 0.1$   $\mu$ m, solved Eqs. (3), and found the volumetric wear coefficient values  $\eta_i(\rho)$ . On the strength of the data obtained we calculated the volumes ( $V_i$ ) of the material removed in polishing for 1 s depending on the radius of the circular zones  $\rho$  (Fig. 1). The averaged volume of the material removed  $Q_s = 1.9 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup>/s differs from the experimentally found value of the glass removal efficiency  $Q_c = 1.7 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup>/s only slightly (the linear removal  $\Delta h = 0.4$   $\mu$ m/min) in polishing under the above conditions (the calculation error  $\delta_1 = 13$  %, see table, no. 1).

With the above coordinate dependence (Fig. 1) of the material removal the shape of the polished workpiece surface is concave (a "pit"). The total nonflatness per time unit is evaluated at

$$\delta h_1 = \frac{V_1(D_s/2) - V_1(0)}{S} = -0.73 \mu\text{m} / \text{min} \quad (S \text{ is the overall area}$$

of the surfaces being polished) and a nonflatness of the surface of a workpiece polished for  $t_0 = 15$  min is of 4 to 5 of interference

fringes ( $\delta N_1 = \delta h_1 \left(\frac{d_l}{D_s}\right)^2$ ,  $t_0 = 1.2$   $\mu$ m  $N = 4.86$  of interference fringes).

The study of kinetic dependences of the material removing has shown that the volume of glass removed from the surface being polished in a circular zone of radius  $\rho$  for a second increases nonlinearly with increasing polishing time (Fig. 2,  $\rho = D_s/4$ ).

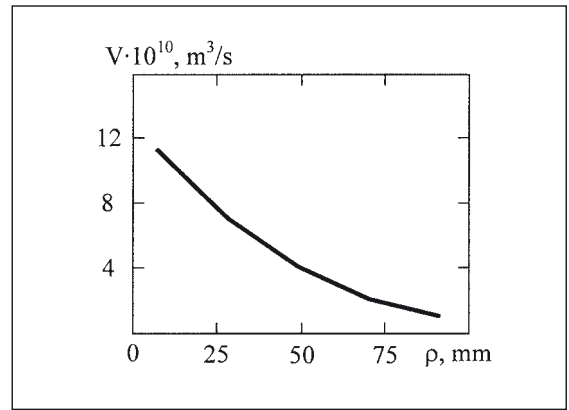


Fig. 1. Volume of the removed material vs. circular zones of radius on the workpiece surface

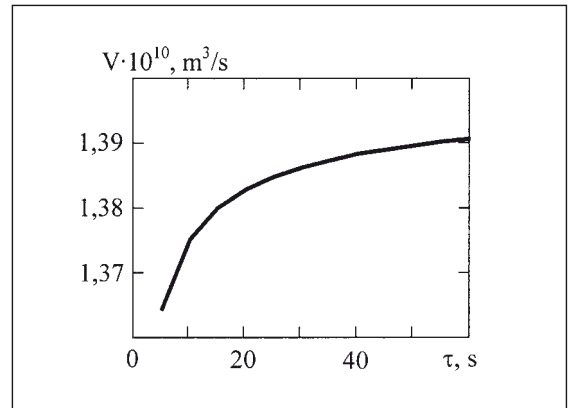


Fig. 2. Volume of the removed material vs. polishing time

To define the wear rate of the tool working layer as a function of the radius ( $r$ ) of its circular zones, the following equation derived in the framework of the physico-statistical model of the formation and removal of wear particles [11] was used:

$$V_2(r) = \frac{\xi_w}{\rho_2 S_c} p_a(r) L_2(r), \quad (5)$$

where  $\xi_w = \frac{\xi}{p_a}$  and  $\xi = \rho_2 \cdot \eta_2$  are the coefficients of respectively

the specific and mass wear,  $\rho_2$  is the density of the polishing tool (CeO<sub>2</sub>),  $L_2(r) = L_2$  is the friction length of the tool working layer element on the workpiece surface (the length of the arch at the mean radius distance of a workpiece).

Equation (5) may be rewritten as

$$V_2(r) = \frac{L_2 \eta_2(r) p_a(r)}{S_c p_a k_i(r)}, \quad (6)$$

where  $\eta_2(r)$  is the coefficient of the tool volume wear,  $S_c$  is the nominal area of the contact of the tool and workpiece surfaces (the area of the tool working layer),  $k_i(r)$  is the coefficient of the tool surface filling by the working layer (by elements of EP1-AKVAPOL),

$$p_a(r) = \frac{P_0}{\pi D_t r} \quad \text{and} \quad \bar{p}_a = \frac{2}{D_t - d_0} \int_{d_0/2}^{D_t/2} p_a(r) dr \quad (7)$$

are the distribution of the nominal force of the tool pressing against the workpiece over circular zones of radius  $r$  and its average value, respectively [13, 14].

The coefficient of the tool volume wear was found from Eq. (3) with due account of the known values of the CeO<sub>2</sub> density (polirite

polishing powder) ( $6.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), heat conductivity coefficient ( $0.1 \text{ W/(mK)}$ ), cluster energy ( $6.7 \text{ eV}$ ), number of  $\text{CeO}_2$  fragments in a cluster (117), most likely size of a wear particle ( $3.1 \text{ nm}$ ), and wear particle area ( $S_1 = 29.4 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ ). The friction length of an element of the tool working layer surface against the workpiece surface

$$L_{v2} = a_v, \text{ the rate of its relative movement, } u_2(r) = \frac{2\omega_1 r E(r, k_2)}{\pi},$$

( $E(r, k_2)$  is a complete elliptic integral of the second kind,  $k_2 = e_0/r$  is the modulus of the integral [12]), and the time of the contact  $t_c(r) = a_1/u_2(r)$ . The coefficient of the occupancy of the tool surface by its working layer, at which the tool wears uniformly, according to [13] is given by the formula  $t_c(r) = a_1/u_2(r)$ , which for the case under study can be expressed by the following approximate dependence ( $r$  in meters):

$$k_i(r) = \begin{cases} 0, & r < 0.01 \\ 0.8, & 0.01 \leq r \leq 0.02 \\ 0.66, & r > 0.02 \end{cases}$$

The calculation have shown that the averaged wear rate of the tool working layer  $V_{2s} = 2.0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  agrees well with the experimental data obtained at polishing optical parts under the above conditions ( $2.5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ , linear wear  $\Delta_s = 0.15 \text{ }\mu\text{m/min}$ , calculation error  $\delta_2 = 20 \%$ ). The tool working surface shape is convex (a "hill"), the total nonflatness for the polishing time  $t_0 = 15 \text{ min}$  is  $\delta N_2 = [V_2(D/2) - V_2(0)] \cdot t = 0.9 \text{ }\mu\text{m}$ . The coefficient of the relative wear  $f = \Delta_s / \Delta h = 0.38$ . The coefficient of the tool wear uniformity [13]

$$\sigma = \left| 1 - \frac{V_2(0)}{V_2(D_i/2)} \right| = 0.5.$$

In the case that the tool is in the lower position and the workpiece is in the upper position the regularities of the formation of flat surfaces of optical parts in polishing by bound powder tools on grinding and polishing machine by lapping differ slightly from the given above. The accuracy of the formation of flat optical surfaces and wear pattern of the working layer of the polishing tool, as in the former case, were analyzed using the cluster model of wear [10] and physico-statistical model of the formation and removal of the wear particles [11].

When solving Eqs. (1) – (3) we have taken into account that the rate of the relative movement of the tool and workpiece is given by

$$u(\rho) = \frac{2\omega_2 \rho E(\rho, k_3)}{\pi}, \text{ } (E(\rho, k_3) \text{ is the complete elliptical integral}$$

of the second kind,  $k_3 = e_0/\rho$  is the modulus of the integral,  $\omega_2$  is the angular velocity of the tool rotation), and the distribution of the pressuring force over circular zones of the workpiece is defined

$$\text{by equation } p_a(\rho) = \frac{P_0}{\pi D_s \rho} \text{ [13].}$$

To determine the wear rate of the tool working layer as a function of coordinate  $r$  of circular zones according to the Eq. (6) and to calculate the coefficient of the tool volume wear  $\eta_2(r)$ , we have taken into consideration dependences of the relative rate of the tool and workpiece movement  $u_2 = \omega_2 r$  and the distribution of the force of the workpiece pressing against the tool:

$$p_a(r) = \frac{2P_0 F(\psi_k(r), k_4)}{\pi D_s (r + e_0) \psi_k(r)}. \quad (8)$$

Here  $F(\psi_k(r), k_4)$  is the incomplete elliptical integral of the first kind,

where  $k_4 = \frac{2\sqrt{re_0}}{r + e_0}$  is the modulus of the integral,

$$\psi_k(r) = \begin{cases} \pi, & r \leq \frac{D_s}{2} - e_0 \\ \arccos \left[ \frac{r^2 + e_0^2 - \left(\frac{D_s}{2}\right)^2}{2re_0} \right], & \frac{D_s}{2} - e_0 < r < \frac{D_s}{2} + e_0 \\ 0, & r \geq \frac{D_s}{2} + e_0 \end{cases}$$

is the function of covering and  $\bar{p}_a = \frac{2}{D_i - d_0} \int_{d_0/2}^{D_i/2} p_a(r) dr$  is the mean nominal force of the tool pressing against the workpiece.

The coefficient of the occupation of the tool surface by the working layer, at which it wears uniformly in the case that the tool is the lower element and the workpiece is the upper element, according to [13] is given by

$$k_i(r) = \frac{4\psi_k(r)}{5\pi F(\psi_k(r), k_4)} \cdot \frac{r + e_0}{r},$$

which can be expressed by the following approximate formula ( $r$  in meters):

$$k_i(r) = \begin{cases} 0.43, & r < 0.03 \\ 0.25, & 0.03 \leq r \leq D_i/2 \\ 0, & r > D_i/2 \end{cases}$$

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The calculated parameters of the accuracy of the formation of optical surfaces and characteristics of wear resistance and dimensional stability of polishing tools depending on design parameters of tools and workpieces as well as on working conditions and kinematic parameters of the machine adjustment in lapping flat glass surfaces (the workpiece being the upper element) are given in the table (Nos. 2–4).

In polishing flat surfaces of optical parts of various purpose and design by tools with bonded powder the efficiency of the glass removal  $Q_s = (1.1 - 5.6) 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$  (the linear removal  $\Delta h = 0.3 - 0.4 \text{ }\mu\text{m/min}$ ) increases linearly and the wear rate of the tool working layer  $V_{2s} = (2.2 - 7.0) \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$  (the linear wear  $\Delta_s = 0.15 - 0.35 \text{ }\mu\text{m/min}$ , the coefficient of relative wear  $f = 0.38 - 1.10$ ) decreases linearly with increasing contact area of mutually rubbing surfaces of a tool and a workpiece, i.e. the number of EP1-AKVAPOL polishing elements.

Dependences of the efficiency of polishing optical parts of the K8 glass ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), wear rate of the tool working layer ( $\text{m/s}$ ), and coefficient of relative wear on the number of polishing elements on the tool working surface are approximated by the following functions:

$$\begin{pmatrix} Q_s \\ V_{2s} \\ f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,75 \cdot 10^{-12} \\ -0,3 \cdot 10^{-10} \\ -4,9 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \cdot N_t + \begin{pmatrix} 13 \cdot 10^{-12} \\ 82 \cdot 10^{-10} \\ 1,4 \end{pmatrix}.$$

The form accuracy of polished surfaces of optical parts is assessed by the value of nonflatness and is  $N = 3 - 5$  of interference rings and the coefficient of the uniformity of the tool working layer wear is  $0.09 - 0.30$ .

### CONCLUSIONS

Our studies of the regularities of the precision formation of flat surfaces of optical parts have shown that to describe coordinate dependences of the intensity of the material removal from

No	Design parameters of tools and workpieces	Technological parameters of the machine adjustment	Parameters of accuracy of the formation of the surfaces machined	Characteristics of the tool wear resistance
1.	<i>Workpiece</i> (lower element): K 8 glass, $D_s = 180$ mm, $d_1 = 60$ mm. <i>Tool</i> : $D_t = 150$ mm, $d_t = 10$ mm, $N_t = 66 - EP1$	$P_0 = 250$ N, $\omega_1 = 20.9$ s <sup>-1</sup> , $\omega_2 = 18.9$ s <sup>-1</sup> , $L = 30$ mm, $e_0 = 10$ mm, $t_0 = 15$ min, coolant – water	$Q_s = 1.9 \cdot 10^{-10}$ m <sup>3</sup> /s, $\Delta h = 0.4$ μm/min, $\delta_1 = 13$ %, $N = -4.86$ , $N_{exp} = 4-5$ of interference rings	$V_{2s} = 2.0 \cdot 10^{-9}$ m/s, $\Delta s = 0.15$ μm/min, $\delta_2 = 20$ %, $f = 0.38$ , $\delta N_2 = 0.9$ μm, $\sigma = 0.5$
2.	<i>Workpiece</i> (upper element): K8, TK14 glasses, $D_s = 350$ mm, $d_1 = 17$ mm. <i>Tool</i> : $D_t = 350$ mm, $d_t = 10$ mm, $N_t = 135 - EP1$	$P_0 = 350$ N, $\omega_1 = 8.4$ s <sup>-1</sup> , $\omega_2 = 10.5$ s <sup>-1</sup> , $L = 100$ mm, $e_0 = 20$ mm, $t_0 = 60$ min, coolant – water	$Q_s = 3.9 \cdot 10^{-10}$ m <sup>3</sup> /s, $\Delta h = 0.3$ μm/min, $\delta_1 = 19$ %, $N = -0.55$ , $N_{exp} = 1-3$ of interference rings	$V_{2s} = 4.7 \cdot 10^{-9}$ m/s, $\Delta s = 0.25$ μm/min, $\delta_2 = 12$ %, $f = 0.8$ , $\delta N_2 = 1.6$ μm, $\sigma = 0.3$
3.	<i>Workpiece</i> (upper element): K 8, TK 4 glasses, $D_s = 320$ mm, $d_1 = 15$ mm. <i>Tool</i> : $D_t = 350$ mm, $d_t = 10$ mm, $N_t = 200 - EP1$	$P_0 = 450$ N, $\omega_1 = 8.4$ s <sup>-1</sup> , $\omega_2 = 10.5$ s <sup>-1</sup> , $L = 125$ mm, $e_0 = 20$ mm, $t_0 = 60$ min, coolant – water	$Q_s = 5.6 \cdot 10^{-10}$ m <sup>3</sup> /s, $\Delta h = 0.4$ μm/min, $\delta_1 = 5$ %, $N = -0.9$ , $N_{exp} = 1-2$ of interference rings	$V_{2s} = 2.2 \cdot 10^{-9}$ m/s, $\Delta s = 0.15$ μm/min, $\delta_2 = 15$ %, $f = 0.38$ , $\delta N_2 = 1.5$ μm, $\sigma = 0.22$
4.	<i>Workpiece</i> (upper element): K108, K14 glasses, $D_s = 150$ mm, $d_1 = 17$ mm. <i>Tool</i> : $D_t = 170$ mm, $d_t = 10$ mm, $N_t = 36 - EP1$	$P_0 = 200$ N, $\omega_1 = 18.9$ s <sup>-1</sup> , $\omega_2 = 20.9$ s <sup>-1</sup> , $L = 25$ mm, $e_0 = 10$ mm, $t_0 = 30$ min, coolant – water	$Q_s = 1 \cdot 10^{-10}$ m <sup>3</sup> /s, $\Delta h = 0.3$ μm/min, $\delta_1 = 18$ %, $N = -3.56$ , $N_{exp} = 3-5$ of interference rings	$V_{2s} = 7.0 \cdot 10^{-9}$ m/s, $\Delta s = 0.35$ μm/min, $\delta_2 = 18$ %, $f = 1.2$ , $\delta N_2 = 1.1$ μm, $\sigma = 0.09$ .

the workpiece surface and wear rate of the tool working layer, which define the workpiece shape and its variation in polishing, it is advisable to use the physico-statistical model of the formation and removal of slime particles of the material machined and tool working layer as well as basic concepts of the cluster model of wear of interacting surfaces in polishing instead of the traditional solution of the Preston equation, which involves considerable difficulties in theoretico-experimental determining the technological constant.

The count of slime and tool wear particles generated during polishing, determination of their sizes, inclusion of the function of distribution over the surface, calculations of the volumetric wear coefficients of the tool and workpiece depending on the kinematic and working parameters of polishing by lapping have allowed us to study a coordinate dependence of the workpiece material removal and to compute the shape of the polished surface with a high degree of accuracy (calculation errors are below 20 %). The results of theoretical analysis of the forms of the tool and workpiece surfaces contacting in polishing are in good agreement with the experimental data. The above procedure of the calculation of the characteristics of the formation of flat surfaces of optical parts may be used both for predicting the accuracy of the form of the surface machined and developing technological processes of polishing them, i.e. the choice and function of kinematic and working parameters of the process and optimization of the tool working layer with bonded polishing powders.

## References

- [1] Preston, F. W., The theory and design of plate glass polishing machines, J. Soc. Glass Technol., Vol. 11, 1927, P. 214.
- [2] Komanduri, R., Lucca, D.A., Tani, Y., Technological advances in fine abrasive processes, Annals of the CIRP, No. 46/2, 1997, P. 545.
- [3] Oliver W. Fahnle and Hedser van Brug, Novel approaches to generate aspherical optical surfaces. Part of the SPIE Conference on Optical Manufacturing and Testing, Denver, Colorado, July 1999, SPIE, Vol. 3782, P. 170.
- [4] Fahnle, O. W., Wons, T., Koch, E., Debruyne, S., Meeder, M., Booij, S. M., and Braat, J. M., ITIRM as a tool for qualifying polishing processes, Applied Optics, Vol. 41, No. 19/1, July 2002, P. 4036.
- [5] Okumu Ouma, D., Boning, D. S., Chung, J. E., Easter, W. G., Saxena, V., Misra, S., and Crevasse, A., Characterization and modelling of oxide chemical-mechanical polishing using planarization length and pattern density concepts, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 15, No. 2, May 2002, P. 232.
- [6] Filatov, J. D., Rogov, V. V., Rublev, N. D., Drakin, I. V., Altšul'ler, V. M., Korovkin, V. P., Vychodil, M., Přesnost tvarování sférických povrchů optických součástí leštícím nástrojem "AKVAPOL". JMO, Vol. 5, 1990, P. 133.

- [7] Filatov, Yu. D., Burman, L. L., and Rogov, V. V., Laws governing the particle size distribution of dispersed glass particles, *Soviet Journal of Superhard Materials*, Vol. 11, No. 2, 1989, P. 65.
- [8] Filatov, Yu. D., Mechanism of formation of surface microrelief in machining glass, *Soviet Journal of Superhard Materials*, Vol. 13, No 5, 1991, P. 63.
- [9] Rogov, V. V., Filatov, Y. D., Kottler, W., Sobol, V. P., New technology of precision polishing of glass optics, *Optical Engineering*, Vol. 40, 2001, P. 1641.
- [10] Filatov, Yu. D., Polishing of aluminosilicate materials with bound abrasive tools, *Journal of Superhard Materials*, Vol. 23, No. 3, 2001, P. 32.
- [11] Filatov, Yu. D., Sidorko, V. I., Statistical approach to wear of nonmetallic workpiece surfaces in polishing, *Journal of Superhard Materials*, Vol. 27, No. 1, 2005, P. 53.
- [12] Janke, E., Emde, F., Lösch, F., *Tafeln höherer Funktionen*, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1960.
- [13] Filatov, Yu. D., Ensuring the accuracy of profiling flat optical surface in lapping, *Soviet Journal of Superhard Materials*, No. 4, Vol. 13, 1991, P. 62.
- [14] Filatov, Yu. D., Determination of the tool optimal shape in polishing flat optical surfaces, *Trenie i Iznos*, No. 3, Vol. 12, 1991, P. 452.

Kamil POSTAVA, David HRABOVSKÝ, Ondřej ŽIVOTSKÝ a Jaromír PIŠTORA  
Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava

## Materiálová citlivost magnetooptické elipsometrie v nanostrukturách

*V článku je diskutována materiálová citlivost magnetooptických elipsometrických metod na dílčí složky magnetických nanostruktur. Magnetooptické úhly (Kerrova rotace a elipticita) vykazují odlišnou citlivost k jednotlivým komponentám nanostruktur. Je navržena metoda separace jejich magnetooptických signálů pomocí lineární kombinace měřených magnetizačních smyček. Princip separace je ověřen modelem založeným na výpočtu odrazu elektromagnetických vln od nanosystémů a experimentálně demonstrována: (i) periodických multivrstvách obsahujících NiFe a Co ultratenké vrstvy; (ii) magneticky tvrdších nanočásticích v povrchové vrstvě amorfních pásků FeNbB; a (iii) samoorganizovaných multiferoikách na bázi Bi- a Co-feritů.*

**Klíčová slova:** magnetooptická elipsometrie, materiálová selektivita, magnetické nanostruktury

### 1. ÚVOD

Magnetooptické jevy jsou v poslední době výrazně využívány ke studiu magnetických jevů v tenkých vrstvách, jako jsou magnetická anizotropie, reverzace magnetizace, magnetická vazba mezi vrstvami a dynamika magnetizace [1]. Mezi hlavní výhody magnetooptických metod patří jejich nedestruktivní charakter, vysoká citlivost k povrchovým a ultratenkým vrstvám a možnost měřit všechny tři složky vektoru magnetizace v rámci magnetooptické vektorové magnetometrie [2, 3]. Významnou výhodou magnetooptických metod je také hloubková selektivní citlivost, která byla systematicky studována již v práci [4, 5], ve které autoři Treager a Hubert modelovali magnetooptický Kerrův jev od tenké magnetooptické vrstvy, která je ponořována do nemagnetického okolního prostředí. Prokázali tak nejen snižující se citlivost magnetooptických jevů na magnetizaci hlouběji pod povrchem vlivem absorpce, ale i odlišný průběh hloubkové citlivosti v závislosti na podmínkách měření. Separaci polárního magnetooptického jevu od kobaltových vrstev v různých hloubkách oddělených vrstvami zlata provedli Ferré [6] a Hamrle [7]. Hloubková citlivost longitudinálního Kerrova jevu ve strukturách Fe/Cr/Fe byla studována a demonstrována Nývltem [9]. Zajímavé je využití rezonančního magnetooptického jevu v oblasti měkkého X-záření [10, 11]. Navíc v rentgenové oblasti může nastavení rezonanční energie umožnit citlivost magnetického rozptylu na určitý chemický prvek [12].

V tomto článku je navrženo využití materiálové citlivosti magnetooptického Kerrova jevu na oddělení magnetooptických příspěvků od různých materiálů v systémech periodických multi-

vrstev, supermřížek a laterálních nanostruktur. Metoda je demonstrována na třech heterogenních systémech, jejichž perioda (resp. laterální rozměry) jsou mnohem menší než vlnová délka použitého světla. Prvním systémem je periodická multivrstva  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (2 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})/\text{Co}(0,8 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})]_{10}$  vykazující magnetickým polem ovlivněný přechod od slabé k silné feromagnetické vazbě [13-15]. V multivrstvě se střídají ultratenké vrstvy s magnetickou anizotropií se snadnou osou v rovině vrstvy a kolmo na ni. Jsou studovány pro jejich zajímavé fyzikální vlastnosti a také pro jejich potenciální aplikace ve spintronice a senzorech.

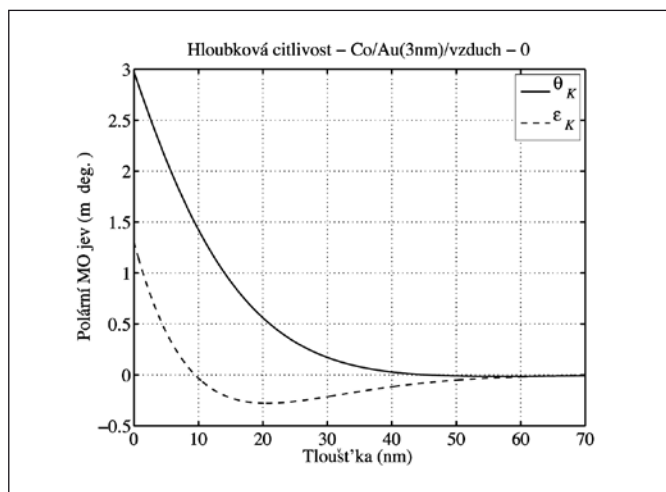
Druhým studovaným systémem jsou magneticky tvrdší krystalické částice Fe v povrchové vrstvě amorfního FeNbB pásku [16, 17]. Materiál je vyroben metodou rychlého schlazení taveniny na rotujícím válci. Vlivem gradientu teploty dochází ke krystalizaci nanočástic železa na straně pásku dotýkajícího se chlazeného kola. Výměnná interakce mezi magneticky tvrdší fází na povrchu pásku a magneticky měkkým objemovým materiálem je podstatná pro správnou funkci senzorů na bázi obří magnetoimpedance (GMI) [18].

Třetím studovaným systémem jsou multiferoika na bázi  $\text{BiFeO}_3$ – $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  samouspořádaných nanostruktur [19-21]. Požadované kombinace feromagnetických a feroelektrických vlastností a potenciálních aplikací elektricky přepisovatelných magnetických pamětí je možné získat v heterogenních samouspořádaných nanostrukturách obsahujících feromagnetický spinel a feroelektrický perovskit. Detailní studium magnetických vlastností těchto složek je klíčové pro naladění požadovaných vlastností struktury.

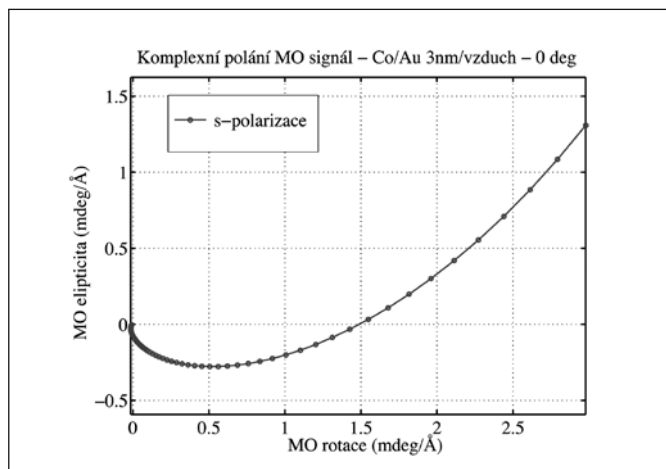
## 2. TEORIE A MODELY

Informace o magnetizaci je obsažena v komplexním magnetooptickém (MO) jevu, který může být detekován jednak pomocí Kerrovy rotace  $\theta_K$  (rotace azimutu polarizační elipsy odraženého světla) nebo pomocí Kerrovy elipticity  $\epsilon_K$ . V homogenním materiálu obě měřené veličiny nesou shodnou informaci o magnetizaci vrstvy (zde uvažujeme speciální magnetooptické konfigurace, při kterých nedochází k míchání různých magnetooptických jevů v rámci MO vektorové magnetometrie [2, 3]). Základním principem hloubkové citlivosti je odlišný průběh rotace a elipticity pocházející z různých hloubek. Odlišnosti pochází z fázových změn daných šířením světla v nemagnetických vrstvách oddělujících vrstvy magnetické nebo v horních částech magnetické vrstvy.

Obr. 1 ukazuje průběh hloubkové citlivosti komplexního polárního magnetooptického jevu  $\Phi_K = \theta_K + i\epsilon_K$  v tlusté vrstvě kobaltu. Závislost je vypočtena tak, že 0,1 nm tenká magnetooptická vrstva je ponořována do nemagnetického kobaltu. Z obrázku je zřejmé, že na rozdíl od rotace, která s hloubkou monotonně klesá, elipticita vykazuje složitější průběh a dokonce mění znaménko. Na obr. 2 je totéž znázorněno v komplexní magnetooptické rovině, kde x-ová a y-ová osa odpovídají Kerrově rotaci a elipticitě. Vzdálenější body reprezentují povrchové vrstvy a body blízké počátku představují hloubky, na které jsou vlivem absorpce světla magnetooptická měření málo citlivá. Hloubkovou selektivní citlivost magnetoop-



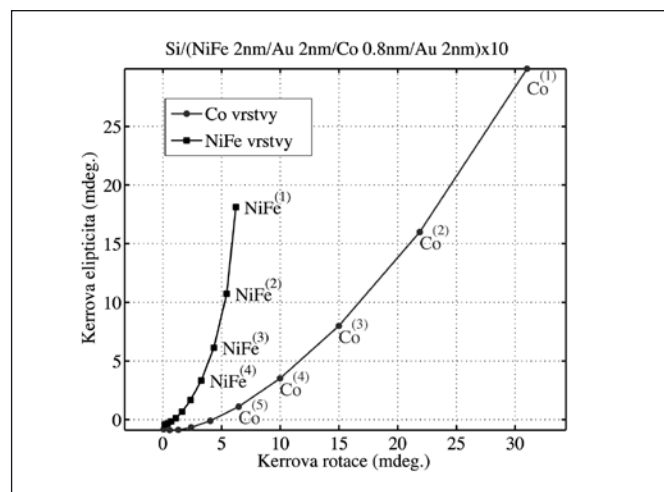
Obr. 1 Hloubková citlivost magnetooptického polárního Kerrova jevu v tlusté kobaltové vrstvě. Je vypočtena Kerrova rotace a elipticita pro kolmý dopad a vlnovou délku 640 nm



Obr. 2 Totéž jako na obr. 1 vyneseno v komplexní MO rovině. Kerrova rotace a elipticita je vynesena na x-ovou a y-ovou osu. Jednotlivé body odpovídají různým hloubkám (dále od počátku je znázorněna citlivost k povrchovým vrstvám)

tického jevu dosahujeme díky různé citlivosti rotace a elipticity k povrchovým a hlubším oblastem. To představuje různý azimutální úhel bodů reprezentujících povrchové a hloubkové části kobaltové vrstvy. Ideální hloubková selektivita je dosažena při rozdílu azimutů 90 stupňů v komplexní MO rovině.

Na obr. 3 je stejným způsobem znázorněna citlivost magnetooptických veličin k různým vrstvám v periodickém multivrstvém systému  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (2 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})/\text{Co}(0.8 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})]_{10}$ . K výpočtu bylo využito Yehova maticového formalismu [22] a optických a magnetooptických konstant z následujících zdrojů [23-27]. Je modelován polární magnetooptický jev při kolmém dopadu. Vrchní vrstvy přispívají vyššími signály a jsou znázorněny dále od počátku. Magnetooptická aditivita je obecná vlastnost magnetooptických jevů [28] a její platnost byla také ověřena modelem. Různé azimutální úhly mezi příspěvkem od dílčích vrstev v komplexním magnetooptickém signálu dávají možnost jejich separace. Mírné zakřivení křivek napovídá na odlišitelnost magnetických příspěvků v jednotlivých hloubkách. Avšak velký azimutální úhel mezi příspěvkem Co a NiFe dokazuje možnost separace magnetooptických jevů od různých materiálů, a to i v případě střídajících se vrstev Co a NiFe v periodickém systému.



Obr. 3 Příspěvky jednotlivých Co a NiFe vrstev k magnetooptickému jevu jsou znázorněny v komplexní MO rovině. Vrstvy blíže povrchu přispívají silněji k celkovému magnetooptickému jevu a jsou reprezentovány body dále od počátku. Kruhové a čtvercové body odpovídají příspěvkem od Co a NiFe vrstev. Značný azimutální úhel mezi příspěvkem Co a NiFe ukazuje možnost experimentální separace jejich příspěvků

Obdobná hloubková citlivost může být dosažena užitím proměnné polarizace dopadajícího světla (s nebo p) při šikmém úhlu dopadu pro polární a longitudinální magnetooptický Kerrův jev, nebo detekováním reálné a imaginární části transversálního Kerrova jevu. Může být využito rovněž závislosti na úhlu dopadu nebo na vlnové délce použitého světla. Následující metody pro hloubkovou magnetooptickou citlivost mohou být využity:

- (i) vhodné nastavení vlnové délky použitého světla tak, že citlivost k části vrstvy v jedné hloubce je potlačena [6],
- (ii) nastavení fáze magnetooptického elipsometru pomocí Babinet-Soleil kompenzátoru [6, 7],
- (iii) numerická lineární kombinace měřených magnetooptických signálů (např. Kerrovy rotace a elipticity), při které jsou dílčí příspěvky z různých hloubek odděleny. Výhodou této metody je možnost pečlivého výpočtu, případně odladění koeficientů lineární kombinace po ukončení měření. Tato metoda je podrobně vysvětlena a využita v tomto článku.

Uvažujme, že celkový magnetooptický signál pochází ze dvou příspěvků magnetizace v různých hloubkách nebo od různých

materiálů -  $m_1, m_2$ . Měřená Kerrova rotace  $\theta_K$  a elipticita  $\varepsilon_K$  pak mohou být vyjádřeny jako lineární kombinace těchto magnetizací:

$$\begin{aligned} \theta_K &= a_1 m_1 + a_2 m_2, \\ \varepsilon_K &= b_1 m_1 + b_2 m_2, \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $a_{1,2}, b_{1,2}$  jsou koeficienty lineárních kombinací a reprezentují váhy, s jakými se uplatňují magnetooptické jevy obou příspěvků. Rovnice (1) můžeme zapsat v kompaktním maticovém tvaru

$$\Phi = \begin{bmatrix} \theta \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{M}, \quad (2)$$

kde  $\Phi$  je vektor obsahující měřené magnetooptické veličiny a  $\mathbf{M}$  je vektor obsahující měřené magnetizace z různých hloubek (materiálů). Matice  $\mathbf{A}$  obsahuje váhové koeficienty. Jestliže jsme schopni tyto koeficienty určit (např. přímo z měřených dat z celkových signálů a další znalosti magnetizačního chování nebo z modelu), pak hledané magnetizace obou příspěvků můžeme vypočítat z maticové inverze

$$\mathbf{M} = \mathbf{A}^{-1}\Phi. \quad (3)$$

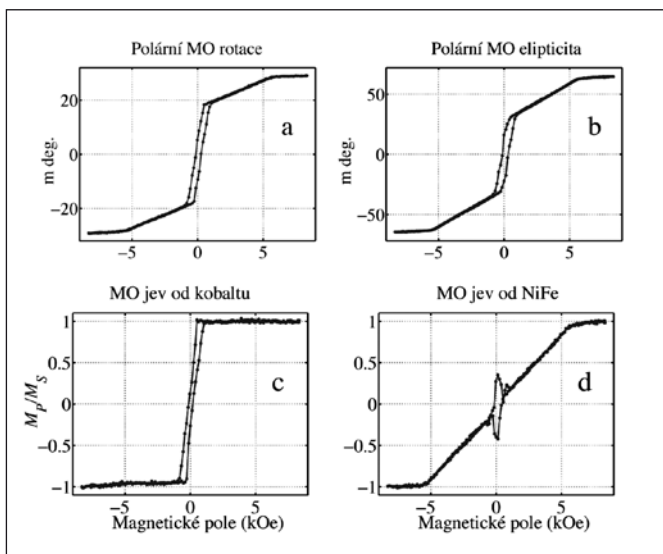
### 3. EXPERIMENTÁLNÍ DEMONSTRACE METODY

V této části je materiálová selektivní citlivost magnetooptické elipsometrie demonstrována na různých nanostrukturách.

#### 3.1. Periodická multivrstva s ultratenkými Co a NiFe vrstvami

Periodická multivrstva  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (2 \text{ nm})/\text{Au}(2\text{nm})/\text{Co}(0,8 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})]_{10}$  byla připravena v Ar atmosféře metodou magnetronového naprašování v ultravysokém vakuu na Si(100) substrátu s přirozenou oxidační vrstvou. Pomocí charakterizace s využitím gigantické magnetorezistance (GMR), magnetometrie vibrujícího vzorku (VSM), rentgenovou difrakcí a mikroskopii magnetických sil (MFM) bylo určeno, že vazba mezi NiFe a Co vrstvami pro tloušťky zlata menší než 1 nm je převážně magnetostatického původu a souvisí s doménovou strukturou v Co vrstvách. Proto nepředpokládáme vazbu mezi magnetickými momenty Co a NiFe vrstev v monodoménovém stavu.

Obr. 4a,b ukazuje magnetooptické magnetizační smyčky měřené pomocí Kerrovy rotace a elipticity. Přesto, že magnetická konfigurace byla v obou měřeních totožná, smyčky vykazují tva-



Obr. 4 Magnetooptické hysterezisní smyčky měřené pomocí Kerrovy rotace a elipticity jsou zobrazeny na obrázcích a,b. Magnetizační smyčky byly měřeny pomocí polárního Kerrova jevu na periodické multivrstvě  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (2 \text{ nm})/\text{Au}(2\text{nm})/\text{Co}(0,8 \text{ nm})/\text{Au}(2 \text{ nm})]_{10}$ . Oddělené příspěvky vrstev Co a NiFe jsou zobrazeny na obrázcích c, d

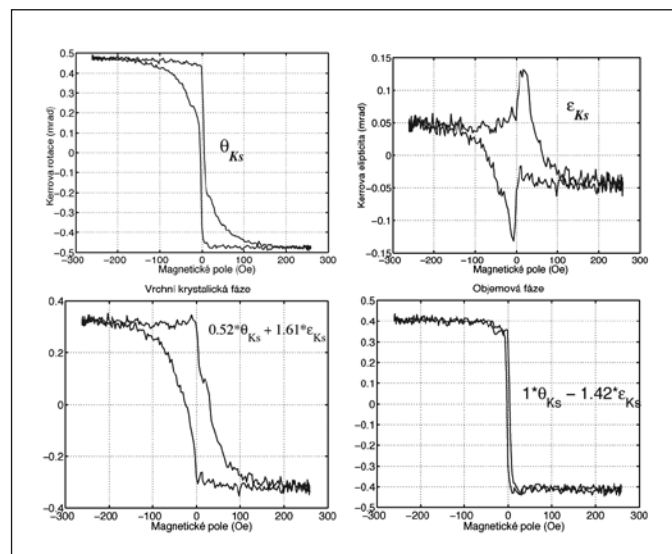
rovou odlišnost. Rozdíly pocházejí z různé materiálové citlivosti rotace a elipticity na vrstvy Co a NiFe v periodické multivrstvě. Z měřených smyček určíme komponenty matice  $\mathbf{A}$  [15], jejichž inverzí získáme váhové koeficienty pro separaci magnetooptického signálu od Co a NiFe vrstev. Užitím rovnice (3) vypočteme „bod po bodu“ odseparované magnetizační smyčky kobaltových a NiFe vrstev jako funkce vnějšího magnetického pole. Smyčky jsou na obr. 4c, d.

Získané magnetizační smyčky ukazují snadnou kolmou magnetizaci Co vrstev (obr. 4c). Magnetizace Co je kolmá k rovině vrstvy s výjimkou oblasti slabých polí, pro která vzniká typická labyrintová doménová struktura. Na druhé straně vrstvy NiFe vykazují saturaci v kolmém směru pouze pro vyšší vnější magnetická pole než přibližně 6 kOe. Pro nižší magnetická pole se polární komponenta magnetizace téměř lineárně zmenšuje, což odpovídá monodoménové koherentní rotaci magnetizace do snadného směru v rovině vrstvy. Pro nízká magnetická pole dochází k zajímavému chování a celková magnetizační komponenta se zvětšuje, což odpovídá nukleaci domén ve vrstvách kobaltu. Zmíněné chování je způsobeno nukleací NiFe doménové struktury magnetostaticky svázané s doménovou strukturou kobaltu.

#### 3.2. Magnetické nanočástice v amorfních FeNbB páscích

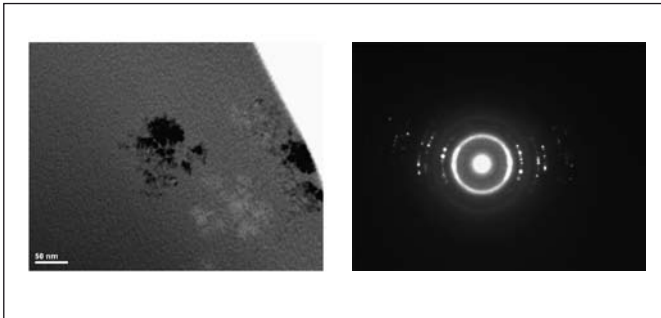
Druhým studovaným systémem jsou povrchové vrstvy amorfního  $\text{Fe}_{80,5}\text{Nb}_{6,9}\text{B}_{12,6}$  pásku. Materiál je vyroben metodou rychlého schlazení taviny na rotujícím válci. Obr. 5a, b ukazuje magnetooptické magnetizační smyčky měřené na straně pásku dotýkajícího se chlazeného kola. Bylo využito longitudinálního Kerrova jevu pro dopadající s-polarizované světlo. Magnetizační smyčky pro Kerrovu rotaci a elipticitu se značně liší ve tvaru, což napovídá o míchání dvou příspěvků různého původu a magnetické tvrdosti. Bylo ověřeno, že se nejedná o míchání různých komponent magnetizace (v tomto případě je polární magnetizace nulová). Blízko povrchu pásku se tedy nacházejí dvě magnetické fáze, přičemž citlivost Kerrovy rotace a elipticity na tyto magnetické fáze je různá.

Metodou popsanou v sekci 2 byly odseparovány příspěvky obou magnetických fází a jsou zobrazeny na obr. 5c,d. Magneticky tvrdší fáze (obr. 5c) zřejmě odpovídá vykrystalizovanému železu na povrchu pásku, zatímco magneticky měkká fáze vykazuje velmi nízké koercitivní pole a blíží se amorfnímu objemovému materiálu pásku. Podobná magnetizační křivka byla naměřena po odleštění



Obr. 5 Magnetooptické hysterezisní smyčky měřené pomocí longitudinálního Kerrova rotace a elipticity pro dopadající s-polarizované světlo jsou zobrazeny na obrázcích a,b. Oddělené příspěvky vrstev tvrdší krystalické Fe fáze a magneticky měkké FeNbB objemové fáze jsou zobrazeny na obrázcích c, d

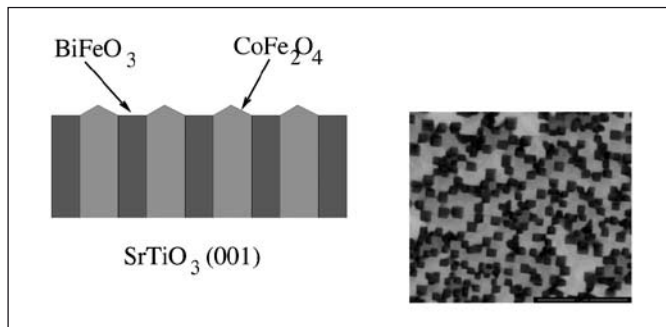
povrchové vrstvy pásku. Hypotéza existence magneticky tvrdé fáze na povrchu byla prokázána pomocí transmisní elektronové mikroskopie (TEM). Obr. 6a ukazuje světlé pole TEM, kde jsou patrná vykrystalizovaná fáze v typických rozměrech zrn asi 100 nm. Rentgenová difrakce z tohoto místa ukazuje typickou (200) bcc Fe strukturu na pozadí amorfni fáze, jak je patrné z obr. 6b.



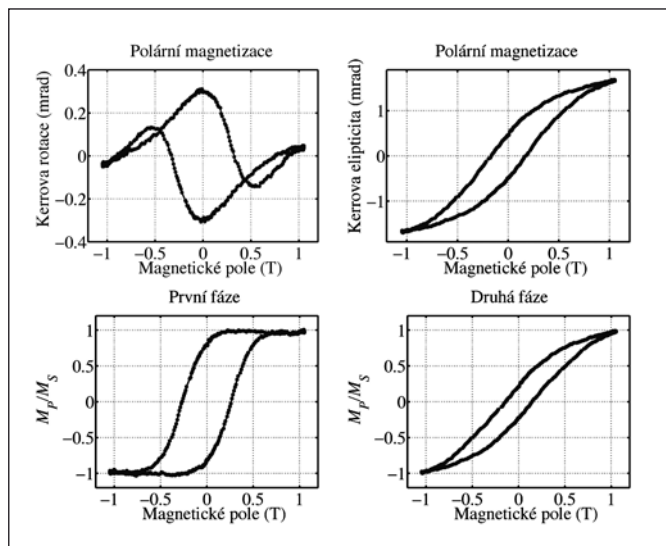
Obr. 6 Krystalická fáze v blízkosti povrchu FeNbB pásku je pozorována ve světlém poli TEM. Krystalickou strukturu zrn ukazuje rentgenová difrakce v této oblasti

### 3.3. Samoorganizovaná multiferoika na bázi Bi- a Co-feritů

Třetí studovanou nanostrukturou je multiferoikum na bázi  $\text{BiFeO}_3 - \text{CoFe}_2\text{O}_4$ . Tato samospořádaná nanostruktura byla připravena na  $\text{SrTiO}_3$  (001) substrátu metodou pulsní laserové depozice KrF laseru s opakovací frekvencí 5 Hz. Teplota substrátu



Obr. 7 Samospořádaná nanostruktura sloupců  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  v matici  $\text{BiFeO}_3$ . Povrch vzorku připraveného při teplotě  $625^\circ\text{C}$



Obr. 8 Magnetooptické smyčky vzorku  $\text{BiFeO}_3 - \text{CoFe}_2\text{O}_4$  připraveného při teplotě  $625^\circ\text{C}$  měřena polární Kerrovou rotací a elipticitou. Odseparované magnetizační smyčky dvou magnetických fází v nanostruktuře

byla  $625^\circ\text{C}$  a získaná tloušťka kompozitní vrstvy asi 100 nm. Obr. 7 schematicky ukazuje strukturu vzorku a jeho obrázek povrchu pořízený skenovací elektronovou mikroskopií se zpětně rozptýlenými polem emitovanými elektrony (FESEM).

Obr. 8 ukazuje naměřené magnetooptické smyčky získané pomocí polární Kerrovou rotace a elipticity. Smyčky vykazují velmi odlišný tvar, což napovídá mícháním magnetooptických příspěvků různých fází. Geometrie experimentální konfigurace vylučuje přítomnost longitudinálního Kerrova jevu. Metodou popsanou v tomto článku byly odseparovány příspěvky dvou magnetických fází a jsou zobrazeny na obr. 8. Možnost separace magnetooptických příspěvků z nanostruktur s laterálními rozměry mnohem menšími než vlnová délka byly podpořeny modelem efektivního prostředí (EMA) [21]. První magnetická fáze představuje částice Co-feritu, kdežto druhá magnetická fáze může být vysvětlena jako Bi-ferit s nedostatkem kyslíku nebo magnetickou fází oxidu železa.

## 4. ZÁVĚR

Selektivní materiálová citlivost magnetooptické elipsometrie byla teoreticky popsána, modelována a experimentálně prokázána. Možnost separace magnetooptických příspěvků od heterogenních nanostruktur pochází z odlišných optických a magnetooptických parametrů různých materiálů. Prezentovaná metoda separace je obecná a je použitelná pro studium různých periodických systémů, nanostruktur a nanokompozitů pomocí magnetooptických jevů [15, 21, 29].

## Poděkování

Autoři článku by chtěli poděkovat spolupracujícím laboratořím za přípravu vzorků - periodické multivrstvy FeNi, Co: F. Stobiecki, B. Szymanski, M. Urbaniak (Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Polsko) a A. Maziewski, A. Stupakiewicz, P. Mazalski (Laboratory of Magnetism, University of Bialystok, Polsko); amorfni FeNbB pásky: L. Kraus (Fyzikální ústav AV ČR, Praha), P. Švec, D. Janičkovič (Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, Bratislava), samoorganizované nanostruktury na bázi Bi- a Co-feritů: N. Dix, R. Muralidharan, J. M. Caicedo, F. Sánchez, J. Fontcuberta (Institut de Ciencia de Materials de Barcelona - CSIC, Campus UAB, Španělsko).

*Práce vznikla za finanční podpory projektů: NANOMAG-LAB projekt (2004-003177), KAN 400100653 projekt GAAV a výzkumného záměru MSM6198910016.*

## Literatura

- [1] Z. Q. Qiu, S. D. Bader. Surface magneto-optic Kerr effect (SMOKE). *J. Magn. Magn. Mater* 200, 664–678, (1999).
- [2] Š. Višňovský, R. Lopusník, M. Bauer, J. Bok, J. Rassbender, B. Hillebrands. Magneto-optic ellipsometry in multilayers at arbitrary magnetization. *Opt. Express* 9, 121–135, (2001).
- [3] K. Postava, J. Pištora, T. Yamaguchi. Magneto-optic vector magnetometry for sensor applications. *Sens. Actuators A*, 110, 242–246, (2004).
- [4] G. Traeger, L. Wenzel, A. Hubert. Computer experiments on the information depth and the figure of merit in magneto-optics. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 131, 201–227, (1992).
- [5] A. Hubert, G. Traeger. Magneto-optical sensitivity functions of thin-film systems. *J. Magn. Magn. Mater.* 124, 185–202, (1993).
- [6] J. Ferré, P. Meyer, M. Nývlt, Š. Višňovský, D. Renard. Magneto-optic depth sensitivity in a simple ultrathin film structure. *J. Magn. Magn. Mater.* 165, 92–95, (1997).



- [7] J. Hamrle, J. Ferré, M. Nývlt, Š. Višňovský. In-depth resolution of the magneto-optical Kerr effect in ferromagnetic multilayers. *Phys. Rev. B*, 66, 224423, (2002).
- [8] L. C. Sampaio, J. Hamrle, A. Mougin, J. Ferré, F. Garcia, F. Fetta, B. Dieny, A. Brun. In-depth selectivity of the magnetic second-harmonic generation of light in a multilayer structure. *Phys. Rev. B* 70, 104403, (2004).
- [9] M. Nývlt, M. Przybylski, J. Grabowski, J. Kirschner. Magneto-optical additivity in ferromagnetic bilayers separated by nonferromagnetic spacers. *J. Appl. Phys.* 98, 033516, (2005).
- [10] Ki-Suk Lee, Dae-Eun Jeong, Sang-Koog Kim, J. B. Kortright. Soft x-ray resonant magneto-optical Kerr effect as a depth-sensitive probe of magnetic heterogeneity: A simulation approach. *J. Appl. Phys.* 97, 083519, (2005).
- [11] Sang-Koog Kim, Ki-Suk Lee, J. B. Kortright, Sung-Chul Shin. Soft x-ray resonant Kerr rotation measurement and simulation of element-resolved and interface-sensitive magnetization reversals in a NiFe/FeMn/Co trilayer structure. *Appl. Phys. Lett.* 86, 102502, (2005).
- [12] F. Stobiecki, M. Urbaniak, B. Szymanski, J. Dubowik, P. Kuswik, M. Schmidt, T. Weis, D. Engel, D. Lengemann, A. Ehresmann, I. Sveklo, A. Maziewski. Magnetic field induced transition from weak to strong ferromagnetic coupling in NiFe/Au/Co/Au multilayers. *Appl. Phys. Lett.* 92, 012511, (2008).
- [13] M. Urbaniak, F. Stobiecki, B. Szymanski, A. Ehresmann, A. Maziewski, M. Tekielak. Magnetic and magnetoresistive properties of NiFe/Au/Co/Au multilayers with perpendicular anisotropy of Co layers. *J. Appl. Phys.* 101, 013905, (2007).
- [14] M. Urbaniak, F. Stobiecki, B. Szymanski, M. Kopcewicz. Mossbauer and giant magnetoresistance effect study of magnetic structures in NiFe/Au/Co/Au multilayers with perpendicular anisotropy of Co layers. *J. Phys.: Condens. Matter* 20, 085208, (2008).
- [15] K. Postava, I. Sveklo, M. Tekielak, P. Mazalski, A. Maziewski, A. Stupakiewicz, M. Urbaniak, B. Szymanski, F. Stobiecki. Material selective sensitivity of magneto-optical Kerr effect in NiFe/Au/Co/Au periodic multilayers, *IEEE Trans. Magn.* 44 3261-3264 (2008).
- [16] O. Životský, K. Postava and K. Hrabovský, A. Hendrych, J. Pištora, L. Kraus, Depth-sensitive characterization of surface magnetic properties of as-quenched FeNbB ribbons, *Appl. Surf. Sci.* 255 (2008) 3322-3327.
- [17] O. Životský, L. Kraus, K. Postava, K. Barčová, J. Pištora, Y. Jirásková, J. Juraszek, J. Teillet, P. Švec, D. Janičkovič. Surface and bulk magnetic properties of as-quenched FeNbB ribbons, *J. Magn. Magn. Mater.* 320 1535–1540, (2008).
- [18] L. Kraus, O. Životský, K. Postava, P. Švec, D. Janičkovič. Exchange bias in surface-crystalline Fe-Nb-B ribbons, *IEEE Trans. Magn.* 44 3875-3878 (2008).
- [19] F. Zavaliche, T. Zhao, H. Zheng, F. Straub, M. P. Cruz, P.-L. Yang, D. Hao, R. Ramesh, *Nano Lett.* 7, 1586 (2007).
- [20] R. Muralidharan, N. Dix, V. Skumryev, M. Varela, F. Sánchez, and J. Fontcuberta, *J. Appl. Phys.* 103, 07E301 (2008).
- [21] K. Postava, D. Hrabovsky, O. Zivotsky, J. Pistora, N. Dix, R. Muralidharan, J. M. Caicedo, F. Sanchez, J. Fontcuberta, Magneto-optic material selectivity in self-assembled Bi-FeO<sub>3</sub>-CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> biferroic nanostructures, *J. Appl. Phys.* 105, 07C124 (2009).
- [22] Š. Višňovský. Optics in magnetic multilayers and nanostructures. CRC Press, Taylor & Francis, 2006.
- [23] P. B. Johnson, R. W. Christy. Optical constants of transition metals: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, and Pd. *Phys. Rev. B* 9, 5056–5070, (1974).
- [24] Š. Višňovský, M. Nývlt, V. Prosser, J. Ferré, G. Pénissard, D. Renard, G. Sczigel. Magneto-optical effects in Au/Co/Au ultrathin film sandwiches. *J. Magn. Magn. Mater.*, 128, 179–189 (1993).
- [25] Š. Višňovský, M. Nývlt, V. Pařízek, P. Kiehar, V. Prosser, R. Krishnan. Magneto-optical studies of Pt/Co multilayers and Pt-Co alloy thin films. *IEEE Trans. Magn.*, 29, 3390–3392, (1993).
- [26] G. Neuber, R. Rauer, J. Kunze, T. Korn, C. Pels, G. Meier, U. Merkt, J. Backstrom, M. Rubhausen. Temperature-dependent spectral generalized magneto-optical ellipsometry. *Appl. Phys. Lett.*, 83, 4509–4511, (2003).
- [27] R. Rauer, G. Neuber, J. Kunze, J. Backstrom, M. Rubhausen. Temperature-dependent spectral generalized magneto-optical ellipsometry for ferromagnetic compounds. *Rev. Sci. Instrum.*, 76, 023910, (2005).
- [28] R. Atkinson and P. H. Lissberger. Correct formulation of first-order magneto-optical effects in multilayer thin films in terms of characteristic matrices and derivation of a related superposition principle. *J. Magn. Magn. Mater.*, 118, 271–277, (1993).
- [29] P. Vavassori, V. Bonanni, A. Busato, D. Bisero, G. Gubbiotti and A. O. Adeyeye, S. Goolaup, N. Singh, C. Spezzani, M. Sacchi. Magnetostatic and exchange coupling in the magnetization reversal of trilayer nanodots. *J. Phys. D: Appl. Phys* 41, 134014, (2008).

Doc. Dr. Mgr. Kamil Postava, tel.: 597 323 104  
 Ing. David Hrabovský, Ph.D., tel.: 597 323 104  
 Ing. Ondřej Životský, tel.: 597 323 361  
 Prof. Ing. Jaromír Pištora, CSc., tel.: 597 323 129  
 Institut fyziky, VŠB – TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba

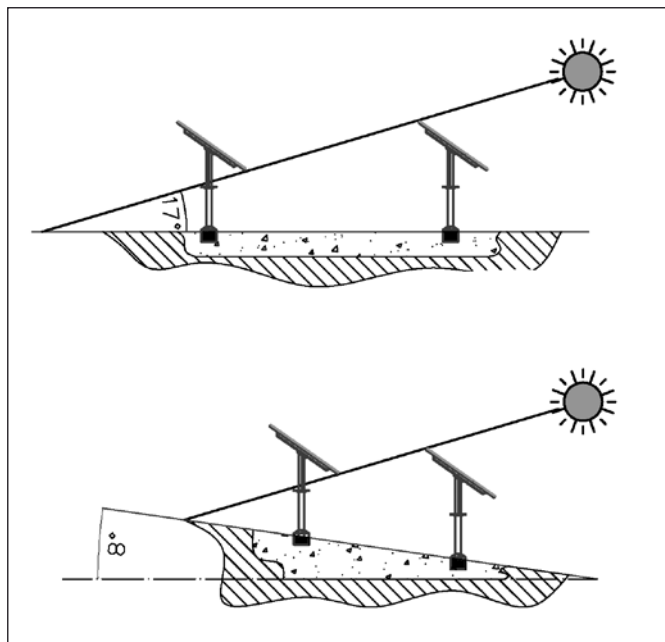
## Fotovoltaická elektrárna v Rokytnici nad Jizerou

### ÚVOD

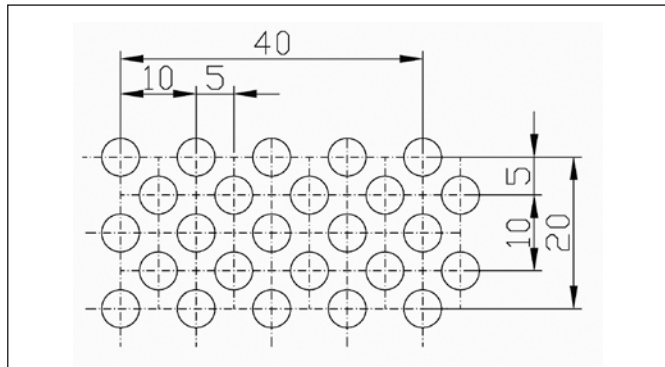
Solární fotovoltaické (PV) elektrárny různých konstrukcí byly v posledních letech postaveny v řadě lokalit [1]. Naše legislativa k tomu vytvořila příznivé podmínky dotační politikou, podobně učinily i některé další státy EU. V tomto článku popíšeme konstrukci PV elektrárny, kterou jsme realizovali v horské oblasti v Rokytnici nad Jizerou a uvedeme výsledky za 1. rok jejího provozu.

### POPIS KONSTRUKCE PV ELEKTRÁRNY

Elektrárna byla koncipována jako nízkoztrátová, celkové ztráty (např. v měničích, kabelech apod.) nepřekročí 7 %. Rozloha pozemku elektrárny je 1200 m<sup>2</sup>. Byly použity PV panely SunTech 180 s nominálním výkonem 180 W<sub>p</sub>. Pohyblivé stojany PV panelů byly situovány na jižní svah se sklonem přibližně 8°. V praxi to znamená, že v porovnání s vodorovným pozemkem lze na dvanácti metrech při sklonu 8° přiblížit pilíře o 1 m (viz obr. 1).



Obr. 1 Vliv sklonu pozemku na stínění konstrukcí



Obr. 2 Rozmístění konstrukcí na pozemku elektrárny

Plocha pozemku je tak efektivněji využita. Sklon pozemku tedy ovlivňuje efektivitu jeho využití, což je důležitá informace pro investory. Použití otočných stojanů umožnilo maximalizovat využití plochy elektrárny z hlediska množství vyrobené elektrické energie. Projekt situoval pohyblivé stojany PV panelů do pěti řad křížovou technologií (viz obr. 2).

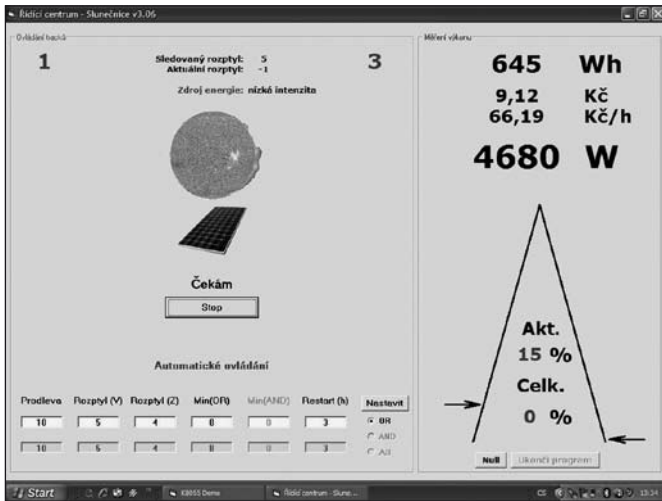
Konstrukce byla unikátně navržena jako jednoosý automatický pohyblivý PV systém složený z 25 pohyblivých stojanů s možností ručního nastavení sklonu rotační osy (viz obr. 3). Rotační osy jsou orientovány se sklonem k jihu, ruční nastavení úhlu sklonu umožňuje regulovat sklon rotační osy v rozmezí 20° – 55° od vodorovné roviny, regulace sklonu je vhodná při změně ročních období, s čímž souvisí i změna dráhy Slunce po obloze. Mechanismus nastavení sklonu rotační osy je řešen pomocí závitové tyče, která je součástí ocelové konstrukce. Systém automaticky sleduje Slunce, princip sledování je popsán níže. Otočný systém je poháněn stejnosměrným motorem o příkonu 110 W, který je napájen přímo z vlastní PV elektrárny. Tento motor je situován na střed elektrárny, odkud pohání dvě převodovky. Síla motoru se převádí pomocí řetězů a lan na ostatní části konstrukce. Jedná se o jednoduché řešení sledování slunce, které navíc není náročné na údržbu. Náklady na údržbu byly tak minimalizovány díky použití této technologie.



Obr. 3 Pohled na pohyblivé stojany s automatickým sledováním Slunce na pozemku PV elektrárny

### SLEDOVÁNÍ SLUNCE

Řídicí systém je ovládán speciálně navrženým softwarem přes PC a je umístěn v rozvodně. Tento software zpracovává data z elektrárny a též umožňuje řízení pohonu motorem. Řídicí systém vyhodnocuje data ze dvou čidel. Čidla představují malé PV panely 3 W<sub>p</sub> směřující na opačné strany (východ/západ). Elektronika vyhodnocuje poměr jejich okamžitých výkonů, respektive intenzity ozáření (východ/západ). Překročí-li hodnota tohoto poměru stanovenou mez, dojde k napájení motoru a přes systém převodovek dojde i k následnému natočení všech pohyblivých stojanů.



Obr. 4 Grafický výstup software „Slunečnice“ verze 3.06

Software „Slunečnice“ umožňuje aktuální sledování a zaznamenávání okamžitého výkonu s časovou prodlevou 10 s (viz levá strana výkonové pyramidy na obr. 4). Pravá strana představuje aktuální denní výkon. Více informací o softwaru uvádí např. odkaz [2].

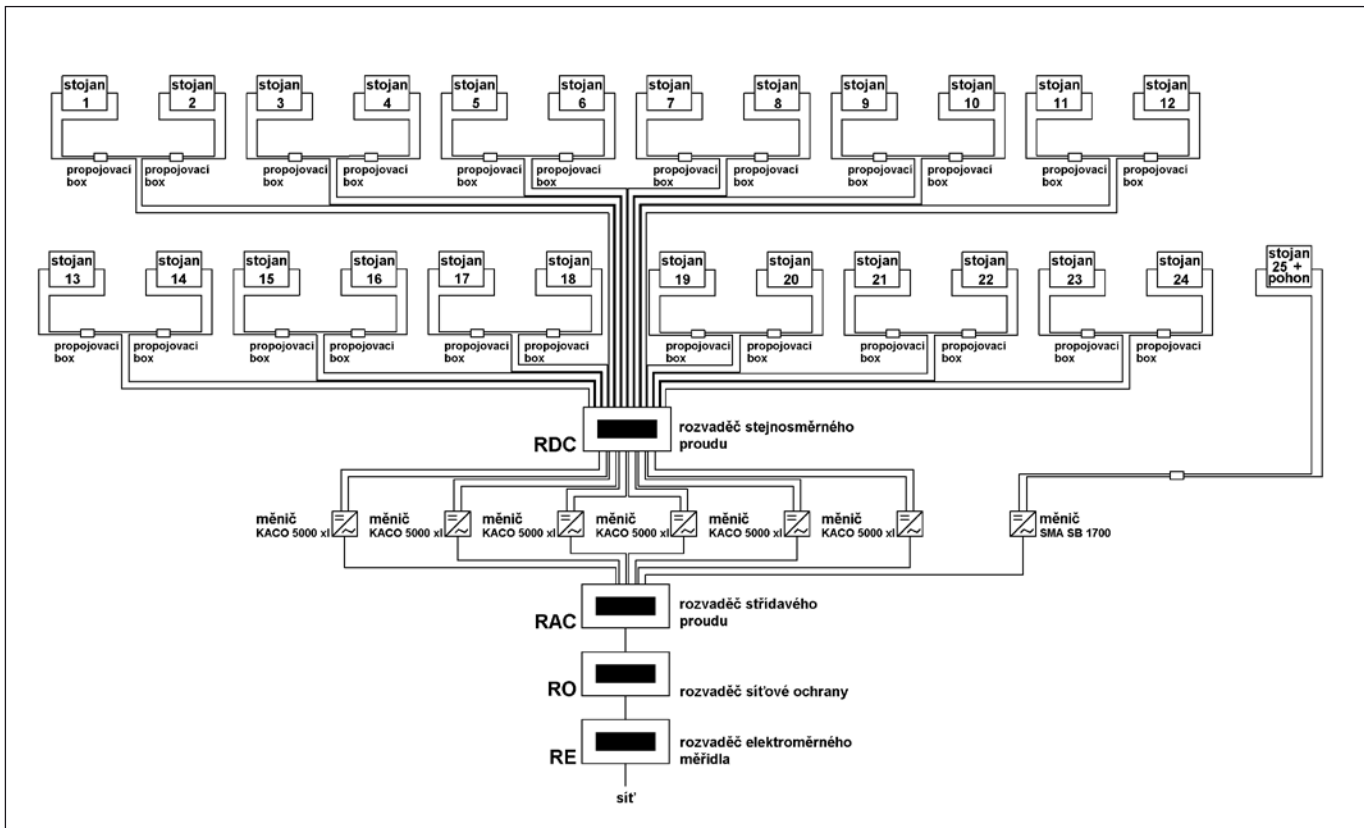
### SCHÉMA ZAPOJENÍ

Schéma zapojení PV elektrárny je patrné z obr. 5. Na každé z 24 stejných konstrukcí pohyblivých stojanů je vždy umístěno 7 PV panelů, které jsou zapojeny do série. Vždy 4 tyto konstrukce jsou propojeny sérioparalelně (viz schéma zapojení). Tak vzniklo 6 stejně zapojených sekcí. Z nich je sveden stejnosměrný proud přes propojovací box do rozvaděče stejnosměrného proudu (RDC) a odtud je rozveden k 6 elektronickým síťovým měničům (typ KACO 5000 xl). Poslední 25. konstrukce je odlišná. Obsahuje 8

PV panelů zapojených sériově a zmíněnou pohonnou jednotku. Tvoří tak 7. nezávislou sekci, která a je připojena k samostatnému měničů 1,7 kW (typ SMA SB 1700). Výstupy z měničů jsou svedeny do rozvaděče střídavého proudu. Dále je proud veden přes rozvaděč síťových ochran a elektroměrné měřidlo do rozvodné sítě. Nominální výkon celé elektrárny je tedy 31,68 kW<sub>p</sub>.

### VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsíčních cyklech během 1. roku provozu PV elektrárny jsou uvedeny v tab. 1. Ve sloupci „předpoklad“ je výroba predikována v mezinárodně uznávaném programu PVGIS. Program však predikuje hodnoty pro PV systém s optimálním dvousým sledováním Slunce, u naší konstrukce PV elektrárny se tedy o trochu nižší hodnota vyrobené elektrické energie může předpokládat, ale podle našich odhadů několikeré ruční nastavení sklonu rotační osy během roku má téměř stejný efekt jako optimální dvousé sledování. Průmět plochy PV panelů do roviny kolmé ke směru přímého slunečního záření je dán kosínem úhlu dopadu a ten se pro malé úhly liší od 1 jen nepatrně. Odchylku cca 6 % od předpokládaného množství vyrobené energie bychom v tomto případě přisoudili spíše meziročním fluktuacím dopadajícího slunečního záření na povrch země vlivem počasí. Data v zimních měsících vypadají jako méně stabilní, ale při nižších hodnotách množství vyrobené elektrické energie se absolutní hodnoty odchylek projevují vyššími hodnotami v procentech. Propad výroby v zimních měsících oproti předpokladu způsobila hlavně nepřízeň počasí. Elektrárna se nachází v horské oblasti, v níž je vyšší výskyt mlhy a sněhových srážek. Přesto naopak leden 2009 byl nadnormálně slunečný a chladný, což se projevilo navýšením výroby oproti předpokladu o 9 %. V letních měsících bylo vyrobeno o něco více elektrické energie oproti předpokladu. I to mohly způsobit místní podmínky, neboť v horské oblasti bývá chladněji a větrno, PV panely se lépe chladí, což trochu zvyšuje účinnost fotovoltaické přeměny energie.



Obr. 5 Blokové schéma elektrického zapojení PV elektrárny

Tab. 1 Skutečná a předpokládaná výroba elektrické energie v jednotlivých měsících

měsíc	výroba [MWh]	předpoklad [MWh]	rozdíl [MWh]	rozdíl [%]
leden 2009	1,395	1,28	0,115	8,98
únor 2009	1,759	2,03	-0,271	-13,35
březen 2008	2,470	3,18	-0,710	-22,33
duben 2008	3,445	4,17	-0,725	-17,39
květen 2008	5,226	5,19	0,036	0,69
červen 2008	4,773	4,59	0,183	3,99
červenec 2008	4,666	5,03	-0,364	-7,24
srpen 2008	4,627	4,56	0,067	1,47
září 2008	3,465	3,28	0,185	5,64
říjen 2008	2,213	2,85	-0,637	-22,35
listopad 2008	0,854	1,20	-0,346	-28,83
prosinec 2008	0,846	0,87	-0,019	-2,20
<b>celkem</b>	<b>35,739</b>	<b>38,23</b>	<b>-2,486</b>	<b>-6,50</b>

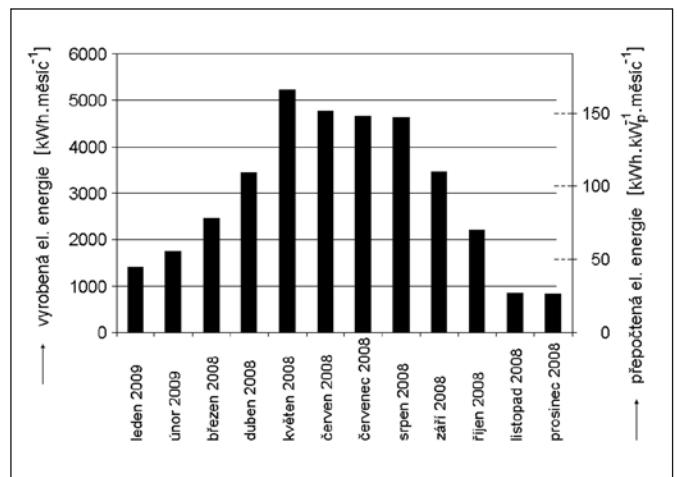
## ZÁVĚR

Během celého 1. roku provozu elektrárna fungovala spolehlivě, konstrukce PV systému se tedy v reálném provozu osvědčila.

Elektrárna vyrobila za 1. rok provozu od března 2008 do února 2009 celkem 35,74 MWh elektrické energie, tj. v přepočtu 1128,1 kWh/kW<sub>p</sub>. To je o 2,49 MWh, resp. 6,5 % méně, než byl původní předpoklad. Grafický průběh výroby během sledovaného období je na obr. 6.

Průměrná měsíční tržba za vyrobenou elektrickou energii z uvedené PV elektrárny o nominálním výkonu 31,68 kW<sub>p</sub> byla 42112 Kč/měsíc (viz tab. 2).

Data jsou sledována v rámci výzkumného záměru MSM 6046070905.



Obr. 6 Vyrobena elektrická energie za 1. rok provozu PV elektrárny

Tab. 2 Celková výroba a měsíční tržba ve sledovaném období 1. roku provozu

výroba celkem [MWh]	35,74
výroba - předpoklad [MWh]	38,23
průměrná tržba [Kč/měsíc]	42112
předpokládaná průměrná tržba [Kč/měsíc]	45042

## Literatura

- [1] Libra, M., Poulek, V., *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*, monografie, ILSA, Praha, (2009), ISBN 978-80-904311-0-2
- [2] www.fovo.eu (30. 4. 2009)

Ing. Václav Beránek, Solar Systems, s.r.o., Na slunci 592, 250 64 Hovorčovice

prof. Ing. Martin Libra, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6

## EuroBLECH 2010

Nová brožura pro vystavovatele na 21. mezinárodním veletrhu technologie zpracování plechu EuroBLECH 2010 je nyní k dispozici od organizátorů výstavy, firmy Mack Brooks Exhibitions. EuroBLECH 2010 se bude konat 26. – 30. října 2010 v Hannoveru v Německu. Brožura pro vystavovatele je vydávána v pěti jazycích a obsahuje důležité informace pro společnosti, které mají zájem o účast na předním mezinárodním veletrhu v oboru zpracování plechu. Rezervace stánků již započala. Výstava bude opět umístěna v osmi halách hannoverského výstaviště: haly 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 a 27. Doporučujeme, abyste si prostor pro stánek rezervovali co nejdříve, zvláště pokud ho chcete mít v příslušném technologickém sektoru.

Rozvržení plochy veletrhu odráží kompletní řetězec technologie zpracování plechu a zahrnuje 15 výrobních technologií: plech, polotovary a konečné produkty, manipulaci, separace, formování, technologie zpracování plechu, zpracování trubek a dílčích celků,

spojování a svařování, technologie povrchové úpravy, nástrojářská technologie, řízení procesů a zajištění jakosti, aplikace CAD/CAM, výrobní zařízení, bezpečnost práce a výzkum a vývoj.

Společnosti, které mají zájem o vystavování na EuroBLECH 2010, najdou o veletrhu podrobné informace na nově navržených, vícejazyčných webových stránkách veletrhu [www.euroblech.com](http://www.euroblech.com). Zde si také můžete objednat online brožuru pro vystavovatele. K nahlednutí jsou také fotografie a video z předcházejícího veletrhu.

Susanne Neuner, ředitelka pro PR

Tisková kancelář EuroBLECH

Mack Brooks Exhibitions Ltd

Romeland House, Romeland Hill, St Albans, Herts AL3 4ET,

Spojené království

Tel.: +44(0)1727 814400, Fax: +44(0)1727 814401,

E-mail: [press@mackbrooks.co.uk](mailto:press@mackbrooks.co.uk)

# Modelování indexu lomu solného roztoku užitím SPR metody

*V příspěvku jsou shrnuty některé výsledky získané při testování v poslední době připraveného matematického modelu pro inverzní optické skaterometrické problémy. Výpočet je založen na maticovém modelu planární multivrstvy a realizován v kódu programu Matlab s využitím Nelder-Meadova algoritmu pro nelineární regresi.*

**Klíčová slova:** fitování indexu lomu, Kretschmannova konfigurace, statistické testy

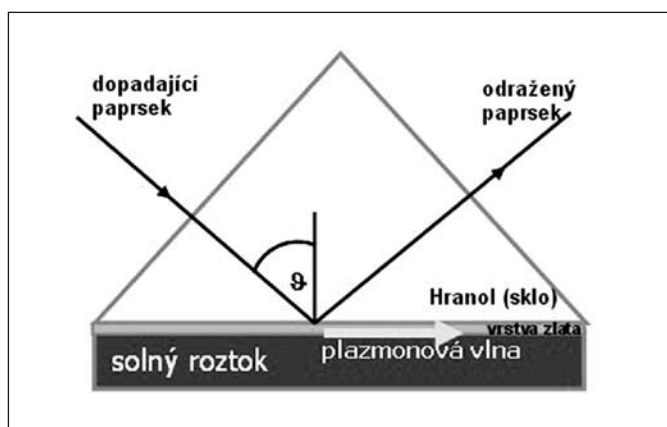
## 1. ÚVOD

Vývoj nových materiálů určených pro specifické aplikace například v optice, senzorce a nanotechnologiích vede ke stále náročnějším požadavkům na jejich diagnostiku, mimo jiné při stanovení optických funkcí. Jednou z cest k jejich naplnění je fitování požadovaných parametrů na základě experimentálních dat vhodnou matematickou metodou.

V tomto příspěvku se zabýváme stanovením indexu lomu solného roztoku použitím SPR (surface plasmon resonance) techniky, která náleží k nejefektivnějším metodám stanovení optických funkcí materiálů. Na rozdíl od dosud publikovaných prací jsme uvažovali solný roztok jako ztrátové prostředí, a proto byla fitována nejen reflexi a excitaci plazmonové vlny, jejíž parametry jsou ovlivněny koncentrací solného roztoku. Podmínkou je, aby dopadající svazek byl lineárně p-polarizován.

Jako vstupní zdroj dat jsme použili výsledky měření reflektivity, které bylo realizováno na Institutu fyziky VŠB-TU Ostrava. Experimentálním uspořádáním pro ATR (attenuated total reflectivity) metodu s vazebním hranolem byla v řešeném případě Kretschmannova konfigurace (obr. 1). K vazebnímu hranolu (sklo SF10) přiléhá na jedné ze stěn, opatřené nanovrstvou zlata (44 nm), prostředí se solným roztokem NaCl. Na rozhraní hranol – Au dochází k totální reflexi a excitaci plazmonové vlny, jejíž parametry jsou ovlivněny koncentrací solného roztoku. Podmínkou je, aby dopadající svazek byl lineárně p-polarizován.

Získané výsledky a jejich analýza (kap. 4) dovolují považovat zvolený přístup za perspektivní pro další aplikace.



Obr. 1 Kretschmanova konfigurace

## 2. PŘÍMÁ ÚLOHA

Uvažujeme monochromatický světelný svazek o vlnové délce  $\lambda$  a úhlové frekvenci  $\omega$  v homogenním prostředí charakterizovaném relativní permitivitou  $\epsilon$  a relativní permeabilitou  $\mu = 1$  pro magneticky neutrální materiály, takže index lomu můžeme zavést vztahem  $n = \sqrt{\epsilon}$ . Intenzita elektrického a magnetického pole (do níž

zahrneme admitanci vakua) jsou harmonické v čase s faktorem  $\exp\{i\omega t\}$ . Jejich prostorově závislé  $\mathbf{E}$  a  $\mathbf{H}$  splňují v každé z vrstev Maxwellovy rovnice

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{H} &= ik_0 \epsilon \mathbf{E}, \quad \nabla \cdot (\mu \mathbf{H}) = 0, \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -ik_0 \mu \mathbf{H}, \quad \nabla \cdot (\epsilon \mathbf{E}) = 0 \\ k_0 &= 2\pi / \lambda. \end{aligned} \quad (1)$$

Pro rovinnou vlnu lze vektory pole pro libovolné  $\mathbf{r} = (x, y, z)$  psát ve tvaru  $\mathbf{E} = u\mathbf{e}e^{-ik_0\mathbf{r}}$ ,  $\mathbf{H} = v\mathbf{h}e^{-ik_0\mathbf{r}}$ , kde  $u$  značí amplitudu,  $\mathbf{e}$ ,  $\mathbf{h}$  jsou konstantní polarizační vektory a  $\mathbf{k} = k_0(\alpha, \beta, \gamma)$  je vlnový vektor. Pak  $\nabla \times e^{-ik_0\mathbf{r}} = -i\mathbf{k} \times e^{-ik_0\mathbf{r}}$  a rovnice (1) se redukují na algebraickou úlohu  $(\mathbf{K}^2 + \epsilon\mathbf{I}) = 0$ , kde

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 0 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

a  $\mathbf{I}$  je jednotková matice. Požadavek netriviálního řešení,  $\det(\mathbf{K}^2 + \epsilon\mathbf{I}) = 0$ , vede ke čtyřem kořenům  $\gamma_q$ ,  $q = 1, \dots, 4$  nazývaným konstanty šíření a k odpovídajícím vlastním vektorům  $\mathbf{e}_q$ , které popisují polarizační stav světelné vlny. V izotropním médiu jsou vlastní polarizace lineární buď v rovině dopadu (TM- neboli p-polarizovaná vlna) nebo k ní kolmé (TE- neboli s-polarizovaná vlna).

Bude-li  $x = 0$  rovina dopadu, pak ve vektoru  $\mathbf{k}$  je  $\alpha = 0$ , takže úloha na vlastní čísla vede k řešení  $|\gamma| = \sqrt{\epsilon - \beta^2}$ . Získané konstanty šíření označíme vzhledem k polarizacím a směrům šíření  $\gamma_s^{(+)} = \gamma_p^{(+)} = \gamma^{+}$ ,  $\gamma_s^{(-)} = \gamma_p^{(-)} = \gamma^{-}$ , kde znaménko (+) se vztahuje k dopředné vlně a (-) k vlně zpětné. Odpovídající páry polarizačních vektorů získáme dle (2) ve tvaru

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_s^{(+)} = \mathbf{e}_s^{(-)} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad \mathbf{h}_s^{(\pm)} = \mathbf{K}^{(\pm)} \mathbf{e}_s^{(\pm)}, \\ \mathbf{e}_p^{(\pm)} &= \begin{bmatrix} 0 & \gamma^{(\pm)} & -\beta \end{bmatrix}^T, \quad \mathbf{h}_p^{(\pm)} = \mathbf{K}^{(\pm)} \mathbf{e}_p^{(\pm)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Mějme nyní soustavu  $K$  paralelních vrstev o tloušťkách  $t^{(k)}$  vložených mezi poloohraničené regiony – superstrát ( $\kappa = 0$ ) a substrát ( $\epsilon = K+1$ ). Bez újmy na obecnosti zavedeme souřadný systém s osou  $z$  kolmou na multivrstvu a s rovinou  $z = 0$  identickou s prvním rozhraním. Dopadá-li svazek ze superstrátu pod úhlem  $\varphi$ , je  $\beta = n^{(0)} \sin \varphi$  a pro vektory pole v libovolné vrstvě platí

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= e^{-ik_0\beta y} \sum_{q=1}^4 u_q \mathbf{e}_q e^{-ik_0\gamma_q z}, \\ \mathbf{H} &= e^{-ik_0\beta y} \sum_{q=1}^4 u_q \mathbf{h}_q e^{-ik_0\gamma_q z}, \quad \mathbf{h}_q = \mathbf{K} \cdot \mathbf{e}_q. \end{aligned} \quad (4)$$

Na rozhraních je okrajovou podmínkou spojitost tečných složek vektorů pole. Známe-li je na rozhraní ( $\kappa$ ), plyne jejich podoba na počátku následující vrstvy z vazebních vztahů

$$\sum_{q=1}^4 u_q^{(\kappa)} \exp \left\{ -ik_0 \gamma_q^{(\kappa)} t^{(\kappa)} \right\} \begin{bmatrix} e_{jq}^{(\kappa)} \\ h_{jq}^{(\kappa)} \end{bmatrix} = \sum_{q=1}^4 u_q^{(\kappa+1)} \begin{bmatrix} e_{jq}^{(\kappa+1)} \\ h_{jq}^{(\kappa+1)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

pro  $j = x, y$ . Jedná se o soustavu čtyř rovnic, kterou zapíšeme maticově:

$$\mathbf{D}^{(\kappa)} \mathbf{P}^{(\kappa)} \mathbf{u}^{(\kappa)} = \mathbf{D}^{(\kappa+1)} \mathbf{u}^{(\kappa+1)}, \text{ kde} \quad (6)$$

$$\mathbf{P}^{(\kappa)} = \text{diag} \left( \exp \left\{ -ik_0 \gamma_q^{(\kappa)} t^{(\kappa)} \right\}, q = 1, \dots, 4 \right),$$

a matice  $\mathbf{D}^{(\kappa)}$ ,  $\mathbf{D}^{(\kappa+1)}$  jsou tvořeny tečnými složkami polarizačních vektorů. Naším cílem je získat vztah mezi amplitudovými koeficienty obsaženými ve vektorech  $\mathbf{u}^{(0)}$  a  $\mathbf{u}^{(K+1)}$ , jejichž struktura má univerzální podobu  $\mathbf{u}^{(\kappa)} = [u_s^{(\kappa+)} u_p^{(\kappa+)} u_s^{(\kappa-)} u_p^{(\kappa-)}]^T$ . Zkombinujeme-li příspěvky všech vrstev, obdržíme výslednou formuli

$$\mathbf{u}^{(0)} = \left( \mathbf{D}^{(0)} \right)^{-1} \mathbf{T} \mathbf{D}^{(K+1)} \mathbf{u}^{(K+1)}, \mathbf{T} = \prod_{\kappa=1}^K \mathbf{T}^{(\kappa)}, \quad (7)$$

$$\mathbf{T}^{(\kappa)} = \mathbf{D}^{(\kappa)} \left( \mathbf{P}^{(\kappa)} \right)^{-1} \left( \mathbf{D}^{(\kappa)} \right)^{-1}.$$

Ze zjištěných (obecně komplexních) amplitudových koeficientů stanovíme reflektivitu na základě vztahu

$$R_p = \left| \frac{u_p^{(0-)}}{u_p^{(0+)}} \right|^2. \quad (8)$$

### 3. INVERZNÍ ÚLOHA – MATEMATICKÝ MODEL

Při hledání řešení minimalizujeme cenovou funkci

$$C = \sum \left( R_p^{\text{num}} - R_p^{\text{exp}} \right)^2, \quad (9)$$

kde hodnoty s indexem exp odpovídají naměřeným hodnotám reflektivity a veličiny s indexem num vypočteným hodnotám.

Jedná se o nelineární problém, který jsme řešili v programu Matlab pomocí procedury FMINSEARCH, která využívá Nelderův-Meadův algoritmus, tedy simplexové metody. Toleranci cílové funkce v této optimalizační proceduře jsme stanovili na hodnotu 0,001 a této tolerance jsme dosahovali na daných datech při počtu iterací mezi 20 - 80.

Je třeba zdůraznit, že úspěch při řešení tohoto typu úloh závisí na vhodném výběru startovacích hodnot indexu lomu, neboť při nepříznivě nastavených vstupních hodnotách fitu algoritmus nekonverguje. V prezentované úloze bylo dosaženo stability i pro dosti odlišné startovací hodnoty a algoritmus konvergoval ke stejné hodnotě. Situaci jsme navíc měli usnadněnou tím, že některé hodnoty reálné části indexu lomu jsou tabelovány [2].

### 4. NUMERICKÉ VÝSLEDKY

Měření elipsometrických úhlů probíhalo na institutu fyziky VŠB-TU v Ostravě pro vlnovou délku dopadajícího svazku  $\lambda = 633$  nanometrů, pro úhly dopadu  $\varphi \in \langle 45^\circ, 70^\circ \rangle$  a koncentrace solného roztoku 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16 g NaCl/100 g H<sub>2</sub>O.

Numerické výsledky jsou shrnuty v tabulce 1. Startovací hodnotu indexu lomu roztoku NaCl jsme stanovili na  $n = 1,33 + 0,03i$ . Úhlem dopadu se rozumí úhel, při němž nabývá reflektivita minima (plasmonová rezonance).

koncentrace /100g H <sub>2</sub> O	Index lomu (fit)		úhel dopadu (fit) [°]	úhel dopadu (exp) [°]
	reálná část	imaginární část		
4g NaCl	1.361	0.0349	61.9	62.1
5g NaCl	1.358	0.0311	61.6	61.9
6g NaCl	1.3572	0.0314	61.5	61.9
7g NaCl	1.361	0.0321	61.9	62.0
8g NaCl	1.3679	0.0326	62.5	63.0
9g NaCl	1.3675	0.0309	62.4	63.8
10g NaCl	1.3673	0.0318	62.4	62.3
11g NaCl	1.3636	0.0329	62.1	62.5
12g NaCl	1.3588	0.0362	61.7	62.4
14g NaCl	1.3652	0.0328	62.2	62.1
16g NaCl	1.3669	0.0325	62.4	62.7

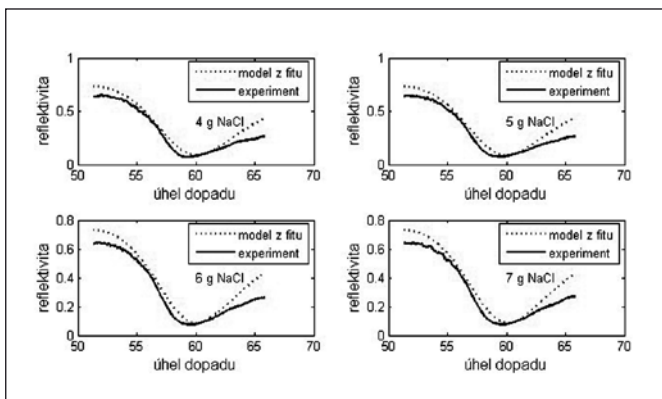
Tab. 1 Výsledky minimalizační úlohy

Obr. 2 ukazuje několik průběhů závislosti reflektivity na úhlu dopadu pro koncentrace 4-7g NaCl/100g H<sub>2</sub>O (pro další koncentrace vypadají grafy velmi podobně) a zároveň porovnání experimentálních dat s modelem z fitu. Plné čáry odpovídají naměřeným hodnotám, tečkované hodnotám z fitu.

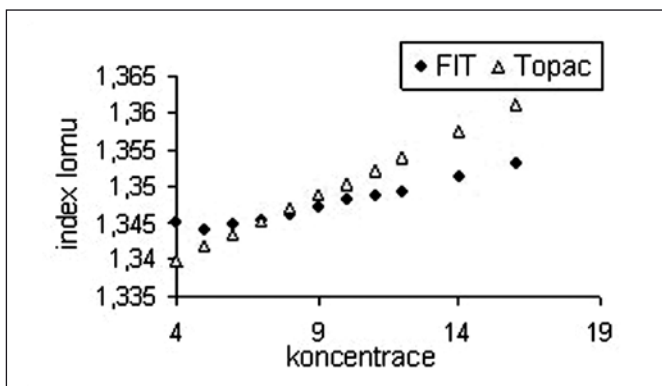
V tabulce 2 a na obr. 3 je provedeno porovnání hodnot reálné části indexu lomu z fitu a údajů z běžně užívaného zdroje [2].

koncentrace /100g H <sub>2</sub> O	Index lomu	
	fit	Topac
4g NaCl	1.3453	1.34
5g NaCl	1.3442	1.3418
6g NaCl	1.3449	1.3435
7g NaCl	1.3454	1.3453
8g NaCl	1.3464	1.347
9g NaCl	1.3473	1.3488
10g NaCl	1.3484	1.3505
11g NaCl	1.3489	1.3523
12g NaCl	1.3493	1.3541
14g NaCl	1.3514	1.3576
16g NaCl	1.3533	1.3612

Tab. 2 Porovnání hodnot reálné části indexu lomu



Obr. 2 Průběh závislosti reflektivity na úhlu dopadu



Obr. 3 Grafické porovnání hodnot reálné části indexu lomu

Pro srovnání obou výstupů (prezentovaných dat a zdroje Topac) jsme použili statistické testování nulové hypotézy: *Obě metody dávají shodné výsledky.* Jelikož nelze předpokládat normalitu dat, byly pro testování hypotézy použity neparametrické testy (Wilcoxonův test a Kolmogorovův-Smirnovův test pro dva výběry). Oba vedly ke stejnému výsledku: *Nelze zamítnout nulovou hypotézu.*

Na obr. 4 je uveden výstup ze statistického programu STATGRAPHICS Plus 5.0.

## ZÁVĚR

Na základě dosažených výsledků můžeme konstatovat, že aplikovatelnost navrženého teoretického modelu byla úspěšně ověřena. Shodu výsledků s experimentem i se zdrojem Topac lze považovat za velmi solidní.

Z uživatelského hlediska je žádoucí získat závislost indexu lomu na vlnové délce pro různé koncentrace, tj. disperzní charakteristiku testovaného prostředí. To je cílem dalších úloh, které jsou v současné době řešeny ve vazbě na laboratorní testy realizované na Institutu fyziky VŠB-TUO.

## Summary Statistics

	fit	Topac
Count	11	11
Average	1,34771	1,34928
Variance	0,00000825	0,00004419

## Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of fit:  
 1,34771 +/- 0,00192997 [1,34578,1,34964]  
 95,0% confidence interval for mean of Topac:  
 1,34928 +/- 0,00446588 [1,34482,1,35375]  
 95,0% confidence interval for the difference  
 between the means assuming equal variances:  
 -0,00157273 +/- 0,00455463  
 [-0,00612736,0,0029819]

## Comparison of Medians

Median of sample 1 (fit): 1,3473  
 Median of sample 2 (Topac): 1,3488  
 Mann-Whitney (Wilcoxon) W test to compare  
 medians  
 Null hypothesis: median1 = median2  
 Alt. hypothesis: median1 NE median2  
 W = 66,5 P-value = 0,717902

## Kolmogorov-Smirnov Test

Estimated overall statistic DN = 0,272727  
 Two-sided large sample K-S statistic =  
 0,639602  
 Approximate P value = 0,807924

Obr. 4 Výstup z programu STATGRAPHICS Plus 5.0

## Poděkování

Práce vznikla v rámci řešení výzkumného záměru MŠMT ČR (MSM 619890016).

## Literatura

- [1] J. Pištora, O. Vlašín, M. Lesňák, J. Vlček, A. Talik: SPR application for materials with induced anisotropy. 11th International symposium on microwave and optical technology (ISMOT – 2007), Monte Porzio Catone, Rome, Italy, December 17-21 (2007), ISBN 978-88-548-1476-9, pp. 143 – 146.
- [2] [www.topac.com/salinity-brix.html](http://www.topac.com/salinity-brix.html).

Mgr. Petr Otípk, katedra matematiky a deskriptivní geometrie, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, petr.otipka@vsb.cz, tel.: 597 324 128

Doc. RNDr. Jaroslav Vlček, CSc., katedra matematiky a deskriptivní geometrie, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, jaroslav.vlcek@vsb.cz, tel.: 597 324 176.

Doc. Dr. Ing. Michal Lesňák, Institut fyziky, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, michal.lesnak@vsb.cz, tel.: 597 325 206

# LASER World of PHOTONICS - veletrh a kongresy

Od roku 1973 se pravidelně v lichých letech pořádá v Mnichově akce spojená s optickými technologiemi. Ta letošní proběhla ve dnech 14. – 19. června 2009 a zahrnovala již tradičně dvě spojené nádoby – veletrh a kongres, které obojí nesly název LASER World of Photonics. Vzhledem k významu (největší světový optický veletrh) a blízkosti akce jsem zde potkal mnoho českých a slovenských kolegů, někteří prezentovali vlastní firmy, jiní se zúčastnili kongresového dění v různých konferencích.

Vlastního veletrhu se letos zúčastnil rekordní počet 1040 vystavujících firem, z toho 57 % zahraničních (neněmeckých) a navštívilo jej více než 24 tisíc návštěvníků. Veletrh byl ukázkou trendů v optice a fotonice a ukázal zejména evropský potenciál v této proudu se rozvíjející oblasti, zejména v průmyslových aplikacích optiky a fotoniky. Tentokrát byl výrazněji zaměřen na problematiku laserů ve fotovoltaické výrobě, biofotoniky a biologických věd, osvětlení. I přes mírný pokles návštěvnosti, způsobený ekonomickými problémy, se plocha veletrhu rozrostla již do 4 výstavních hal, celkem na 42 tisíc čtverečních metrů. Z tohoto rozšíření nejvíce



Majitel firmy Meopta-optika, s.r.o., Paul Rausnitz (zcela vpravo) při obchodním jednání se zákazníky



Stánek firmy Meopta-optika, s.r.o. na letošním veletrhu LASER World of Photonics v Mnichově

těžily dva největší segmenty, Lasery a optronika a Lasery a laserové systémy pro výrobu. A bylo zde opravdu co vidět.

Součástí veletrhu jsou již tradičně i akce pro nejširší veřejnost – v několika centrech přímo ve výstavních halách probíhaly přednášky významných odborníků z výzkumu i praxe, několik akcí bylo zaměřeno na školní mládež, která si zde mohla provádět základní optické pokusy, protože rychle rostoucí optický a fotonický průmysl potřebuje dostatečně vzdělané a motivované mladé odborníky.

Významné bylo i to, že prezidenti a CEO průmyslových lídrů, např. Carl Zeiss MicroImaging, Coherent, CVI Melles Griot, Han's Laser Technology Co., Qioptiq SAS, Rofin-Sinar Laser, uspořádali pro odbornou veřejnost kulatý stůl, u něho proběhla panelová diskuse na téma Optické technologie – světlá naděje v dobách krize.

Na rozdíl od jiných let byla v letošním roce na veletrhu výrazněji zastoupena i Meopta-optika, s.r.o. svým stánkem, ve kterém bylo silné personální zastoupení firmy, které mohlo kompetentně odpovídat na dotazy odborníků i návštěvníků.

Pokud jde o vědeckou stránku akce, tak všechny významné světové organizace, které se angažují v optice, optoelektronice a fotonice, pochopily význam tohoto setkání a zorganizovaly během veletrhu v rámci kongresu své konference:

Evropská fyzikální společnost (EPS) ve spolupráci s LEOS uspořádaly velkou konferenci „CLEO/Europe-EQEC“, Evropská optická společnost (EOS) dvě konference „Frontiers in electronic imaging“ a „Manufacturing of Optical Components“, Vědecká laserová společnost (WLT) „LIM Lasers in Manufacturing“, SPIE spolu s OSA „ECBO-European Conference on Biomedical Optics“, SPIE Europe „Optical Metrology“, Německá asociace pro laserovou medicínu (DGLM e.V.) „Medical Laser Applications“ a Messe München zorganizovalo Aplikační panely o praktickém využití laserů a fotoniky.

Celkově se těchto konferencí, které pokrývaly celé spektrum optických technologií, zúčastnilo přibližně 3100 delegátů z celého světa. Kongres byl zatím v Mnichově největší, měl širší mezinárodní charakter a byl hlavně zaměřen na praktické aplikace optických technologií. Hlavním přínosem této akce je, že se podařilo zkombinovat účast mnoha významných vědců s jejich návštěvou veletrhu.

*Prof. RNDr. Pavel Tománek, CSc.*



# Automatická kontrola barevných značek automobilových pružin

*Publikace popisuje rámcové řešení úkolu, který byl na našem pracovišti řešen pro společnost Mubea HZP s.r.o. z Prostějova. Barevné značky na automobilových pružinách určujících jejich třídu jsou nasnímány kamerou. Následně proběhne vyhodnocení programem, který rovněž dává pokyn manipulátoru, jak s každou pružinou naložit. Jsou popsány klíčové prvky pro řešení, podmínky, za jakých výsledný produkt pracuje, a důvody, které vedly k výběru konkrétních zařízení.*

## 1. ÚVOD

Jedním ze stále rychleji se rozvíjejících trendů poslední doby je zavádění automatických vizuálních systémů (též nazývaných systémy strojového vidění) pro kontrolu zboží a výrobků. Vykonávají-li vizuální kontrolu člověk, spoléhající se pouze na svůj zrak, svědomitost a psychickou vytrvalost, dochází při vykonávání monotónní práce nevyhnutelně k ochabnutí soustředění a následně k nárůstu chybovosti. Proto se v poslední době nabízejí a také využívají možnosti instalovat v technologických provozech systémy se snímacími kamerami, které při napojení na řídicí počítač s odpovídajícím programovým vybavením mohou řídit manipulátory, poskytovat stavové signály technologickým systémům nebo v nejjednodušším případě alespoň přivolat pracovní obsluhu.

Oblastí, kde lze použít automatických systémů vizuální kontroly, je dlouhá řada. Patří sem kontrola povrchu, kdy se identifikují různá poškození jako trhliny, nečistoty, poškrábání, ořepy, barevné vměstky i jiné změny povrchu nejrůznějších materiálů. Jinou možností je kontrola úplnosti, kdy se zjišťuje komplexnost montážních celků, osazení dílů, kódování, balení, popisy atd. Určování a kontrola pozice slouží k zjišťování správné polohy sledovaného objektu nejčastěji z důvodu další technologické mezioperace, pro jemné sladění pracovních procesů na výrobní technologické lince nebo k odbírání objektů manipulátory. Velmi časté je využití automatických vizuálních systémů ke kontrole a identifikaci předem určených obrazů, vzorů nebo identifikačních kódů tištěných libovolnou tiskařskou technologií nebo v současnosti stále častěji využívanými laserovými popisovačkami. Stále častějším užitím je také identifikace typů (výrobku, zboží), to znamená zjišťování různých výrobních typů pro třídící zařízení, a to pomocí analýzy kódů, barvy, jasu, tvaru, velikosti atd. [1, 2, 3].

Pro získání spolehlivého a přesného výsledku při sledování objektů je případně možné zavedení i několika kontrol současně nebo za sebou.

Před časem se na naše pracoviště obrátilo vedení firmy Mubea HZP s.r.o. s dotazem, je-li možné u nás navrhnout a zrealizovat kontrolní kamerové zařízení na sledování kvality nástřiku barevných značek na povrchu automobilových pružin. Rámcové zadání úkolu od zadavatele bylo následující. Zadavatel požadoval dodání optoelektronického (kamerového) zařízení pro kontrolu barevného označení vinutých automobilových pružin, které jsou testovány a označeny na výrobní technologické lince a následně pracovní obsluhou ukládány do přepravních kontejnerů. K této definici úkolu bylo nutno neoddělitelně přiřadit rovněž pracovní podmínky. Kontrola pružin probíhá na technologické lince umístěné v běžném průmyslovém pracovním prostředí, tj. ve výrobní hale s vypalovacími pecemi, otrýskávacími jednotkami, lakovacími zařízeními a dopravníkovým pásem. Rozměry celého snímacího zařízení musí být přizpůsobeny prostorovým možnostem technologické linky, kamerové zařízení je umístěno v řetězci mezioperací

až po nástřiku barevného označení vinutých automobilových pružin, ale před třídícím podávacím manipulátorem. Technologická linka provádí na pohyblivém páse tzv. dvojkrok, to znamená mezi rozjezdem a zastavením (zpomalením) se posouvají současně dvě automobilové pružiny. Zadavatel sám předložil dvě možné rámcové varianty snímání objektů. První varianta vychází ze situace, kdy je snímán statický předmět. V tomto případě se pás na jistou dobu zcela zastaví a kamerovým systémem jsou nasnímány dvě pružiny. Při druhé variantě se snímají rovněž dvě pružiny, ale linka se zcela nezastaví, jen zpomalí. Zde je doba určená k zaznamenání obrazu a jeho vyhodnocení kratší a už předem se předpokládalo, že zde bude programově synchronizován pohyb linky se snímáním objektů.

Stručná definice snímáných a vyhodnocovaných předmětů pak je následující. Snímanými objekty jsou barevné značky (kroužky) o daném průměru a dané vzdálenosti, které jsou nástřiknuty na vnější povrch automobilové pružiny. Pružiny mají černý lesklý povrch a jejich průměr se pohybuje v intervalu 100 – 150 mm. Průměr drátu, z něhož jsou pružiny vinuty, může být 8 – 15 mm. Průměr drátu a pružiny udává typ pružiny, počet značek a jejich barvy pak udávají třídu pružiny, kterých může být pro každý typ několik. Celý cyklus nasnímání a vyhodnocení obrazu pak musí být kratší než 6 s, což je dáno taktem technologické linky.

## 2. RÁMCOVÝ POPIS ŘEŠENÍ

Na základě uvedených vstupních podmínek pak vznikly v souladu s návrhy zadavatele postupně dvě varianty řešení, jejichž princip je však v základních bodech totožný. V každém taktu linky jsou v obou případech nasnímány dvě pružiny, poté je signál z kamer zpracován vyhodnocovacím programem nazvaným PerMon, a ten na závěr dává pokyn manipulátoru, jak s pružinami naložit.

První a druhá řešitelská verze se liší použitým typem kamer a jiným typem osvětlovacích soustav, ve druhé verzi byl kromě toho použit výkonnější počítač. Změna rozhraní kamer a rychlejší počítač vedly ve výsledku k významnému zkrácení doby potřebné pro nasnímání a vyhodnocení obrazu i ke zkrácení doby přípravy systému před spuštěním práce linky. Druhá varianta má z tohoto důvodu mnohem vyšší uživatelský komfort, než tomu bylo u varianty první.

Současná verze je spolehlivě provozována ve třísměnném průmyslovém provozu v prašném prostředí. Je pochopitelné, že je nutné v tomto prostředí pravidelně čistit optickou část systému, zejména objektivy kamer a filtry. Systém je navíc otevřený (stavebnicový), to znamená snadno rozšiřovatelný dle požadavků uživatele o další kamery, osvětlovací soustavy, mechanické prvky, sprážením s nadřazeným PC serverem, spojením s tiskárnou, připojením k systému identifikace RFID čipy atd. Další nezanedbatelnou výhodou je, že program lze snadno modifikovat pro podobné aplikace, tj. identifikace objektů.

Během řešení úkolu se pro nás ukázaly jako klíčové dvě věci: volba typu snímací kamery a volba vhodného osvětlení objektů.

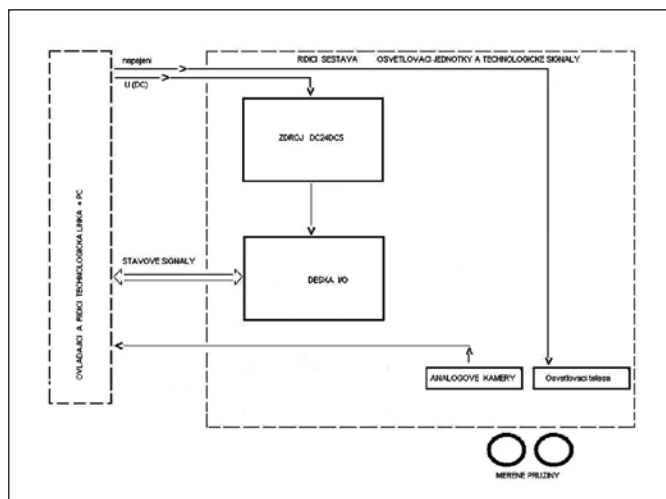
### 3. VÝBĚR KAMER

Volba kamery hraje významnou roli už v rané fázi řešení úkolu. Máme na mysli volbu kamery analogové nebo digitální [4-16], protože už od tohoto výběru se zpravidla odvíjí princip řešitelského postupu. V první verzi – snímání statických objektů - se pracovalo s kamerami analogovými. Ty jsou s dostatečnou citlivostí levnější než kamery digitální, ale snímání barevných objektů vyžaduje časté a „ruční“ nastavování parametrů jako expozice, citlivost, kompenzace odlesků od lesklého podkladu pružiny a nosiče pružin, což je časově náročné a tedy neoperativní. Kromě toho analogový signál je třeba před zpracováním řídicím programem nejprve digitalizovat, navíc u něj dochází snadno k tzv. „zašumění“, například kvůli délce vodičů vedoucích signál.

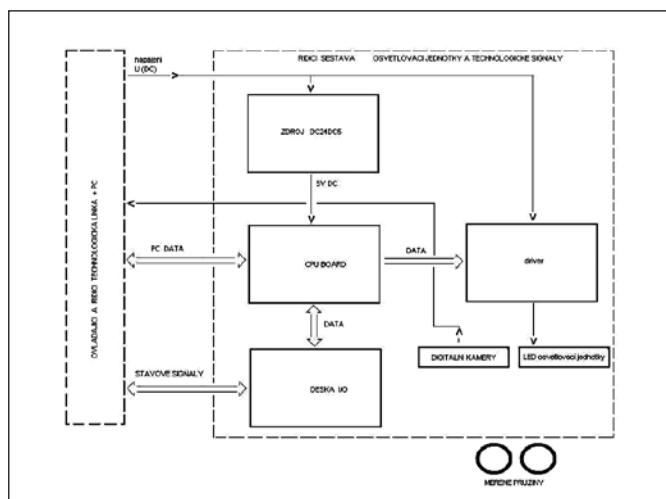
Při zastavení linky se snímaly vždy dvě pružiny, každá jednou analogovou kamerou. Kamery byly nastaveny tak, aby v jejich zorném poli byl vždy závit pružiny s vyhodnocovanými značkami, kterých bylo nejvýše pět. Digitalizovány pak byly dva signály, zpracování a vyhodnocení probíhalo na dvou jednojádrových PC.

Blokové schéma znázorňující celou sestavu pro snímání a vyhodnocení značek při použití analogových kamer ukazuje obr. 1.

Pro druhou řešitelskou verzi byly vybrány kamery digitální. Ty umožňují snímání pohybujících se objektů, neboť lze už z řídicího programu zajistit synchronizaci pohybu linky a snímání. Také došlo ještě k významné změně v zadání úkolu, kdy na každé pružině



Obr. 1 Blokové schéma sestavy pro snímání a vyhodnocení barevných značek na automobilových pružinách při použití analogových kamer



Obr. 2 Blokové schéma sestavy pro snímání a vyhodnocení barevných značek na automobilových pružinách při použití digitálních kamer

může být až devět značek, které všechny musí být nasnímány. Při vyhodnocování obrazu pak už program nerozhoduje jen v termínech dobrá/špatná, ale musí být schopen určit i tzv. třídu pružiny, jejichž počet (podle typu pružiny) může být až tři. Snímání většího zorného pole bylo vyřešeno tak, že jednu pružinu v druhé variantě snímají dvě kamery z různých směrů, aby byly značky zobrazeny v dostatečné kvalitě pro další vyhodnocování. Během zpomalení linky tedy dvě kamery pořídí obraz první pružiny a po posunutí linky nasnímají druhou pružinu. Při přenosu signálu a jeho vyhodnocení odpadá nutnost digitalizace, navíc parametry kamery se nastavují přímo z obsluhného programu. Dále jsme zde mohli pracovat už s procesorem pro zpracování řídicích signálů a s čtyřjádrovým PC, což vše způsobilo, že se dosáhlo šesti až osminásobného zrychlení zpracování ve srovnání s analogovou verzí.

Schéma celé sestavy při použití digitálních kamer je na obr. 2.

Tab. 1 přehledněji ukazuje nejvýznamnější rozdíly mezi první a druhou řešitelskou variantou. Vyhodnocovací program PerMon procházel v průběhu vývoje řešení změnami, a to především v první „analogové“ fázi řešení. Již funkční verze měly označení 3, 4 a 5, proto jsou takto uvedeny i v tabulce. Program upravený pro digitální kameru nese označení 6.

Tab. 1 Odlišnosti první a druhé řešitelské verze

verze programu	verze 3, 4, 5	verze 6
zpracování tříd pružin	ne	ano
paralelní zpracování	dva samostatné systémy	jeden systém
identifikace uživatele	ne	ano pomocí čtečky ID tagů

Z našich konkrétních zkušeností můžeme říci k výběru typu kamery následující. Z hlediska ceny se výhodnější jeví analogové kamery, ovšem pro další zpracování signálu jsou digitální kamery mnohem vhodnější. K dispozici jsou kamery s různě dlouhými expozičními dobami, které lze programově měnit, s možností synchronizačního vstupu k provedení snímků. Cenové relace se odvíjejí od velikosti CCD čipu a podle toho, zda je kamera v provedení průmyslovém, laboratorním a další. Výrobci a typů je v současnosti mnoho, takže lze vybrat nejvhodnější. Rozdíly mezi analogovou a digitální kamerou jsou přehledně vypsány v tab. 2.

Tab. 2 Srovnání vlastností analogové a digitální kamery

kamera	analogová	digitální
parametry kamery	manuálně	programem
zpracování signálu	přímo PC	samostatný procesor
přenos obrazu	analogový signál	digitální data
externí synchronizace spuštění	ne	ano
snímání obrazu	jedna kamera pro méně značek	dvě kamery na celý segment
digitalizace obrazu	digitalizační karta v PC	interně v kameře
osvětlení	zářivkové trubice	led diody
režim nasvícení	kontinuální	blesk
stínění / filtry	stínítko	polarizační filtry
režim snímání	stojící pás	pohybující se pás

## 4. VÝBĚR OSVĚTLENÍ

Programové ovladače musí být vyřešeny tak, aby jejich nabízené funkce podporovaly potřeby průmyslového nasazení. Sám kvalitní software a hardware pro zpracovávání obrazů však ještě neznamená komplexní vyřešení celého technického zadání. Významnou roli hraje i řada dalších složek, které musí být navzájem sladěny, je nutné brát v úvahu také celkové časové a místní podmínky výrobního procesu. Za nejdůležitější je považována volba správného osvětlení k nasvětlení snímaných objektů. Osvětlení je třeba navrhnout, vybrat a seřadit tak, aby byly kontrolované objekty kontrastně zobrazovány, a to buď polohou a orientací zdroje dopadajícího světla, anebo pomocí osvětlení ve světelném, či tmavém poli. Osvětlení může být podle potřeby polarizované, usměrněné, difúzní, barevné, ultrafialové, infračervené, bleskové (mžítkové) atd. K docílení žádaného kvalitního obrazu se používají nejrůznější světelné zdroje pro osvětlení předmětu, například žárovky, zářivky, světelné diody LED, lasery, halogenové projektory, zdroje studeného světla se světlovody atd. [17-25].

Povrch snímaného objektu (z optického hlediska) může být například matný nebo lesklý. U lesklých objektů vznikají při nasvětlení odrazy, které působí rušivě (kamerovému systému se jeví tyto odlesky jako objekt). Proto je třeba nežádoucí odrazy (odlesky) eliminovat. Je nutné nezapomenout i na světelné pozadí, vůči kterému se daný objekt snímá. Při použití nepolarizovaného světla je vliv světelné intenzity pozadí vyšší a zhoršuje identifikaci daných objektů. Pak je nutno použít stínící clony a jiné prostředky ke snížení světelné intenzity pozadí.

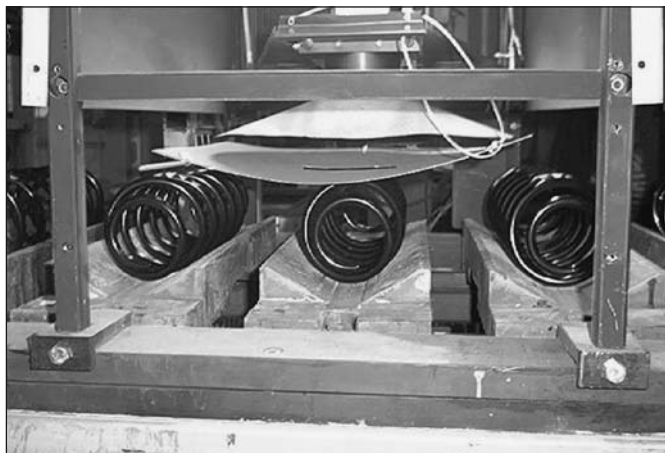
### 4.1. Výhody a nevýhody nepolarizovaného světla

Výhodou je jednoduchost světelných zdrojů k osvětlení objektů, nenáročná provozní údržba, možnost použití barevných filtrů, a tím upřednostnit zvolenou vlnovou délku (barvu). Podstatnou nevýhodou je to, že se jen obtížně (pokud vůbec) odstraňují parazitní odlesky od lesklých povrchů a dále to, že je obvykle nutné potlačit světelnou intenzitu pozadí kolem identifikovaných objektů.

### 4.2. Výhody a nevýhody polarizovaného světla

Výhoda – jednoduše se odstraní (potlačí) odlesky od lesklého povrchu, výrazně se potlačí vliv intenzity světla od pozadí. Nevýhody – vyšší cena světelných zdrojů polarizovaného světla, vyšší nároky na čistotu prostředí, vyšší nároky na provozní údržbu. Seřizování systému s polarizovaným světlem je obtížnější, ale výsledný obraz je pak mnohem lepší.

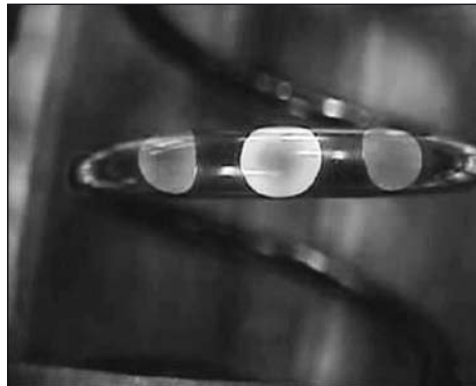
Pro optimální práci snímací soustavy je třeba vybrat i vhodný objektiv pro zvolenou kameru. Objektivy kamerových systémů jsou navrhovány pro daný typ CCD kamer – používají se 1/2 palce, palce, jsou i objektivy širokoúhlé. Lze použít objektivy s proměnným nebo s pevným ohniskem. Pro náš úkol se nám nakonec nejvíce osvědčily objektivy s větší světelností.



Obr. 3 Linka s označenými pružinami snímanými shora dvěma kamerami

Jednu z etap vývoje osvětlení a stínění snímané pružiny ilustruje obr. 3. Snímána je prostřední pružina, nad ní je plechová deska s úzkým obdélníkovým otvorem. Deska s otvorem má funkci clony zabraňující pronikání parazitního světla do objektivu kamery. Široký trychtýř nad deskou slouží rovněž jako clona odštiňující další rušivé odrazy z okolí předmětu.

Na obr. 4 je zobrazen detail pružiny s jedním z barevných označení, které vyhodnocuje řešitelský program PerMon.



Obr. 4 Detail pružiny s vyhodnocovanými značkami

## 5. VYHODNOCOVACÍ PROGRAM

Samotný vyhodnocovací program byl nazván PerMon. Je vytvořen v prostředí Visual Basic. Program PerMon byl vyvinut pro účely snímání a vyhodnocování kvality nástřiku barevných značek na automobilových pružinách různých typů. Program byl postupně zdokonalován a vylepšován jednak na základě našich zkušeností se zpracováním specifické obrazové informace, jednak na základě dodatečných, praxí vyžádaných požadavků zadavatele.

Postupným vývojem vznikly dvě varianty řešení. Analogové snímání a zpracování obrazu bylo nahrazeno verzí využívající digitální kamery.

Verze pro analogové kamery nesly označení 3, 4 a 5, pro digitální kamery vznikla verze 6 (viz též tab. 1). Jednotlivé verze se od sebe liší především stupněm automatizace zpracování obrazu a snížením nároků na obsluhu a kalibraci systému. Od plně „ručního“ nastavování, kalibrace a volbu umístění segmentu, až po automatické vyhledávání značek i automatickou identifikaci počtu značek. V poslední verzi byl program také rozšířen o čtečku identifikačních čipů pro identifikaci obsluhy. Program dále umožňuje kontrolovat v plynulém provozu najednou až tři třídy pružin.

Typ pružiny se zadává do řídicího programu, který z nasnímaných obrazů vyhodnocuje třídu pružiny a poté dává pokyn manipulátoru, jak s pružinou naložit.

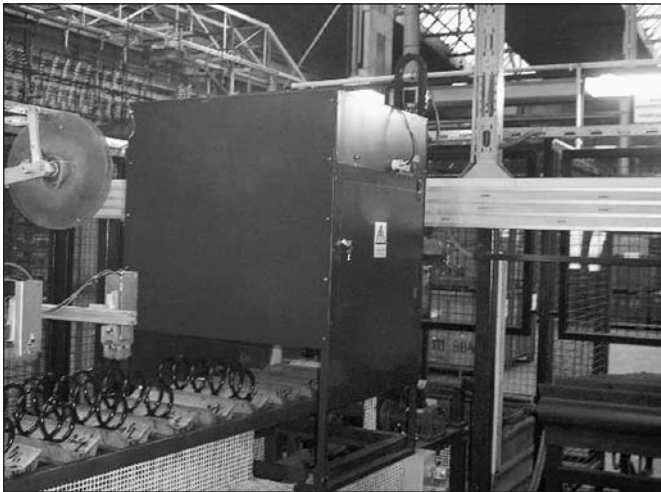
Tato verze také minimalizuje nastavování a kalibraci systému, které se nyní provádějí pomocí několika vizuálních prvků, což výrazně zkracuje dobu přípravy systému před spuštěním kontroly.

Vnitřní koncepce programu je plně modulární, využívající objektových vlastností a struktur. Byla zvýšena stabilita systému a program byl doplněn o diagnostiku a monitorování.

Rámcový popis práce s programem PerMon přímo za provozu linky lze v bodech vyjádřit takto:

- přes identifikační klíč se přihlásí uživatel
- zvolí se požadovaný (kontrolovaný) typ pružiny
- na základě typu pružiny se provede kalibrace (počet vyhodnocovaných značek, jednotlivé barvy)
- spustí se vyhodnocovací program, který po načtení dat a zpracování dává zpětně pokyn manipulátoru linky, jak naložit s danou pružinou.

Digitální kamery jsou umístěny přímo nad linkou v plechové skříni, která alespoň částečně chrání citlivý kamerový a osvětlovací systém před nepříznivým prostředím výrobní linky. Jednu z verzí této skříně ukazují obr. 5.



Obr. 5 Skříň chránící kamerový systém

## 6. ZÁVĚR

Článek popisuje vývoj a konečnou realizaci kontrolního kamerového systému, který byl vytvořen dle požadavků společnosti Mubea HZP s.r.o. Prostějov. Popsaný systém, vytvořený z běžně dosažitelných komponent jak přístrojových, tak programových, je plně funkční a využíváný podle potřeb zadavatele.

## Poděkování

Nakonec bychom rádi poděkovali vedení a technickému managementu výrobní firmy Mubea HZP s.r.o. v Prostějově, zejména obchodnímu řediteli Ing. Štěpánu Urbancovi, CSc. a dále Ing. Štefanu Šafránkovi, panu Václavu Dostálovi a také Ing. Janu Hermansdorferovi za doplňující technické informace poskytnuté během řešení úkolu spjaté se specifikou jejich provozu. Dále je potřeba vyzdvihnout práci řady našich spolupracovníků, bez jejichž pomoci by nebylo možné projekt úspěšně realizovat. Jmenujme alespoň z oddělení konstrukce pana Luboše Kociána, z oddělení elektro pana Aleše Kratochvíla, za skupinu aplikované optiky RNDr. Petra Schovánka a konečně i pracovníky dílen, kteří všem návrhům dodali konečnou podobu.

Tento článek vznikl s podporou společnosti Mubea-HZP s.r.o. Prostějov a projektu MŠMT ČR 1M06002 Optické struktury, detekční systémy a související technologie pro nízkofotonové aplikace.

## Literatura

- [1] Otto Havle, Osvětlovače pro systémy strojového vidění. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 456.
- [2] Karel Kabeš, Zájem o digitální zpracování obrazů v průmyslu roste. *Automatizace*, 11, **47**, 2005, str. 665.

- [3] Petr Palatka, Kamerové systémy v průmyslové automatizaci. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 453.
- [4] Karel Kabeš, Analogová versus digitální kamera. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 699.
- [5] Otto Havle, Distribuce digitálního videosignálu ve velkých kamerových systémech. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 707.
- [6] Karel Kabeš, Inteligentní kamerový senzor LightPix AE 20. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 492.
- [7] Soběslav Valach, Inteligentní průmyslové kamery – přehled trhu. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 690.
- [8] Inteligentní senzor LightPix AE 10. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [9] Karel Kabeš, Inteligentní systém pro zpracování obrazů Imagechecker P400. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 700.
- [10] Kamera Siemens CCBC1325-LP/MP. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [11] Kamera Siemens CCBC1225-LP. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [12] Jan David, Kamerové inspekční systémy PresencePlusTM. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 706.
- [13] Kamerové senzory ICS, DCI a AGD. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [14] Tomáš Podivínský, Kamerové systémy Matsushita/Panasonic. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 462.
- [15] Vítězslav Báňa, Kamerový senzor se zobrazovačem TFT. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 461.
- [16] Karel Kabeš, Kompaktní termografická kamera měří na stupě přesně. *Automatizace*, 10, **48**, 2005, str. 654.
- [17] Legend 500 Series. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 696.
- [18] Otto Havle, Osvětlovače NerLite pro řešení strojového vidění. *Automatizace*, 10, **48**, 2005, str. 653.
- [19] Systém Matsushita AX40. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [20] Systémy Matsushita A100/A200. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 697.
- [21] Otto Havle, Využití kamer Legend v systémech strojového vidění. *Automatizace*, 7-8, **48**, 2005, str. 459.
- [22] Václav Kolbaba, Řada Simatic Machine Vision pro průmyslové zpracování obrazu. *Automatizace*, 11, **47**, 2004, str. 704.
- [23] Kamerové systémy – prospekt firmy OMRON. [http://www.limasoft.cz/omron/pdf/PGB24\\_Vision\\_CZ01\\_0305.pdf](http://www.limasoft.cz/omron/pdf/PGB24_Vision_CZ01_0305.pdf)
- [24] Jiří Heroudek, Josef Honec, Pavel Valenta, Pavel Zemčík, Vizuální systémy v technických aplikacích. Sborník konference *Automatizace*, Tatranské Matliare, SK, 1997, str. 243-246.
- [25] Inteligentní řešení pro průmysl od CPE GROUP. Technický týdeník, Springer Media CZ. <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=1844&mark>

Mgr. Miroslav Čepl, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel. 585 631 580, e-mail: miroslav.cepl@upol.cz

Mgr. Georgi Ivanov, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel. 585 631 529, e-mail: georgi.ivanov@upol.cz

Aleš Kratochvíl, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Zř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel. 585 631 580, e-mail: ales.kratochvil@upol.cz

RNDr. Helena Hiklová, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel. 585 631 506, e-mail: helena.hiklova@upol.cz

Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel. 585 631 501, e-mail: miroslav.hrabovsky@upol.cz

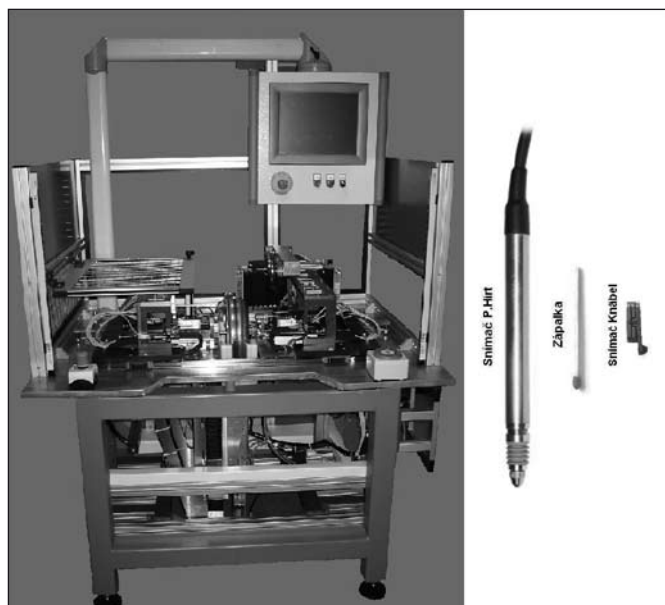
## MESING NA MSV BRNO 2009

*Uvádíme některé novinky, které bude MESING m. j. prezentovat na MSV BRNO 2009. MESING má na MSV BRNO tradičně společnou expozici s AQUASTYL SLOVAKIA.*

### Standardní zakázkově řešená měřidla, stanice a automaty

Tato zařízení tvoří jádro produkce MESING, přičemž MESING dodává zákazníkům od jednoduchých dílenských měřidel až po složité kontrolně technologické linky. Většinou se jedná o zařízení na kontrolu geometrických veličin na bázi standardních indukčních snímačů (předepnuté lineární kuličkové vedení, citlivost 0,01  $\mu\text{m}$ , pracovní rozsah  $\pm 1\text{mm}$ ). Nově začal MESING nasazovat miniaturní snímače.

V současné době vyhovují náročným provozním podmínkám jen snímače německé firmy KNÄBEL. Elektrické vlastnosti miniaturních snímačů neumožňují jejich propojení s klasickými elektronickými jednotkami pro standardní snímače (TESA, HIRT atd.), ale vyžadují speciální měřicí karty. Vývoj těchto karet byl v ČR, jako jedné z prvních evropských zemí, úspěšně dokončen, a proto může MESING intenzivně nasazovat miniaturní snímače do měřicích zařízení průměru, ovality a kuželovitosti malých otvorů, drážek a všude tam, kde jsou prostorové problémy. Pracuje se obvykle s citlivostí 1  $\mu\text{m}$  a rozsahem  $\pm 0,2\text{mm}$ . Příklad víceparametrické stanice MESING kontrolující průměr, ovalitu, čelní i radiální házení atd., a se standardními i miniaturními snímači, je na obr. 1.



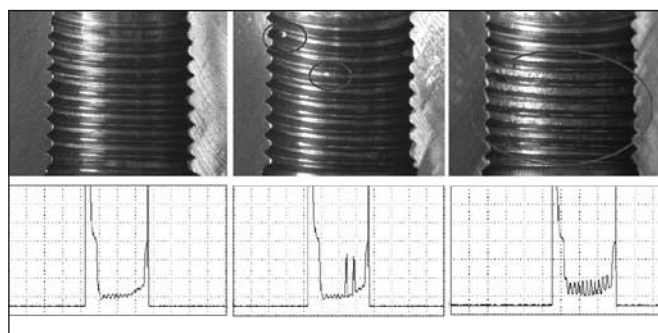
Obr. 1

### Měření vad závitů

I při precizní výrobě závitů se občas vyskytnou různé vady – vytržené části závitů, délkově i průměrově nedořezané závit, kuželovitost, nesouosost/nekolmost vůči vztažné ploše atd. Dosud se převážně používala málo spolehlivá vizuální kontrola. MESING pro tento účel vyvinul nový systém, který je zvláště vhodný pro 100% automatickou kontrolu. Příklad stanice MESING je na obr. 2; na obr. 3 jsou příklady vad i výsledky měření tímto novým systémem MESING.



Obr. 2



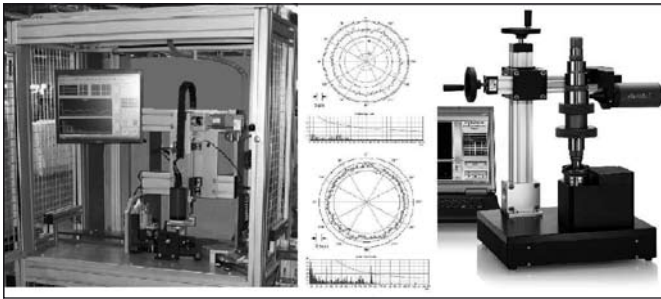
Obr. 3

### Bezkontaktní měření povrchových vad, drsnosti a úchylek tvaru

MESING bude na MSV tradičně prezentovat inovované optické systémy na kontrolu povrchových vad velmi přesně obroběných součástí, které vyvinul s ÚM SAV v Bratislavě.

V oblasti měření drsnosti, úchylek kruhovitosti i přímosti, ale i 2D a 3D profilu, MESING úzce spolupracuje s německými firmami OptoSurf a FRT. MESING hlavně využívá tyto optické systémy do svých zakázkových zařízení, případně je modifikuje v souladu se speciálními požadavky zákazníka. V České a Slovenské republice zajišťuje i servis a obchodní činnost.

OptoSurf je dnes světovou jedničkou v oblasti bezkontaktního měření drsnosti a úchylek geometrického tvaru. Výsledkem měření úchylek kruhovitosti je polární diagram nebo Fourierova analýza s možností nastavení obecné křivkové toleranční hranice. Velkou předností je necitlivost na vibrace – proto je systém optimální pro měření v tvrdých provozních podmínkách. Automatické měřicí zařízení MESING s optikou OptoSurf měří s taktem pod 5 sec. Příklady jsou na obr. 4.



Obr. 4

FRT s nově vyvinutým systémem MicroSpy Profile (viz obr. 5) umožňuje cenově výhodné 2D a 3D bezdotykové měření povrchů. Jedná se o kompaktní jednosenzorový profiloměr, kterým lze precizně a rychle zjišťovat drsnost, kontury a topografii, a to bez jakéhokoliv poškození povrchu (měkké kovy, čočky, fólie, pravá i umělá kůže atd.)



Obr. 5

Spolehlivých výsledků dosahuje prakticky na všech plochách; od hladkých po drsné, od vysoce reflektivních po silně absorbující. V závislosti na použitém senzoru se pohybuje pracovní rozsah od 0,3 do 3 mm při rozlišení až 3 nm.

#### Kalibrační měřidla

Kalibrační měřidla patří k tradičnímu výrobnímu programu firmy.

MESING t. č. připravuje zařadit do sériové výroby nový typ měřidla na kontrolu koncových měrek, označený MKM – 4 (klasické měření 2 snímači proti sobě) a navazující na stávající úspěšné měřidlo MKM – 3.

V expozici ÚPT AV ČR Brno budou obě tyto organizace prezentovat nejnovější poznatky s bezkontaktním optickým měřením koncových měrek.

V obou expozicích budou také prezentovány výsledky společně vyvíjených komparačních zařízení na nanometrické měření charakteristik snímačů (jedna z variant viz obr. 6, na vývoji se podílí i ČMI).



Obr. 6

Bližší informace mohou získat zájemci v expozici MESING, pavilon F, stánek č. 016. Je možné předem dohodnout i setkání s pracovníky partnerských firem. Řada výše specifikovaných zařízení byla anebo je vyvíjena za grantové pomoci MPO: TANDEM FT-TA3/133, TRVALÁ PROSPERITA 2A-1TP1/127-2 a TIP FR-TI1/241.

# Bezpečnost Festo

## Jak jste na tom s bezpečností?

Zlí jazykové tvrdí, že dnešní bezpečnostní předpisy jsou tak přísné, že snad ani nelze bezpečné zařízení vyrobit tak, aby ještě fungovalo. Tento úhel pohledu je poněkud zaujatý; nové normy, které definitivně a nekompromisně platí od konce tohoto roku – řeč je samozřejmě o nové normě DIN EN ISO 13849-1 – umožňují plánovitě se zabývat jen potřebnými opatřeními, nikoliv paušálně řešit vše s přebytkem nejrůznějších certifikátů.

## Norma pro stroje DIN EN ISO 13849-1 a směrnice 2006/42/EC

Je vůbec možné takovou věc, jako je bezpečnost strojů, standardizovat? Odpověď je jasná – ano. Stačí jen správně určit, co je na zařízení nebo stroji nebezpečné a zamyslet se nad tím, jak toto nebezpečí vyloučit. Jak známo, první na řadě je konstrukce, pak následují bezpečnostní technická opatření a nakonec, když už nic jiného nelze, alespoň postupy v návodu.

## A co pneumatika?

Jedná-li se o elektrická zařízení, bývá situace poměrně jasná a opatření notoricky známa. Jak je tomu ale s pneumatikou? Tady jde obvykle o zcela jiný obrázek. Přitom logika věci je téměř stejná.

Konstrukční opatření leží zcela na bedrech konstruktérů a vychází z jejich znalostí a zkušeností. Oblastí, ve které vám může váš dodavatel automatizační techniky jednoznačně pomoci, jsou technická opatření.

Firma Festo je známa jako dodavatel pneumatických a elektrických prvků pro automatizaci. Již delší dobu se ale zabývá i dodávkami kompletních sestav – manipulátorů, elektrických a pneumatických rozvaděčů, desek s pneumatickými obvody,



Obr. 1 Bezpečnostní spínací ventil řady MS6-SV, který může být i součástí sestavené úpravné jednotky stlačeného vzduchu

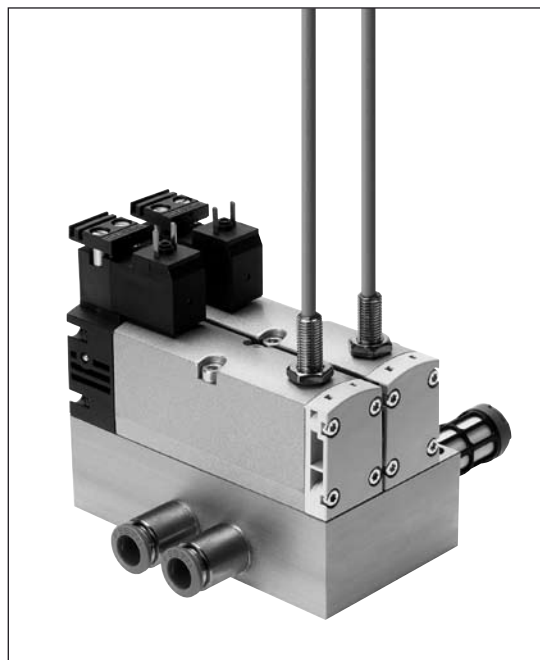
smontovaných částí pneumatických i elektrických konstrukcí. Díky tomu vám může zprostředkovat nejen vlastní zkušenosti, ale i nové poznatky – bezpečnostní problematikou se totiž část firmy systematicky zabývá.

## Potřebujete poradit?

Pokud firmu Festo oslovíte s požadavkem, jakou úroveň vlastností potřebujete, technici vám pomohou s určením správného řešení, které požadovaná úroveň vlastností vyžaduje. K dispozici je vám například také brožurka s bezmála jedním stem stran, zaplněná desítkami příkladů, využívajících nejen běžných katalogových, ale také mnoha speciálních výrobků, které často ani v běžném sortimentu neobjevíte. Dozvíte se, jak obvody sestavit a na co všechno dbát, aby byl splněn požadavek na architekturu příslušné kategorie řízení.

## Bezpečnostní prvky

Mezi zajímavé prvky patří především bezpečnostní spínací ventil řady MS (obr. 1), který se již dnes velmi často používá. Dokáže

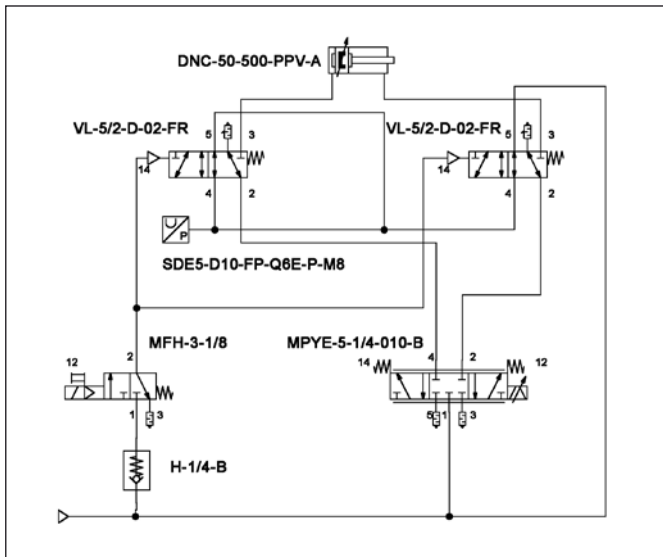


Obr. 2 Blok ventilů VSVA se zpětnou vazbou o své vlastní poloze pomocí čidla

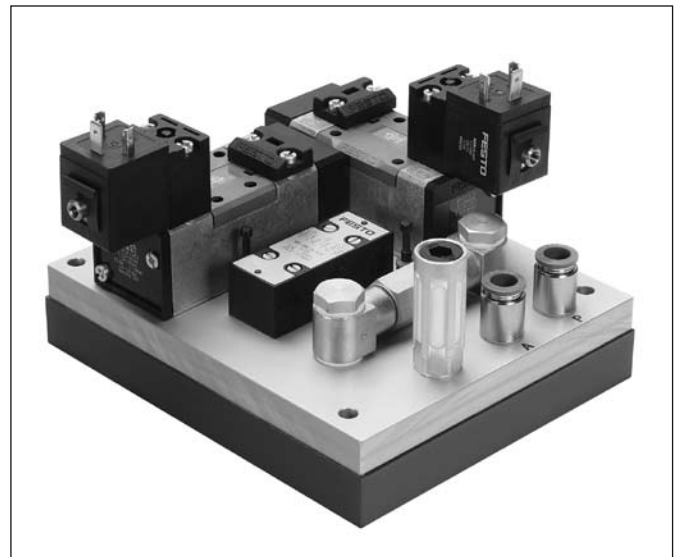
spolehlivě spínat s pomalým náběhem tlaku i rychle odvětrávat; disponuje certifikátem bezpečnostního zařízení kategorie 3/4. Rozhodně často žádané jsou nejrůznější pneumatické ventily se zpětnou vazbou o své vlastní poloze pomocí čidla, často ve zdvojeném uspořádání (obr. 2). Velmi obvyklé je jen šikové využití stávajících a známých prvků neobvyklým způsobem (obr. 3). Pro firmu Festo typickou technologií, na trhu ojedinělou, je využití tzv. integrační techniky, která kombinuje nejrůznější prvky na společné základně, tvořené několika na zakázku vyrobenými vrstvami s kanálky – tedy bez hadic a spojovacího materiálu, spolehlivě a technicky velmi dokonale (obr. 4).

## Možná místa nebezpečí ve výrobní lince

Ale nechme detailů – využít můžete obvody a prvky, určené pro všechny 4 provozní režimy, tedy ve výchozím stavu/za klidu



Obr. 3 Schéma zapojení servopneumatiky pro její bezpečné zastavení/blokaci/zadržení pohybu

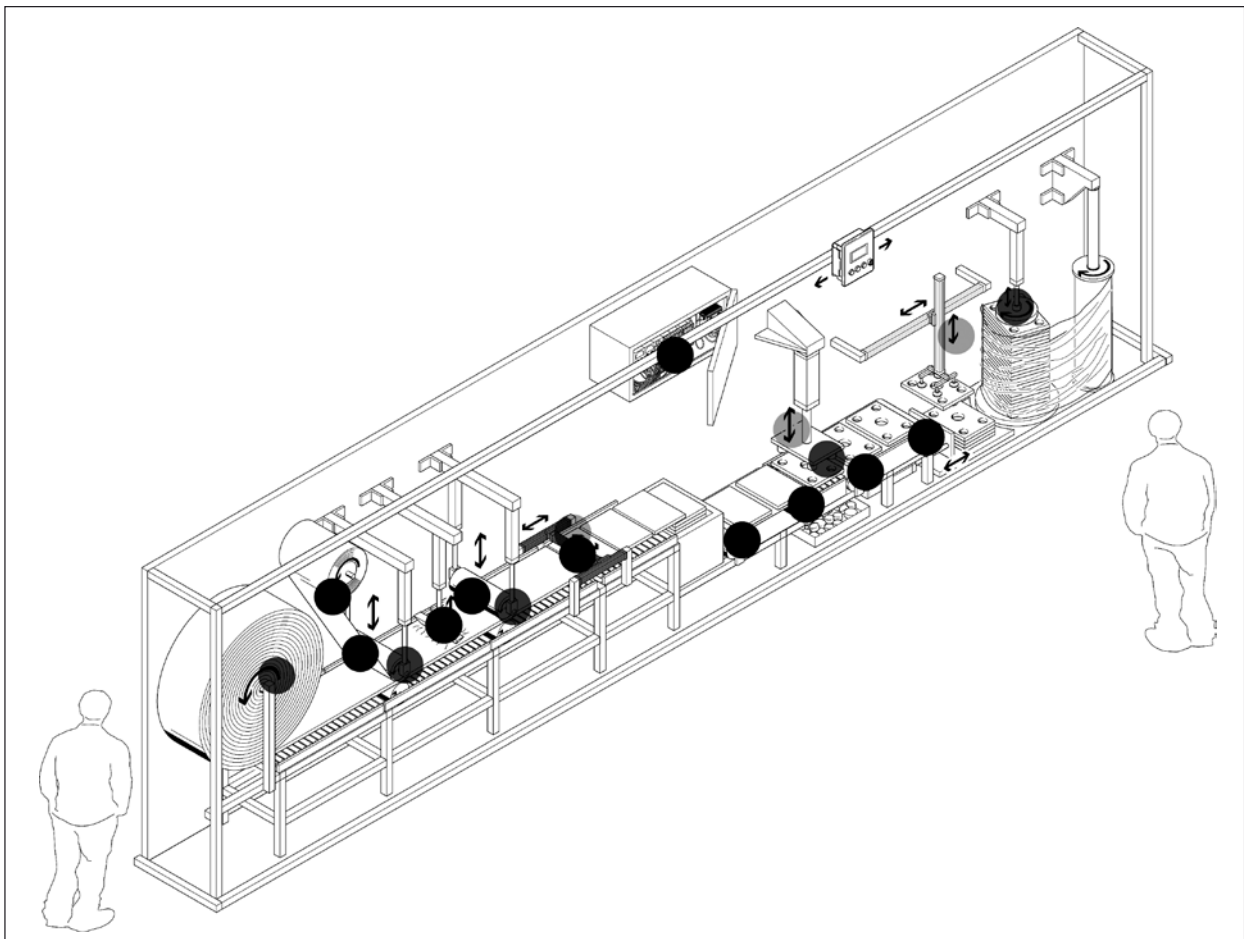


Obr. 4 Příklad integrační techniky - blok ISO ventilů pro bezpečné odvětrání.

stroje, za normálního provozu, v nouzovém režimu i při nastavování a servisu. Jejich úkolem je plnit 10 základních funkcí – přívod tlaku, udržování tlaku, omezení tlaku a síly, odvětrání, dvouruční provoz, omezení rychlosti, uvolnění sil, zastavení, zadržení a blokace pohybu, reverzace pohybu a ochrana před nechtěným spuštěním. S jistotou lze tvrdit, že se vám podaří najít řešení pro všechny části stroje nebo linky (obr. 5).

Technici firmy Festo vám rádi pomohou s řešením vašich požadavků tak, aby věta z úvodu článku vyzněla skutečně naprázdno a aby se nám společně podařilo dokázat, že nové normy našemu společnému snažení napomohly a slouží skutečně dobré věci, tedy ochraně lidí a strojů při práci. Brožurku „Průvodce bezpečným návrhem strojů“ si můžete bezplatně objednat na [support\\_cz@festo.com](mailto:support_cz@festo.com).

Ing. Zdeněk Haumer



Obr. 5 Možná místa nebezpečí ve výrobní lince



## Treba zainvestovať aj do výstav a veľtrhov

Je známe, že výstavy a veľtrhy odzrkadľujú hospodársky rozvoj vo svete. Podľa odborníkov predstavujú jeden z najsilnejších nástrojov obchodnej a marketingovej stratégie. Sú efektívne nasmerované na konkrétnu a potrebnú cieľovú skupinu. Ukázalo sa, že žiadny zánik medzinárodných výstav a veľtrhov nielen v zahraničí, ale aj na Slovensku sa nečrtá. Dokazuje to napríklad veľtrhový gigant Fiera Milano Group alebo Incheba Expo Bratislava.

Firmy vedia, že vo februári 2007 nahradil nový medzinárodný veľtrh LivinLuce a EnerMotive najvýznamnejšie európske podujatie INTEL s 30-ročnou tradíciou. Úvod roku 2007 patril nielen novému podujatiu, ale aj otvoreniu nového výstavniska Milano-Rho. Nový medzinárodný veľtrh elektrotechniky, elektroniky a energetiky bol reakciou na požiadavky zo strany vystavovateľov a návštevníkov. Aby sa ponuka vystavovateľov stretla s adekvátnym záujmom odbornej verejnosti, veľtrh LivinLuce a EnerMotive pripravila veľtrhová spoločnosť Fiera Milano Tech v spolupráci so svetovým lídrom v organizovaní medzinárodných obchodných veľtrhov vo Frankfurte nad Mohanom. Títo veľtrhový giganti našli stabilné postavenie na európskom výstavníctve najzaujímavejšieho veľtrhu Light&Building a nového veľtrhu LivinLuce a EnerMotive. Tento rok v máji veľtrhová spoločnosť Fiera Milano Tech zaviedla novú koncepciu a tematické zameranie veľtrhu LivinLuce a EnerMotive. Svedčí to o rýchlo sa rozvíjajúcom odvetví Svetelná technika, ktoré v apríli t. r. našlo stabilné postavenie na veľtrhu EUROLUCE, takisto na výstavnisku Milano-Rho. Veľtrh LivinLuce si zachoval vedúce pozície v Európe na úseku Verejného osvetlenia a TZB a veľtrh EnerMotive doplnil svoje zameranie o obnoviteľné zdroje elektrickej energie. Preto sa ponuka bratislavskej Incheby, a. s.

na spoluprácu pri organizovaní medzinárodného veľtrhu ELEKTRO EXPO od 30. septembra do 2. októbra 2009 v Bratislave stretla u veľtrhovej spoločnosti Fiera Milano Tech so záujmom.

I keď sa tento rok nesie v znamení svetovej finančnej krízy, v bratislavskom Expo areáli sa úspešne uskutočnil nový medzinárodný veľtrh ELEKTRO EXPO, ktorý sa konal spolu s 3. ročníkom medzinárodného veľtrhu INDUSTRY EXPO od 17. do 19. februára 2009. Tento veľtrh bol prirodzenou reakciou na požiadavky zo strany vystavovateľov a návštevníkov v posledných rokoch a na vývoj produktov a služieb v nomenklatúre elektrotechniky, elektroniky a energetiky, ktoré potrebujú veľkú prezentáciu. Na jeseň od 30. septembra do 2. októbra 2009 sa stretne znovu už na samostatnom veľtrhu ELEKTRO EXPO. Incheba Expo Bratislava si našla stabilné postavenie medzi stredoeurópskymi organizátormi v nomenklatúre elektrotechniky, elektroniky a energetiky. To dokazuje 126 vystavovateľov zo Slovenska, Českej republiky, Nemecka, Rakúska, Španielska a Vietnamu na novom podujatí vo februári 2009. Bratislavský Expo areál so slávnou minulosťou a prítomnosťou má veľmi pekné a moderné výstavné haly, ktoré predstavujú najväčšie halové kapacity na Slovensku, vhodné pre nomenklatúru elektrotechniky, elektroniky a energetiky. Prítom náklady na stánok sú na medzinárodnom veľtrhu ELEKTRO EXPO najnižšie na Slovensku. V tomto roku očakávame v bratislavskom Expo areáli aj transfer poznatkov z najdynamickejšie rastúcich trhov v Rusku a Číne.

Je nesporné, že ak chceme rozhybať ekonomiku, treba nadväzovať styky, získavať prehľad o novinkách, inými slovami zainvestovať aj do výstav a veľtrhov.

Prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc. a Bc. Filip Mikuláš, INCHEBA, a. s., Bratislava

## Polohovací systémy s nanometrovou presnosťou posouvajú techniku k ďalším metám:

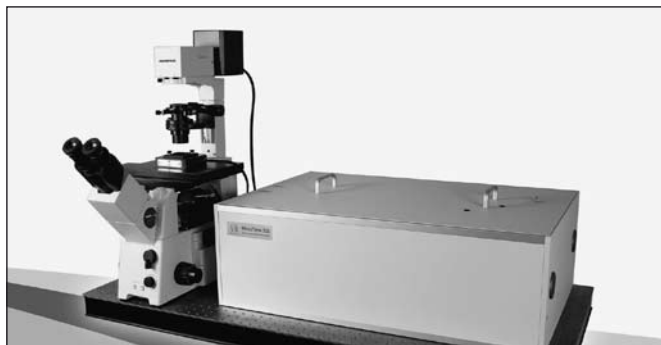
### Fluorescenčný mikroskop pro detekci jednotlivých molekul

Zkoumání jednotlivých molekul je zajímavé pro různé směry výzkumu, protože s jeho pomocí je možné získat informace o chemických vlastnostech nebo biologických funkcích. Vedle měření intenzity fluorescence se ukázala jako další významný parametr doba života fluorescence.

Fluorescenční mikroskop MicroTime 200 (na obrázku) vyvinutý firmou PicoQuant z Berlína využívá časově korelované počítání jednotlivých fotonů ke snímání dat. To umožňuje pořizovat 2D a 3D snímky.

Pro pohon skenovacího stolku se využívá piezoelektrický polohovací systém s nanometrovou přesností od firmy Physik Instrumente (PI) z Karlsruhe. Systém pracuje s náběhovými časy kratšími než jedna milisekunda a svým rozsahem 100 x 100 μm perfektně vyhovuje požadavkům fluorescenční mikroskopie. Opakovatelnost se pohybuje v oblasti nanometrů. To zajišťují přesné kapacitní snímače integrované do polohovacího systému, které provádějí přesné snímání aktuální polohy. S jejich pomocí je možné vhodné přizpůsobit napěťovou rampu pohonu. Pro trojrozměrné snímky je navíc nutné dynamické a přesné nastavení zaostření ve směru optické osy. Také v tomto případě se nabízí využít piezoelektrické

pohonné systémy. Pohony PIFOC-Z, které má PI ve výrobním programu speciálně pro objektivy, zajišťují rovněž opakovatelnost v rozsahu nanometrů.



Fluorescenční mikroskop MicroTime 200 využívá pro snímání dat časově korelované počítání jednotlivých fotonů a umožňuje pořizování jak 2D tak i 3D snímků. Hnací silou pro skenovací stůlek a objektiv jsou piezoelektrické polohovací systémy (foto: PicoQuant)

# Integrované automatizační systémy Siemens zvyšují produktivitu při tváření kovů

Společnost Siemens uvádí na trh nový automatizační systém pro výstředníkové servomechanické lisy. Sada programů s názvem PressLineSimulation umí digitálně zobrazit a optimalizovat celý proces tváření kovů. Tím se šetří drahocenný čas konstruktérů a výrazně klesá pracnost při seřizování lisů a jejich záběhu na začátku výroby. Výsledkem je zvýšení produktivity práce jak na straně výrobců lisů, tak na straně jejich uživatelů. Novinkou je i modul SimoPress Servo, součást systému Simotion pro řízení pohybu, který představuje integrovaný produkt pro automatizaci servomechanických lisů.

Umožňuje efektivněji provozovat lisovací linky, optimalizuje pohyby nástrojů a současně snižuje spotřebu energie.

Výrobci zabývající se tvářením kovů v současné době požadují stále širší nabídku různorodých produktů, které se vyrábějí v čím dál menších výrobních sériích. Provozně pružné a produktivní stroje se neobejdou bez integrovaných automatizačních systémů, modulárních a rozšiřitelných do té míry, aby je bylo možné snadno přizpůsobit požadavkům dané úlohy. Simulační nástroje značky Siemens výrobcům slouží jako podpora při konstruování lisu a umožňují jim zkrátit dobu potřebnou k uvedení výrobku na trh. Uživatel může díky těmto počítačovým programům výrazně zmenšit pracnost seřizování lisů a jejich záběhu. Nástroj PressLineSimulation digitálně zobrazuje celý proces tváření, který tak lze jako celek simulovat a virtuálně optimalizovat. Data reprezentující pohyby nástrojů, která se získávají při simulaci, je pak možné jako celek přenést do systému Simotion pro řízení pohybu.

Sada programů Metal Forming Solution Package uživatelům nabízí integrovaný software pro automatizaci tvářecích strojů. Obsahuje speciální knihovny programů pro pracovní stanice SimoRoll, SimoTrans, SimoFeed a SimoPress určené k použití v oboru tváření kovů. Tyto knihovny kombinují automatizační funkce nabízené ve formě vzorových aplikačních programů (např. pro řízení hlavního pohonu, pro řízení vačkami či uzamykání polohy nástroje a pro správu údajů o nástrojích) s funkcemi sledování a operátorského řízení činnosti stroje. Při použití knihoven lze tudíž prostřednictvím grafického uživatelského rozhraní snadno vytvářet programy pro jednotlivé tvářecí stroje.

Novinkou v nabídce společnosti Siemens pro tuto oblast je i softwarový modul SimoPress Servo pro automatizaci výstředníkových servomechanických lisů.

Nový modul ve spojení s frekvenčními měniči systému Sinamics a instalovanými přímými pohony umožňuje podstatně zvýšit výkonnost a produktivitu servomechanických lisů. Modul SimoPress Servo podle hlavních údajů získaných z lisu a pohonného ústrojí automaticky vypočítává optimální parametry pohybu nástroje. Výsledkem je mnohem větší počet zdvihů nástroje při stejné nebo i menší rychlosti tažení tvářeného materiálu. Díky tomu lze podstatně zmenšit jednicové náklady, a zvýšit tak produktivitu. Rekuperační měniče řady Sinamics společně s inteligentním řízením spotřeby energie dále umožňují lépe rozvrhnout a následně snížit spotřebu energie při tváření. U servomechanických lisů poháněných přímými pohony lze snadno realizovat kývavý pohyb nástroje i manuální způsob ovládní při nastavování parametrů lisu.

Nadstavbou je automatizační systém pro ohýbací stroje CNC, jenž využívá produkty řady Simotion a software BendingOffice. Systém kombinuje přednosti programu CAD/CAM se systémem pro řízení pohybu, čímž se dosahuje výrazného zlepšení produktivity výroby a kvality výrobků. Tento otevřený přístup současně používá inteligentní snímače (např. bezdotykový laserový systém Copra LaserCheck pro měření úhlu ohnutí materiálu) a převodníky síly, a umožňuje tak vytvořit po všech stránkách integrovaný automatizační systém.

Více informací najdete na internetových adresách <http://www.siemens.com> a <http://www.siemens.cz>.

Siemens s.r.o.  
Communications (CC)  
Evropská 33a  
160 00 Praha 6

Jaromír Studený  
Communication manager  
Evropská 33a  
160 00 Praha 6  
Tel.: +420 233 031 733 Fax: -1709  
E-mail: [jaromir.studený@siemens.com](mailto:jaromir.studený@siemens.com)

16. MEZINÁRODNÍ ELEKTROTECHNICKÝ VELETRH  
16. THE INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL TRADE FAIR

**ELEKTROTECHNIKA 2009**  
**ELEKTROTECHNICS 2009**

**10. – 11. 11. 2009 (9.00 - 17.00 hodin)**

**Výstaviště Černá Louka, Ostrava**  
**The Exhibition Ground Černá Louka, Ostrava, Czech Republic**

# NAVŠTIVTE NAŠE



# STRÁNKY

Pro zájemce ze strojírenství a souvisejících průmyslových odvětví je k dispozici řada informací na internetových stránkách odborných veletrhů **FOR INDUSTRY, FOR WASTE a FOR LOGISTIC**, které jsou pořádány v Pražském veletržním areálu pravidelně v jarním období.

Vedle závěrečné zprávy můžete zhlédnout i videoreportáž zachycující atmosféru veletrhů v letošním roce včetně rozhovorů s odbornými partnery a hosty. Neméně zajímavá je také fotogalerie, která obsahuje snímky z výstavních hal a expozic vystavovatelů, z vernisáže a slavnostního vyhlášení výsledků soutěží v rámci společenského večera. Součástí stránek jsou kontakty na vystavující firmy a představení jejich aktuálních nabídek v sekci „Najdete na veletrhu“.

Zveme Vás na stránky veletrhů **www.forindustry.cz, www.forwaste.cz a www.forlogistic.cz**, kde naleznete podmínky pro účast v roce 2010 včetně přihláškových dokumentací vyplnitelných elektronicky ve formátech PDF.

Ve spolupráci s řadou významných institucí, odborných garantů a mediálních partnerů připravujeme již 9. mezinárodní veletrh strojírenských technologií **FOR INDUSTRY**. S jejich podporou nabízíme nejefektivnější podmínky pro prezentaci Vašich firem a nových technologických řešení. FOR INDUSTRY pokračuje v každoroční tradici jarních veletrhů se strojírenskou tematikou v hlavním městě České republiky Praze.

V stejném termínu **30. 3. – 1. 4. 2010** se v Pražském veletržním areálu Letňany uskuteční souběžně 5. mezinárodní veletrh nakládání s odpady, recyklace, průmyslové a komunální ekologie FOR WASTE a 2. mezinárodní veletrh dopravy, logistiky, skladování a manipulace FOR LOGISTIC, který je v souladu s prvotními plány pořádán s dvouletou periodicitou v sudých letech.

Zpracování odpadů s použitím technologií, které jsou co nejšetrnější k životnímu prostředí, je dnes cílem všech, kteří nepřemýšlejí pouze krátkodobě, ale myslí na budoucnost nás všech. Tato problematika se dotýká každého odvětví. Věříme, že spojení specializovaného oboru nakládání s odpady s prezentací dalších důležitých sfér průmyslové výroby nabídne opět ucelený přehled možností včetně konkrétních aplikací a účast na veletrhu **FOR WASTE** bude vhodnou příležitostí k naplnění Vašich podnikatelských záměrů.

Svět prochází složitým obdobím. Ekonomická krize, nebezpečí terorismu pro dodavatelské řetězce, politická nestabilita, růst sociálních problémů – to jsou jen některé nepříznivé aspekty, které ovlivňují život každého z nás a samozřejmě se promítají i do národní ekonomiky. Logistika má jednu velkou přednost. Díky tomu, že její přínos je především v aplikační rovině a její realizace závisí na konkrétních opatřeních jednotlivých zúčastněných subjektů, dokáže pružně reagovat na všechny vnější vlivy a přicházet s novým progresivním řešením. Cílem České logistické asociace je prezentovat nová úspěšná řešení i nové přístupy, kterými současná logistika disponuje.

Za vhodný prostor pro takovou prezentaci považuje mezinárodní veletrh, který poskytuje kromě klasických veletržních aktivit i prostor pro setkání odborníků a specialistů z dané oblasti. Mezinárodní veletrh **FOR LOGISTIC** tyto parametry splňuje. Již v zahajovacím roce 2008

se podařilo vytvořit důstojný prostor pro prezentaci současné logistiky a prostředí, které jak vystavovatelé, tak návštěvníci akceptovali s uznáním. Česká logistická asociace fungovala jako odborný partner minulého veletrhu a po oboustranně dobrých zkušenostech ráda přijímá nabídku organizátorů k této spolupráci i v roce 2010. Podle jejího názoru se podařilo vytvořit předpoklady pro rozvíjení nové tradice kvalitního logistického veletrhu v Praze. V roce 2010 se očekává pozvolný růst celosvětové ekonomiky a logistika nabízí konkrétní nástroje pro její efektivní rozběh.

Dnešní doba ve firmách je ve znamení úsporných opatření. Řešením je kreativní myšlení a podnikání aktivních kroků. Být vidět, nadále pečovat o své zákazníky, získávat nové kontakty, představit nejnovější technologie – to je cesta pro podporu prodeje. Jedním z nejúčinnějších komunikačních nástrojů jsou veletrhy. Při rozhodování o účasti hrají roli finance určené na propagaci. Veletržní správa ABF, a.s. nabízí v rámci souboru jarních veletrhů **FOR INDUSTRY, FOR WASTE a FOR LOGISTIC 2010** řadu atraktivních řešení pro co nejefektivnější prezentaci. Aktuální informace najdete právě na webových stránkách jednotlivých veletrhů:

**www.forindustry.cz,**  
**www.forwaste.cz**  
**www.forlogistic.cz**



# The 1<sup>st</sup> Dvořák Lecture

By Yoshihiro Ishibashi Professor Emeritus, Nagoya University, Japan

Thermodynamic Approach to Nano-Inhomogeneous Ferroelectrics  
(Fruits from Collaboration with Vladimír Dvořák)

June 10, 2009 at 3:00 pm

Institute of Physics of the AS CR, v. v. i., Na Slovance 2, CZ-182 21 Praha 8, Czech Republic

## Annotation

Collaboration with Vladimír Dvořák started when he stayed in Nagoya for three months in 1975, and lasted until his final days. His visit to Nagoya gave me big stimuli and benefits. I could learn how to apply the group theory to phase transitions directly from him, and since then we could jointly make a certain contribution to the progress of the theory of ferroelectric phase transitions. Among our joint works, the most memorable one is the development of the theory of the incommensurate phase transitions, of which much was not known at that time. This subject had been already discussed among us during his stay, but the first joint paper reporting results of research appeared in J. Phys. Soc. Japan in January 1978, more than two years after his return to Prague. I am now reminded fondly of great patience required in Prague and Nagoya in the days of air-mail communication at the best.

Next, a theory of the morphotropic phase boundary (MPB) in the system of perovskite-type ferroelectric solid solutions will be presented.

It has turned out that gigantic electromechanical responses found in solid solutions sitting in the vicinity of MPB are all attributable to a near-isotropic potential energy expressed in terms of the order parameters, that is, the x, y and z components of the polarization in the present case. This kind of view may be applied to improve physical properties of magnetostrictive rare earth – Fe<sub>2</sub> compounds like Terfenol. Also the present idea may be utilized to produce soft magnets.

Finally, recent development of the theory of finite size ferroelectrics within the Tilley-Zeks model will be told, where the extrapolation length is introduced to specify the boundary conditions. After having been able to interpret the extrapolation length in a physically reasonable way, we could derive the exact expressions for the transition temperature, the linear and nonlinear dielectric susceptibilities, the Curie constant, the characteristic modes and frequencies for any combination of the extrapolation length at both boundaries. These exact expressions will provide firm bases when investigating systems, which consist of many different regions of finite size.



## Yoshihiro Ishibashi

Born 1935, after studying and defending his thesis at the University of Tokyo in 1963, he became assistant professor at the University of Tokyo, later at Nagoya University. 1978-1999 he took professor position at the School of Engineering, Nagoya University and 1999-2009 professor position at Aichi Shukutoku University. Presently he is professor emeritus at Nagoya University. 1966-1968 research consultant at Ford Motor

Company (USA), in 1981 guest professor at University of Dijon and 2001-2005 visiting professor at Malaysia Science University. Member of many important councils and advisory committees. Associate editor of *Ferroelectrics*, *Ferroelectrics Letters*, *Ferroelectrics Reviews* and *Integrated Ferroelectrics*. Author of more than 600 publications in peer-review journals with more than 7000 citations, h-index 39.

His main scientific achievements concern theory of ferroelectric, antiferroelectric and incommensurate phase transitions in various crystals and liquid crystals, theory of ferroelectric domain switching, thermodynamic theory of morphotropic phase boundaries in perovskite ferroelectrics etc. With V. Dvořák he published 13 highly cited papers, mainly on incommensurate phase transitions, improper ferroelectrics and antiferroelectrics.



## Vladimír Dvořák (1934-2007)

Solid state physicist, the most prominent Czech scientist in the theory of ferroelectricity and structural phase transitions, for the whole productive life affiliated with the Institute of Physics, Acad. Sci. Czech Rep. in Prague, its director in 1993-2001, member of the Learned Society since 1995. The main protagonist of the revolutionary reforms in the Institute of Physics after 1989.

His main achievement was progress in the theory of improper ferroelectrics and incommensurate phase transitions achieved by a generalization of the group formulation of the Landau theory of phase transitions. For years he would be one of the most cited and internationally renowned scientist of the Institute. His personality has strongly influenced the scientific program and development in the Department of Dielectrics of the Institute since the late sixties up to present. Brilliant lecturer and most respected director of the Institute.

To commemorate his work and personality, the Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic decided to organize an annual festive Dvořák lecture, given by prominent internationally renowned scientists in the field related to the research pursued at the Institute of Physics.

 **Fyzikální ústav**  
Akademie věd ČR, v. v. i.

# Seminář Vladimíra Dvořáka

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., se rozhodl ustavit **výroční seminář Vladimíra Dvořáka**, který byl nejvýznamnějším českým teoretickým fyzikem v oboru feroelektrik, dlouholetým zaměstnancem a ředitelem ústavu v letech 1993-2001. Semináře se budou konat vždy jednou ročně v červnu a na přednášky budou zváni renomovaní a mezinárodně uznávaní badatelé v oborech, které se váží k problematice studované ve Fyzikálním ústavu.

První přednášku na semináři Vladimíra Dvořáka přednesl nejbližší a nejvýznamnější Dvořákův zahraniční spolupracovník, prof. Yoshihiro Ishibashi (Nagoya University, Japan) na téma

## „Thermodynamic Approach to Nano-Inhomogeneous Ferroelectrics (Fruits from Collaboration with Vladimír Dvořák)“

dne **10. června 2009 v 15 hod. v posluchárně Fyzikálního ústavu Na Slovance 2, Praha 8**. Přednáška byla věnována aspektům termodynamických teorií feroelektrik a fázových přechodů, aplikovaných na problémy nano-nehomogenních systémů.

Bližší informace: RNDr. Jan Petzelt, DrSc., FZÚ AV ČR, v. v. i., tel.: 266 052 166, e-mail: petzelt@fzu.cz

## První přednáška na semináři Vladimíra Dvořáka

Vladimír Dvořák (1934-2007) byl nejvýznamnější český fyzik v oboru teorie feroelektrických a strukturních fázových přechodů a jeden ze zakladatelů fyziky feroelektrik u nás. Cely svůj produktivní život od r. 1957 zasvětil práci ve Fyzikálním ústavu AV ČR, kde r. 1961 obhájil kandidátskou a r. 1978 doktorskou disertační práci. Laureát státní ceny (1975), držitel stříbrné plakety za zásluhy o rozvoj ve fyzikálních vědách (1984), člen Učené společnosti ČR (1996), čestný titul dr. h. c. udělený univerzitou Paris Nord (2001), nositel medaile J. Hlávky (2001) a E. Macha (2003). Ředitel Fyzikálního ústavu AV ČR (1993-2001). Podrobněji viz Vzpomínka na Vladimíra Dvořáka (Čs. čas. fyz. 57, 339 (2007)).

Vedení Fyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i. iniciuje vznik nové přednáškové tradice zasvěcené památce V. Dvořáka. Jednou ročně hodlá organizovat přednášku významných světových fyziků pracujících v oborech, které se ve Fyzikálním ústavu studují. První přednáška v této sérii byla proslovena nejbližším Dvořákovým zahraničním spolupracovníkem, japonským fyzikem, profesorem Y. Ishibashim, a to 10. června 2009.

Yoshihiro Ishibashi (nar. 1935) je, podobně jako byl V. Dvořák, zřejmě nejvýznamnější japonský fyzik v oboru teorie feroelektrik a strukturních fázových přechodů. Je autorem více než 600 publikací v impaktovaných časopisech s více než 7000 citacemi (Hirschův index 39). V r. 1975 pozval V. Dvořáka na 4měsíční pracovní pobyt na univerzitu v Nagoye, kde byl v té době docentem (a od r. 1978 do 1999 řádným profesorem; nyní je tamtéž emeritním profesorem). Tento pobyt se stal zdrojem velice úspěšné dlouholeté spolupráce



mezi oběma fyziky, jehož výsledkem bylo 13 hodnotných publikací (publikovaných vesměs v J. Phys. Soc. Japan v letech 1976-1994). K tomu je třeba si uvědomit, že jejich následný mnohaletý kontakt se odehrával téměř výhradně zdlouhavou cestou klasických dopisů, což je v dnešní době téměř nepředstavitelné.

Společným jmenovatelem většiny jejich společných prací byla termodynamická teorie určitých typů strukturních fázových přechodů, vybudovaná na základě grupově-teoretické formulace Landauova-Ginzburgova rozvoje hustoty volné energie, zohledňující prostorovou grupu symetrie dané třídy látek. Největším přínosem jejich prací byla zřejmě první formulace takové teorie pro fázové přechody do nesouměřitelně modulovaných fází a diskuse symetrických kritérií pro existenci takových přechodů. To se stalo základem pro další rozvoj studia takových fází a fázových přechodů, velice populárního koncem sedmdesátých a v osmdesátých letech minulého století. Ve své přednášce se prof. Ishibashi také dotkl pozdější problematiky týkající se teorie morfotropních fázových hranic v některých feroelektrických pevných roztocích, dnes velice studovaných pro své zajímavé aplikace, zejména atraktivní piezoelektrické vlastnosti, ale nově i magnetostriční jevy. Dále se též zmínil o problematice rozměrového jevu feroelektřiny (tj. poklesem či vymizením spontánní polarizace v malých systémech), dnes velice aktuálního v souvislosti s rozvojem nanotechnologií.

RNDr. Jan Petzelt, DrSc.  
Fyzikální ústav AV ČR

# CONTENTS

<b>Optical system of boroscop I</b> (J. Keprt, L. Pospíšil).....	235
The discussed boroscop optical system is realised by its three main parts. The first one is a wide angle supplementary imaging member consisting of the plan-concave diverging lens and the first plan-convex converging lens. The second part is a basic lens system formed by the first cemented converging lens, the second simple converging lens and the second cemented converging lens. The third one, so called additional repeatedly extending part, consists from the free converging lens (the same as the second converging lens) and the cemented converging lens identical with the cemented lens of the second part. In the case of a weak optical signal an original set-up variant is used employing an enhanced system aperture and cameras equipped with smaller-sized CCD chips.	
<b>Keywords:</b> boroscop, free converging lens, free diverging lens, cemented lens, CCD camera chip	
<b>Material sensitivity of magneto-optical ellipsometry in nanostructures</b> (K. Postava, D. Hrabovský, O. Životský, J. Pištora) .....	243
In the paper we discuss material selectivity of magneto-optic ellipsometry to components of magnetic nanostructures. Magneto-optical angles (Kerr rotation and ellipticity) have different sensitivity to particular components of nanostructures. A method for separation of their magneto-optic signals using a linear combination of measured hysteresis loops is proposed. The method is supported using the model based on calculation of electromagnetic wave reflection from the nanosystems and experimentally demonstrated on the structures of: (i) periodic multilayers consisting of NiFe and Co ultrathin films; (ii) magnetically hard nanoparticles in surface layer of amorphous FeNbB ribbons; and (iii) selforganized multiferroics on basis of Bi- and Co-ferrite.	
<b>Photovoltaic electric station in Rokytnice nad Jizerou</b> (V. Beránek, M. Libra).....	248
<b>EuroBLECH 2010</b> .....	250
<b>Designing of refractive index of NaCl solution using SPR</b> (P. Otipka, J. Vlček, M. Lesňák).....	251
In presented paper we summarize some results obtained by testing of recently prepared mathematical model for inverse optical scattering problem. The computational scheme is based on the matrix model of planar multilayer and implemented in Matlab-code which uses the built-in Nelder-Mead algorithm for non-linear regression.	
<b>LASER World of PHOTONICS – trade-fair and conferences</b> (P. Tománek).....	254

**Automatic control of colour marks for springs in automotive industry** (M. Čepl, G. Ivanov, A. Kratochvíl, H. Hiklová, M. Hrabovský)..... 255  
The paper describes general resolving of task, which was solved in our workplace for firm Mubea HZP Ltd. in Prostějov. Colour marks at the surface of automobile spring are scanned by camera. Consequently computer program analyses marks' images and determines what manipulator will do with the spring. Key elements of resolution, working conditions and reasons for choice of specific devices are describes here too.

**MESING at International Engineering Fair Brno 2009** (J. Kúr, D. Smutný, P. Kracík,) ..... 259  
Some innovations are presented at International Engineering Fair BRNO 2009. MESING traditionally exposes together with AQUASTYL SLOVAKIA.

**Festo security** (Z. Haumer)..... 261

**It is necessary to embark in exhibitions and trade-fairs too** (P. Horňák, F. Mikuláš)..... 263

**Fluorescent microscope for detection of single molecules** ..... 263

**Integrated automation systems Siemens can enhance productivity of metal forming** (J. Studený)..... 264

**Vladimír Dvořák's seminar**..... 267

**First lecture in Vladimír Dvořák's seminar** (J. Petzelt) ..... 267

**VISION 2009** (S. Stoll).....268

## ANOTACE

**Vytváření rovných optických povrchů leštěním** (Y. Filatov, V. Sidorko) .....239  
Užitím fyzikálně-statistických metod je analyzováno vytváření kalových částic z obrobku během leštění a klastrový model opotřebení, dosažení přesnosti rovných optických povrchů a rovnoměrnost opotřebení pracovní vrstvy nástroje. Výsledky jsou experimentálním ověřením vypočtených hodnot účinnosti leštění, rychlosti opotřebení nástroje a profilu přesnosti interagujícího nástroje a povrchů obrobku.

## VISION 2009

### 22. mezinárodní veletrh pro průmyslové zpracování obrazu a identifikační technologie

**VISION má dvě hlavní oblasti:** komponenty pro průmyslové zpracování obrazu, které má v programu 70 % všech vystavovatelů a systémy pro průmyslové zpracování obrazu, které představí 44 % účastníků. 34 % z celkového počtu vystavovatelů přináší aplikace průmyslového zpracování obrazu (několikanásobné využití). Portfolio veletrhu však nabídne i kamery, Frame Grabber, optické a osvětlovací systémy, procesory, softwarové nástroje, identifikační systémy a služby. Četné novinky se objeví především v oblasti zpracování obrazu 3D, protože průnik průmyslového zpracování obrazu do třetí dimenze je nezadržitelný. Sem patří kamery, které ke každému šedému zobrazení poskytnou druhý obraz reálných vzdáleností pro každý pixel, a to v reálném čase až 20 obrázků za sekundu. Tyto údaje jsou

důležité například pro řízení automatického třídění. Nebo analýzy 3D, které umožňují vysoce přesnou průběžnou synchronizaci kamer, potřebnou například pro testy „crash“ v automobilovém průmyslu, kde snímání provádějí různé kamery z různé perspektivy. Novinky jsou i v osvětlovací technice, která výrazně ovlivňuje výkonnost systémů pro zpracování obrazu.

Letošními trendy jsou jednak inteligentní kamery, které disponují kompletními funkcemi počítače a současně jsou stále kompaktnější, takže je lze snadno integrovat do výrobních linek, jednak jednoduchá obsluha, která umožňuje konfigurovat systémy pro průmyslové zpracování obrazu i bez speciálních znalostí programování.

(Pokračování na 3. straně obálky)

(Pokračování ze str. 268)

Důsledkem inovací obrazových senzorů je stále vyšší rozlišení a zvyšující se citlivost na světlo. Vysokorychlostní kamery, které byly dříve vyhrazeny zejména vědcům, pozvolna přecházejí do nových kategorií, které jsou zajímavé i pro průmyslové využití.

Trend přitom směřuje k mobilním systémům uloženým v kufríku, které urychlí vyhledávání závad přímo na místě. Jestliže například plniřna lahví nepracuje správně, protože došlo k posunu jednoho z drapákových ramen, může vysokorychlostní kamera zachytit rychle vadu, kterou ani odborník nedokáže pouhým okem odhalit. Hnacím motorem pro inovace však nejsou pouze technologické schopnosti inteligentních vizualizačních systémů, ale i snaha po hospodárnosti. 100% kvalitativní kontrolu zajistí pouze systém průmyslového zpracování obrazu, a to i při velké rychlosti výroby a velkém množství materiálu. A je přitom lhostejné, zda se jedná o výrobu automobilů, elektroniky, skla, plastu nebo polovodičů – při použití systémů pro zpracování obrazu jsou procesy bezpečnější, efektivnější a cenově výhodnější.

Cílovou skupinu návštěvníků veletrhu VISION tvoří manažeři, vedoucí pracovníci, plánovači, techničtí vedoucí, mistři a rovněž výrobní pracovníci ze sektorů, které tuto moderní techniku nejvíce využívají – strojírenství, automobilový průmysl a elektroprůmysl. VISION ale zároveň oslovuje i uživatele z nesčetných dalších oborů, jako je zemědělství, biotechnologie, chemie, tiskařský průmysl, jemná mechanika a optika, výroba a zpracování skla, pryže, plastu, fólií, zpracování dřeva, letecký průmysl a kosmonautika, lékařství, mikroskopie, potravinářský průmysl, farmakologie a kosmetika, bezpečnostní technika a biometrie, telekomunikace, textilní a oděvní průmysl, doprava a logistika. Uživatelé produktů z těchto oborů jsou částečně doma v regionu Stuttgart, jako např. Audi, Bosch, Daimler AG, Porsche nebo ZF Friedrichshafen, a to včetně svých subdodavatelů. Systémy a komponenty pro průmyslové zpracování obrazu se však uplatní i v průmyslu výroby a zpracování plastů, které jsou následně používány v letectví a kosmonautice, zkušební, měřicí a regulační technice i informační a komunikační technice a dostávají se i do celé řady nevýrobních oblastí.

#### **Přednáškové fórum Industrial VISION Days**

Stále větší oblibě se těší zejména Industrial VISION Days, pořádané pod vedením specializovaného oddělení pro průmyslové zpracování obrazu společnosti VDMA (Verband Deutscher Maschinen – und Anlagenbauer). Třídenní maratón přednášek s více než 40 referáty nabízí výrobcům, uživatelům i vědcům ideální prostor pro výměnu výsledků výzkumu nebo pro prezentaci uživatelských aplikací. Přednášky obvykle vyvolají živé diskuse, často přímo v jednotlivých výstavních stáncích. Spektrum témat Industrial VISION Day přitom pokrývá oblast od ekonomických otázek přes správnou orientaci v džungli rozhraní až k úlohám zaměřování a inspekce, prováděným kontrolními systémy 3D. Část přednášek bývá v angličtině. V posledním roce projevilo o Industrial VISION Days zájem kolem 2700 návštěvníků veletrhu. To je velký úspěch, za který je třeba poděkovat zejména specializovanému oddělení pro průmyslové zpracování obrazu.

Na veletrhu VISION je však možné navázat kontakt nejen s VDMA, ale ještě se dvěma dalšími sdruženími: EMVA – Europea Machine Vision Association, které vzešlo z VDMA a AIA – Automated Imaging Association, severoamerickým sdružením pro zpracování obrazu. Právě americké sdružení má velký zájem o intenzivnější kontakty výrobců ze Starého a Nového světa.

VISION se koná od 3. do 5. listopadu 2009 na ploše Neue Messe Stuttgart, přímo vedle hřiště. Veletrh bude otevřen denně od 9.00 do 17.00 hod. Vstupné činí 22 €.

*Silvia Stoll*

#### **Kontakt:**

Silvia Stoll, tisková mluvčí, tel.: +49-(0)7112589-696, fax: -305, silvia.stoll@messe-stuttgart.de

V centru obchodu

Messe Stuttgart



Chcete, aby byly Vaše výrobní procesy rychlejší a bezpečnější? Chcete snížit chybovost a minimalizovat zmetkovost? Chcete vyrábět levněji a zkvalitnit své výrobky?

### **Pak jste i Vy VIZIONÁŘ**

Optimalizujte zajištění kvality inteligentními systémy zpracování obrazu. VISION, hlavní světový veletrh průmyslového zpracování obrazu, přináší řešení pro četná odvětví: strojírenství a automobilový průmysl, balírenský a potravinářský průmysl, dopravu a logistiku, bezpečnostní techniku a mnoho dalších. V Application Park a VISION Integration Area Vám představíme systémová řešení State-of-the-art a nové aplikace pro zpracování obrazu.

**S VISION  
Integration Area  
& Application Park**

# VISION 2009

**22. mezinárodní odborný veletrh  
pro průmyslové zpracování obrazu  
a identifikační technologie**

**Messe Stuttgart hala 4+6  
3. - 5. listopad 2009**

[www.vision-messe.de](http://www.vision-messe.de)

# MESING<sup>®</sup>

## Měřicí a automatizační technika

- provozní měřidla
- kontrolní a základací přípravky
- měřidla úchylek geometrického tvaru a polohy
- kalibrační měřidla
- bezkontaktní měřidla povrchových defektů, vlnitosti, drsnosti a zábrusů
- měřidla momentů, deformace a síly
- snímače a elektronické jednotky
- jednoúčelové stroje, rovnací lisy
- kontrolní stanice a třídící automaty
- kontrolně - technologické linky

**MSV BRNO od 14. do 18.9.2009  
pavilon F, stánek č.16**



MESING Brno, spol.s r.o.  
Mariánské nám. 1, 617 00 Brno  
tel. +420 545 426 211, fax +420 545 426 219  
e-mail: info@mesing.cz

[www.mesing.cz](http://www.mesing.cz)