

**9**  
**2007**

# JMO

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS

**Jsme pro Vás dostupnější  
než si myslíte**

**FESTO**



➔ MSV 2007 v Brně | hala F | stánek 24

### **Hraj a vyhraj**

- zahrajte si golfovou hru o ceny
- [www.festogolfcup.cz](http://www.festogolfcup.cz)

**1. – 5. 10. 2007**  
hala F | stánek 24



MSV 2007

# VYSOKORYCHLOSTNÍ BAREVNÁ DIGITÁLNÍ KAMERA záznam, sledování a analýza rychlých dějů

VÚTS Liberec, a.s. vlastní dvě soupravy unikátní vysokorychlostní barevné digitální kamery Olympus i-SPEED 2, včetně bohatého potřebného příslušenství a SW vybavení.

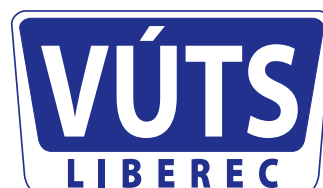
Tento systém je schopen zaznamenat, sledovat a analyzovat velmi rychlé děje a umožňuje formou vysoké obrazové nahrávací frekvence rychlé události nahrát a tyto následně na monitoru zpomaleně přehrávat.

V průmyslu i při výzkumu je mnoho případů, kdy je potřeba rychlé děje zviditelnit. Použitím tohoto systému se obdrží nové cenné informace, potřebné ke sledování průběhů rychlých dějů.

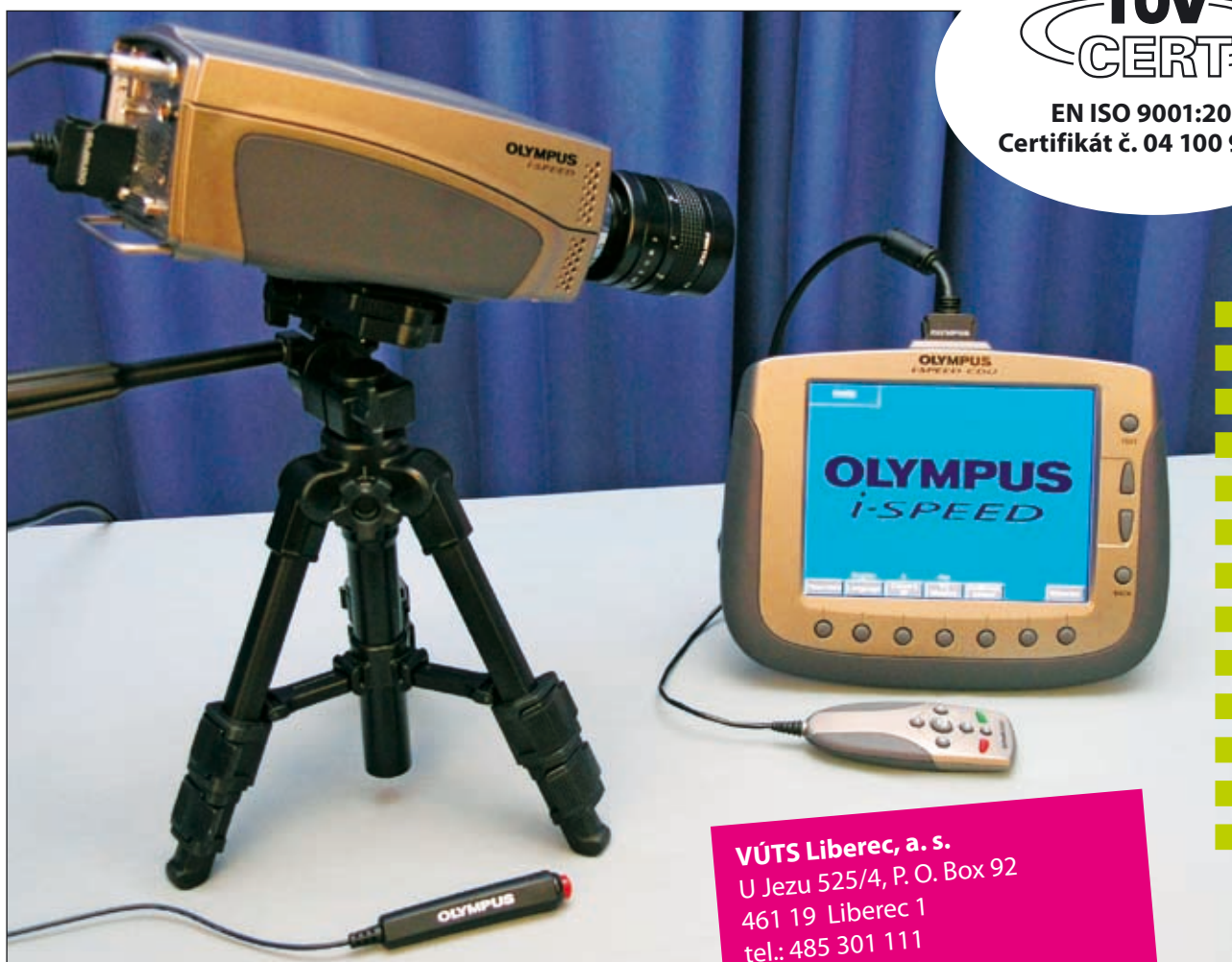
Vysokorychlostní kameru lze ovládat z obrazového řídicího modulu CDU nebo PC, s možností definování funkce spouště v širokém rozsahu. Barevný digitální záznam ve formátu „avi“ je možné nahrát na DVD, CD nebo do PC a dále s ním pracovat.

## Vybrané technické parametry:

obrazový senzor:	CMOS barevný nebo monochromatický, antiblooming
počet snímaných bodů:	800 x 600 (při plném rozlišení)
obrazová frekvence:	až 33 000 obr./sec (při redukovaném rozlišení) 1000 obr./sec (při plném rozlišení)
záznamová doba:	8 sec
interní paměť:	4 GB



EN ISO 9001:2000  
Certifikát č. 04 100 970752



**VÚTS Liberec, a. s.**  
U Jezu 525/4, P. O. Box 92  
461 19 Liberec 1  
tel.: 485 301 111  
fax: 485 302 402  
e-mail: vuts@vuts.cz  
<http://www.vuts.cz>

## REDAKČNÍ RADA

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

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

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

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

**Odpovědný zástupce vydavatele:** prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc.  
**Šéfredaktor:** dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

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

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

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

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

**Předplatné:** Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou 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 2007

# JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS  
ROČNÍK 52 9/2007

## OBSAH

- Separace polárních a longitudinálních komponent magnetizace při magneto-optických měřeních. Lineární a kvadratické Kerrovy jevy** (O. Životský, K. Postava, A. Stupakiewicz, Z. Kurant, A. Maziewski) ..... 243
- Možnosti hodnocení tloušťky lepené vrstvy** (M. Müller, R. Chotěborský) ..... 247
- Vnútorné chlazené Si monochromátory pre synchrotrónne žiarenie** (P. Oberta, J. Hrdý, B. Lukáš) ..... 250
- Matematicko - štatistický model rezných síl v závislosti od rezných podmienok** (M. Gombár, A. Pella) ..... 253
- Prezentace strojírenství v Praze opět v dubnu 2008** ..... 256
- Aký jasomer je vhodný pre úradné meranie?** (P. Horňák, M. Košťál) ..... 257
- Vliv clonového čísla na optické zobrazení** (A. Mikš) ..... 262
- Nové podněty pro inteligentní automatizaci** ..... 265
- Z dílny starých mistrů** ..... 267
- Svět „aluminiového outsourcingu“** (V. Bařina) ..... 268
- Univerzitní profesor RNDr. Miroslav Jaroslav Hrabovský, DrSc. jubilující** (V. Malíšek) ..... 270
- Akademie věd v Olomouci** (red.) ..... 272

Obsah časopisu Jemná mechanika a optika je uveden na internetu: <http://jmo.fzu.cz>

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

Cena čísla 40 Kč včetně DPH



## ADVISORY BOARD

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

**Members:** Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír 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 KRŠÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Bohumila LENCOVÁ - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), František MÁČA, Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Ing. Monika MÍČHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav 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 SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - 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 2007

# FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

VOLUME 52

9/2007

## CONTENTS

- Separation of polar and longitudinal magnetization components in magneto-optic measurements. Linear and quadratic Kerr effects** (O. Životský, K. Postava, A. Stupakiewicz, Z. Kurant, A. Maziewski) ..... 243
- Thickness evaluation of bonded layers** (M. Müller, R. Chotěborský) ..... 247
- Internally cooled Si monochromators for synchrotron radiation** (P. Obera, J. Hrdý, B. Lukáš) ..... 250
- Mathematical - statistical model of cutting forces on dependence of cutting conditions** (M. Gombár, A. Pella) .... 253
- Engineering presentation again in Prague on April 2008** ..... 256
- What a luminance meter is advisable for official measurements?** (P. Horňák, M. Košťál).....257
- Influence of the F-number in optical imaging** (A. Mikš)..... 262
- Smart automation – new challenge** ..... 265
- The world of “aluminium outsourcing”** (V. Bařina) ..... 268
- Professor RNDr. Miroslav Jaroslav Hrabovský, DrSc. celebrating his 60<sup>th</sup>** (V. Malíšek)..... 270
- Academy of Sciences in Olomouc** (red.) ..... 272

You can also find the contents of the Journal on internet:  
<http://jmo.fzu.cz>

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

# Separace polárních a longitudinálních komponent magnetizace při magneto-optických měřeních. Lineární a kvadratické Kerrovy jevy

*Je podán obecný přehled metod sloužících k separaci lineárních a kvadratických magneto-optických jevů při odrazu. Detailně je ukázána závislost reflexních koeficientů a magneto-optických úhlů Kerrovy rotace a elipticity na jednotlivých složkách magnetizace a také na úhlu dopadu světelného svazku na zkoumaný systém, což je jedno z klíčových kritérií výběru metody. Separace polárního, longitudinálního a transverzálního příspěvku je pak demonstrována na systému Au/Co/Au s využitím metody rotace vzorku a magnetického pole.*

**Klíčová slova:** polární, longitudinální a transverzální magnetooptický Kerrův jev, magnetooptická vektorová magnetometrie, kvadratické magnetooptické jevy

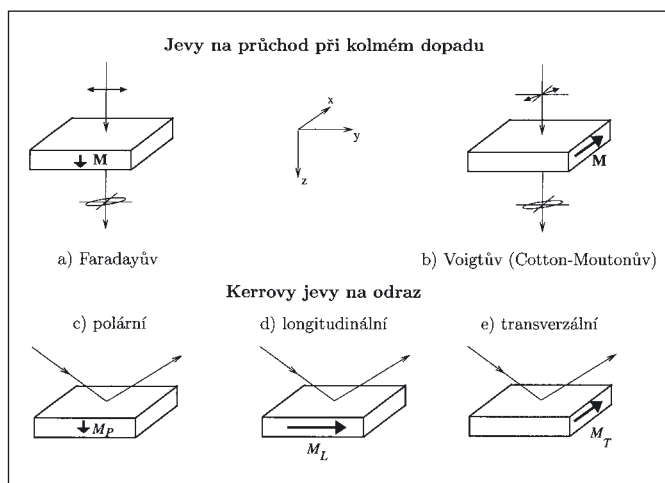
## 1. ÚVOD

Magnetooptika je v současné době rychle se rozvíjející vědní obor, který je tradičně využíván zejména v aplikacích v oblasti záznamu a čtení informace [1]. Díky mnoha svým výhodám, jako extrémní citlivost k ultratenkým vrstvám, povrchům a rozhraním, rychlost nebo relativně nízká cena, jsou dnes magnetooptické (MO) metody široce používány pro zkoumání magnetických vlastností struktur s rozměry v nanometrové škále. Jedná se hlavně o tenké vrstvy a multivrstvy, povrchy nebo periodické a amorfni struktury [2]. MO metody nabízejí také další aplikace u magnetických senzorů [3-5].

Obecně lze magnetooptické jevy rozdělit do dvou kategorií: jevy na průchod a jevy na odraz (viz obr. 1). Faradayův jev na průchodu [6] (obr. 1a) je založen na stáčení roviny polarizace při průchodu světla prostředím zmagetovaným paralelně s jeho šířením. Je často využíván k rotaci polarizační roviny (Faradayovy rotátory), k modulaci světla (Faradayovy modulátory) nebo k izolaci zpětných reflexí v optických komunikačních systémech. Při magnetizaci kolmé na směr šíření světla hovoříme o Voigtově (Cotton-Moutonově) jevu (obr. 1b). Tento jev je kvadratický (sudý) v magnetizaci a je nazýván jevem druhého řádu.

V našem příspěvku se ale zaměříme na změny polarizačního stavu způsobené odrazem světla od zmagetované látky. Na obr. 1c,d,e jsou ukázány tři základní konfigurace rozlišené podle orientace směru magnetizace: polární (kolmá na rovinu rozhraní), longitudinální (rovnoběžná s rovinou dopadu a rozhraní) a transverzální (kolmá na rovinu dopadu). Schopnost magnetooptických metod měřit všechny tři komponenty magnetizace vedla ke vzniku metody nazvané magnetooptická vektorová magnetometrie [7, 8]. Jejím hlavním úkolem je důkladná separace všech tří komponent magnetizace, což se jeví jako klíčové pro praktickou aplikovatelnost zkoumaných systémů.

Cílem tohoto článku je přehledně shrnout základní metody sloužící k oddělení jednotlivých lineárních a kvadratických složek magnetizace pomocí magnetooptických jevů. Základní definice magnetooptických úhlů Kerrovy rotace a elipticity a popis lineárních a kvadratických Kerrových jevů je uveden ve druhé části. Třetí část je věnována separačním metodám při kolmém a téměř kolmém dopadu. Vliv rotace vzorku o 180° na jednotlivé komponenty magnetizace je ukázán ve čtvrté části. Separace všech tří lineárních složek je pak detailně ukázána na systému obsahujícím magnetickou kobaltovou vrstvu o tloušťce 2,5 nm.



Obr. 1 Základní konfigurace magnetooptických jevů pro průchod a odraz

## 2. LINEÁRNÍ A KVADRATICKÉ KERROVY JEVI

V této části budou uvedeny definice základních magnetooptických parametrů a vysvětlen princip magnetooptických metod v reflexi. Pro jednoduchost budeme diskutovat příspěvky Kerrových jevů od polonekonečného prostředí, naše závěry je však možné zobecnit na MO jevy ve vrstvách i multivrstvách [9] a platí analogicky i pro jevy na průchod.

Vlastnosti vzorku jsou charakterizovány Jonesovou reflexní maticí  $\mathbf{R}$  vyjadřující transformaci odražených a dopadajících amplitud ve směrech  $s$  (osy  $x$ ) a  $p$  (osy  $y$ ) ve tvaru:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{ss} & r_{sp} \\ r_{ps} & r_{pp} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Předpokládáme, že na vzorek dopadá světlo se známou polarizací,  $s$ -lineární polarizace (kolmá na rovinu dopadu, příčně elektrická vlna TE) nebo  $p$ -lineární polarizace (v rovině dopadu, příčně magnetická vlna TM). Členy Jonesovy reflexní matice  $\mathbf{R}$

nazýváme komplexními amplitudovými reflexními koeficienty  $r_{ij}$ ,  $i, j = s, p$ , které jsou definovány jako poměr amplitudy odražené vlny ku amplitudě vlny dopadající. Pomocí těchto koeficientů jsou definovány magnetooptické úhly Kerrovy rotace  $\theta_k$  a elipticity  $\varepsilon_k$  pro dopadající  $s$ - a  $p$ -polarizované světlo ve tvaru:

$$\phi_{Ks} = \theta_{Ks} + i\varepsilon_{Ks} = \frac{r_{sp}}{r_{ss}}, \quad \phi_{Kp} = \theta_{Kp} + i\varepsilon_{Kp} = -\frac{r_{ps}}{r_{pp}}. \quad (2)$$

Ve vztahu (2) jsme předpokládali, že komplexní úhly  $\phi_{Ks}$ ,  $\phi_{Kp}$  jsou malé ( $|\phi_{Ks}|, |\phi_{Kp}| \ll 1$ ). Podobné relace mohou být získány pro úhly Faradayovy rotace  $\theta_F$  a elipticity  $\varepsilon_F$  pro průchod světla.

Popis interakce světla s magnetooptickým prostředím je založen na Maxwellově teorii elektromagnetického pole, která je doplněna o materiálové vztahy popisující optické vlastnosti magnetooptického prostředí. Na optických frekvencích má tenzor relativní permeability  $\hat{\mu}_r$  stejnou hodnotu jako ve vakuu díky velmi malé interakci vlny s prostředím. Klíčovou roli hraje tenzor relativní permitivity  $\hat{\varepsilon}_r$ , který může být rozvinut do řady pomocí Einsteinovy sumační konvence [10]:

$$(\hat{\varepsilon}_r)_{ij} = \varepsilon_{ij}^{(0)} + K_{ijk}M_k + G_{ijkl}M_kM_l + \dots, \quad (3)$$

kde  $\varepsilon_{ij}^{(0)}$  jsou prvky tenzoru relativní permitivity nezávislé na magnetizaci ( $\mathbf{M} = 0$ ),  $M_i$  pak značí složky vektoru magnetizace  $\mathbf{M}$ . Členy  $K_{ijk}$  a  $G_{ijkl}$  vyjadřují složky magnetooptických tenzorů třetího a čtvrtého řádu popisujících lineární a kvadratickou závislost na magnetizaci. Uvažujeme-li kubickou symetrii krystalu a započítáme-li vliv kvadratických členů, lze tenzor permitivity zapsat ve tvaru:

$$\hat{\varepsilon}_r = \varepsilon_2 \begin{pmatrix} 1 + f(Q_P^2 + Q_L^2) & -iQ_P - fQ_LQ_T & iQ_L - fQ_PQ_T \\ iQ_P - fQ_LQ_T & 1 + f(Q_P^2 + Q_T^2) & -iQ_T - fQ_PQ_L \\ -iQ_L - fQ_PQ_T & iQ_T - fQ_PQ_L & 1 + f(Q_L^2 + Q_T^2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

kde  $\varepsilon_2 = n_2^2$  ( $n_2$  je index lomu magnetooptického prostředí);  $Q_P$ ,  $Q_L$  a  $Q_T$  značí polární, longitudinální a transverzální lineární magnetooptické konstanty přímo úměrné příslušným magnetizačním složkám,  $f$  je kvadratická magnetooptická konstanta. Symetrie složek tenzoru permitivity pro další tvary krystalů (hexagonální, monoklinický, triklinický, atd.) byly odvozeny v referenci [10].

Vliv jednotlivých komponent magnetizace na reflexní koeficienty a magnetooptické úhly při šikmém dopadu je shrnut v *tabulce 1*. Z ní je zřejmé, že pouze  $r_{pp}$  koeficient je citlivý na transverzální komponentu magnetizace  $M_T$ . Z třetího sloupce *tabulky 1* je ale vidět, že k němu přispívá také kvadratický člen, který je velmi obtížně odseparovatelný. Ve většině případů jsou kvadratické jevy mnohem menší než lineární, je však nutné s nimi počítat v případech, kdy pozorujeme koherentní rotaci magnetizace a jejich přítomnost výrazně ovlivňuje tvary hysterézních smyček. Autoři reference [11] navrhli další důležitou metodu pro transverzální jev, kdy pomocí rotace vzorku a aplikovaného magnetického pole o  $90^\circ$  od sebe oddělili longitudinální a transverzální magnetizační složky. Hlavní výhoda metody spočívá v možnosti přímého porovnání velikosti jevů obou složek, protože optická konfigurace zůstává zachována.

Reflexní  $r_{sp}$  a  $r_{ps}$  koeficienty a magnetooptické Kerrovy úhly jsou citlivé na polární a longitudinální komponentu magnetizace, což ukazuje třetí a čtvrtý řádek *tabulky 1*. Z kvadratických jevů se k nim přimíchává hlavně  $M_LM_T$  jev, který má v longitudinálních měřeních mnohem větší váhu než  $M_pM_T$  jev.

*Tabulka 1* Reflexní koeficienty a magnetooptické Kerrovy úhly při šikmém dopadu. V *tabulce* není zahrnuta anizotropie kvadratických jevů

	lineární MO jevy	kvadratické MO jevy
$r_{ss}$	–	$M_P^2, M_L^2, M_T^2$
$r_{pp}$	$M_T$	$M_P^2, M_L^2, M_T^2$
$r_{sp}, r_{ps}$	$M_P, M_L$	$M_PM_T, M_LM_T$
$\phi_{Ks}, \phi_{Kp}$	$M_P, M_L$	$M_PM_T, M_LM_T$

### 3. MĚŘENÍ PŘI KOLMÉM A TĚMĚŘ KOLMÉM ÚHLU DOPADU

Nejprve se podíváme na chování lineárních a kvadratických Kerrových jevů při zcela kolmém dopadu, viz *tabulka 2*. Odtud vidíme, že v této konfiguraci vyhasíná transverzální a longitudinální lineární efekt a kvadratický  $M_PM_T$  efekt. Je-li tedy velikost kvadratického  $M_LM_T$  jevu zanedbatelná, měříme čistý polární jev, který navíc při kolmém dopadu nabývá své maximální hodnoty. Na druhou stranu bylo zkoumáno mnoho struktur, u nichž byla magnetizace položena do roviny vzorku a polární komponenta magnetizace byla nulová. Pak nám konfigurace kolmého dopadu s výhodou umožní měřit přímo kvadratický jev daný součinem  $M_L$  a  $M_T$ , což bylo ukázáno například v referenci [12] u Fe vrstev na MgO substrátu.

*Tabulka 2* Lineární a kvadratické Kerrovy jevy při kolmém dopadu

	lineární MO jevy	kvadratické MO jevy
$r_{ss}$	–	$M_P^2, M_L^2, M_T^2$
$r_{pp}$	0	$M_P^2, M_L^2, M_T^2$
$r_{sp}, r_{ps}$	$M_P$	$M_PM_T$
$\phi_{Ks}, \phi_{Kp}$	$M_P$	$M_PM_T$

Je třeba ale poznamenat, že ne všechny MO aparatury je možné nastavit na konfiguraci zcela kolmého dopadu. V takovém případě se separace provádí při úhlu dopadu téměř kolmém ( $\varphi_1 \approx 5^\circ$ ), případně pod úhlem mírně větším ( $\varphi_1 \approx 15^\circ$ – $25^\circ$ ), což je metoda navržená autorem [13]. Pak je ovšem měřený signál kombinací longitudinálního a polárního jevu i obou kvadratických jevů, jak je ukázáno v *tabulce 1*. Protože kvadratický  $M_PM_T$  jev je nulový při kolmém dopadu, lze jeho velikost považovat za zanedbatelnou i při téměř kolmém dopadu a v dalším výkladu této metody jej nebudeme uvažovat. Za předpokladu, že při téměř kolmém dopadu platí  $\cos\varphi_1 \approx 1$  a  $\sin\varphi_1 \approx \tan\varphi_1 \approx \varphi_1$  a využijeme-li rozdílné symetrie mezi konfiguracemi:

- polární konfigurace:  $r_{sp} = r_{ps}$
- longitudinální konfigurace:  $r_{sp} = -r_{ps}$
- kvadratická  $M_LM_T$  konfigurace:  $r_{sp} = -r_{ps}$

pak celkový magnetooptický signál pro jedno rozhraní pro dopadající  $s$ - a  $p$ -polarizované světlo může být zapsán ve tvaru:

$$\begin{aligned} \phi_{Ks} = \theta_{Ks} + i\varepsilon_{Ks} &= a(M_P) + b(M_L) + c(M_LM_T), \\ \phi_{Kp} = \theta_{Kp} + i\varepsilon_{Kp} &= a(M_P) - b(M_L) - c(M_LM_T), \end{aligned} \quad (5)$$

kde  $a, b, c$  jsou komplexní koeficienty závislé na magnetizačních složkách.

K separaci komponent magnetizace tedy stačí měřit jednu veličinu (buď rotaci nebo elipticitu) pro dopadající  $s$ - a  $p$ -polarizované světlo. V případě Kerrovy rotace platí:

$$\begin{aligned}\theta_{Ks} &= \Re\{a(M_P) + b(M_L) + c(M_L M_T)\}, \\ \theta_{Kp} &= \Re\{a(M_P) - b(M_L) - c(M_L M_T)\},\end{aligned}\quad (6)$$

kde  $\Re$  značí reálnou část signálu. Polární a kombinaci longitudinální a kvadratické  $M_L M_T$  komponenty pak snadno získáme z rovnice (6) jako:

$$\Re\{a(M_P)\} = \frac{\theta_{Kp} + \theta_{Ks}}{2}, \quad \Re\{b(M_L) + c(M_L M_T)\} = \frac{\theta_{Ks} - \theta_{Kp}}{2}. \quad (7)$$

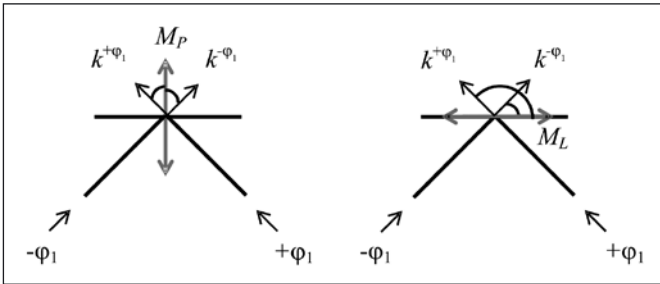
Analogické vztahy bychom získali v případě Kerrovy elipticity.

Na závěr této části můžeme říci, že tuto metodu je možné s výhodou použít, chceme-li měřit pouze polární komponentu, nebo je-li polární složka velmi malá vzhledem k longitudinální složce.

#### 4. METODA ROTACE VZORKU A MAGNETICKÉHO POLE

Hlavní nevýhoda předchozí metody spočívá v poměrně malých velikostech longitudinálních signálů při téměř kolmém úhlu dopadu. Navíc je nutné měnit polarizaci, což v některých MO aparaturách, kde je polarizace nastavena před dopadem světla na zkoumaný systém, může znamenat mírný posun do jiného místa na vzorku s odlišnými vlastnostmi, než mělo místo původní. Proto byla navržena nová separační metoda [14], která umožňuje měření při libovolném šikmém úhlu dopadu.

Základní myšlenka je založena na faktu, že polární a longitudinální magnetizační složky jsou odlišnými funkcemi úhlu dopadu  $\varphi_1$ . Je zřejmé, že lineární Kerrův jev může být vyjádřen jako funkce směrového kosinu mezi vektorem magnetizace  $\mathbf{M}$  a směrovým vektorem  $\mathbf{k}$ . Na obr. 2 je pak vidět chování obou magnetizačních komponent v případě, když zaměníme dopadající a odraženou část aparatury. Zatímco úhly mezi  $\mathbf{k}$  a polární složkou  $M_p$  zůstávají stejné, v případě longitudinální složky jsou tyto úhly doplňkové.



Obr. 2 Náčrt experimentální sestavy pro longitudinální a polární jevy. Zatímco úhly mezi  $M_p$  a  $\mathbf{k}$  jsou stejné v polární geometrii, v longitudinální konfiguraci Kerrův jev mění znaménko pro převrácené úhly dopadu  $\pm\varphi_1$

Ná základě těchto závěrů můžeme říci, že polární a longitudinální komponenta je sudou resp. lichou funkcí úhlu dopadu  $\varphi_1$ . Proto celkový magnetooptický signál pro dopadající  $s$ -polarizované světlo může být zapsán ve tvaru:

$$\begin{aligned}\phi_{Ks}^{+\varphi_1} &= \begin{pmatrix} r_{sp} \\ r_{ss} \end{pmatrix}^{+\varphi_1} = \frac{r_{sp}^P}{r_{ss}} + \frac{r_{sp}^L}{r_{ss}} = \theta_{Ks}^P + \theta_{Ks}^L + i(\varepsilon_{Ks}^P + \varepsilon_{Ks}^L), \\ \phi_{Ks}^{-\varphi_1} &= \begin{pmatrix} r_{sp} \\ r_{ss} \end{pmatrix}^{-\varphi_1} = \frac{r_{sp}^P}{r_{ss}} - \frac{r_{sp}^L}{r_{ss}} = \theta_{Ks}^P - \theta_{Ks}^L + i(\varepsilon_{Ks}^P - \varepsilon_{Ks}^L),\end{aligned}\quad (8)$$

kde horní indexy P a L značí polární respektive longitudinální příspěvek. Měřené MO parametry mohou být vyjádřeny pro převrácené dopadající úhly  $\pm\varphi_1$  jako:

$$\begin{aligned}\theta_{Ks}^{+\varphi_1} &= \theta_{Ks}^P + \theta_{Ks}^L, \quad \theta_{Ks}^{-\varphi_1} = \theta_{Ks}^P - \theta_{Ks}^L, \\ \varepsilon_{Ks}^{+\varphi_1} &= \varepsilon_{Ks}^P + \varepsilon_{Ks}^L, \quad \varepsilon_{Ks}^{-\varphi_1} = \varepsilon_{Ks}^P - \varepsilon_{Ks}^L.\end{aligned}\quad (9)$$

Odtud lze již snadno odseparovat polární a longitudinální složku Kerrova jevu pro měření rotace a elipticity jako:

$$\begin{aligned}\theta_{Ks}^P &= \frac{\theta_{Ks}^{+\varphi_1} + \theta_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \quad \theta_{Ks}^L = \frac{\theta_{Ks}^{+\varphi_1} - \theta_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \\ \varepsilon_{Ks}^P &= \frac{\varepsilon_{Ks}^{+\varphi_1} + \varepsilon_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \quad \varepsilon_{Ks}^L = \frac{\varepsilon_{Ks}^{+\varphi_1} - \varepsilon_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}.\end{aligned}\quad (10)$$

Podobné vztahy pak získáme i pro dopadající  $p$ -polarizované světlo.

Metoda však byla využita pouze k separaci lineárních jevů. Všimněme si ale, že analogickou operací k záměně dopadající a odražené části aparatury je rotace vzorku i magnetického pole o  $180^\circ$  kolem osy  $z$ . Zvolený souřadnicový systém je patrný z obr. 1. Samozřejmě, že obě operace mají vliv na změnu tvaru tenzoru relativní permittivity z rovnice (4). Vliv rotace magnetického pole je určen pomocí Onsangerovy relace [15]:

$$(\hat{\varepsilon}_r)_{ij}(\mathbf{M}) = (\hat{\varepsilon}_r)_{ij}(-\mathbf{M}), \quad (11)$$

kteřá popisuje symetrii tenzoru při převrácené magnetizaci. Započítáme-li navíc i rotaci vzorku, dostaneme tenzor permittivity ve tvaru:

$$\begin{aligned}\hat{\varepsilon}_{r180} &= \varepsilon_2 \begin{pmatrix} 1 + f(Q_P^2 + Q_L^2) & -iQ_P - fQ_L Q_T & -iQ_L + fQ_P Q_T \\ iQ_P - fQ_L Q_T & 1 + f(Q_P^2 + Q_T^2) & iQ_T + fQ_P Q_L \\ iQ_L + fQ_P Q_T & -iQ_T + fQ_P Q_L & 1 + f(Q_L^2 + Q_T^2) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & -\varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & -\varepsilon_{23} \\ -\varepsilon_{31} & -\varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix}.\end{aligned}\quad (12)$$

Porovnáním vztahů (4) a (12) vidíme, že po rotaci systému změnily znaménko lineární  $M_L, M_T$  komponenty a kvadratické členy  $M_p M_T$  a  $M_p M_L$ , zatímco ostatní složky tenzoru zůstaly zachovány. Díky této skutečnosti mohou nastat dva experimentálně výhodné případy:

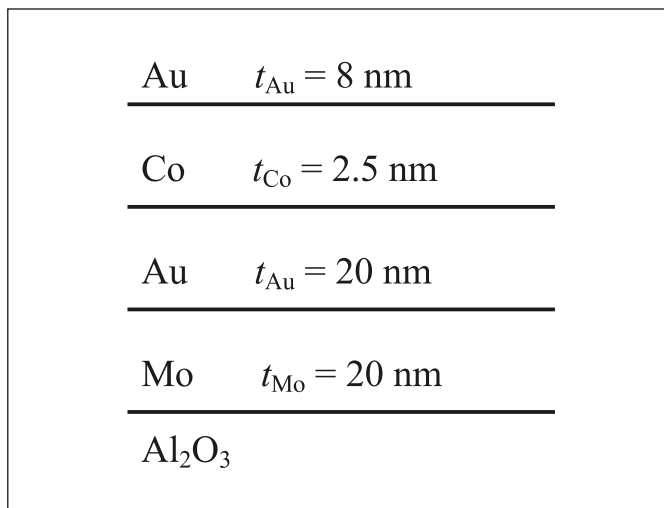
- Velikost kvadratických jevů  $M_L M_T$  a  $M_p M_T$  je zanedbatelná a neprojevuje se nesymetrií na naměřených hysterézních smyčkách. Pak lze separovat longitudinální a polární jev podle rovnice (10), kde  $\theta_K^{+\varphi_1}$  ( $\varepsilon_K^{+\varphi_1}$ ) a  $\theta_K^{-\varphi_1}$  ( $\varepsilon_K^{-\varphi_1}$ ) značí Kerrovy magnetooptické úhly bez rotace a po rotaci systému.
- Magnetizace zkoumaného systému se nachází v jeho rovině a polární složka magnetizace je nulová. Pak zůstane pouze longitudinální a kvadratický  $M_L M_T$  člen, které od sebe snadno oddělíme díky odlišným znaménkům po rotaci vzorku jako:

$$\begin{aligned}\theta_{Ks}^{L:T} &= \frac{\theta_{Ks}^{+\varphi_1} + \theta_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \quad \theta_{Ks}^L = \frac{\theta_{Ks}^{+\varphi_1} - \theta_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \\ \varepsilon_{Ks}^{L:T} &= \frac{\varepsilon_{Ks}^{+\varphi_1} + \varepsilon_{Ks}^{-\varphi_1}}{2}, \quad \varepsilon_{Ks}^L = \frac{\varepsilon_{Ks}^{+\varphi_1} - \varepsilon_{Ks}^{-\varphi_1}}{2},\end{aligned}\quad (13)$$

kde indexy L:T a L definují kvadratický a longitudinální člen magnetizace.

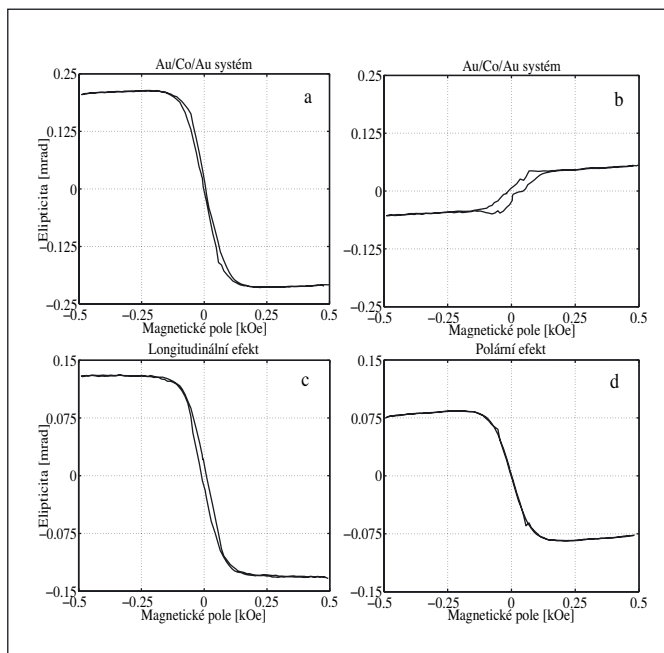
Nyní tuto metodu ukážeme detailně na příkladu systému, jehož struktura je vidět z obr. 3. K jeho přípravě byla použita metoda epitaxe z molekulárních svazků (molecular beam epitaxy - MBE), která umožňuje přípravu vrstevnatých planparalelních struktur s tloušťkami od 0,5 nm. V našem případě je povrch vzorku pokryt 8-i nanometrovou vrstvou zlata, pod níž se nachází vrstva kobaltu s tloušťkou 2,5 nm. Vyleštěný krystal safíru  $Al_2O_3$  byl použit jako substrát.





Obr. 3 Schéma struktury zkoumaného systému s tloušťkami jednotlivých vrstev

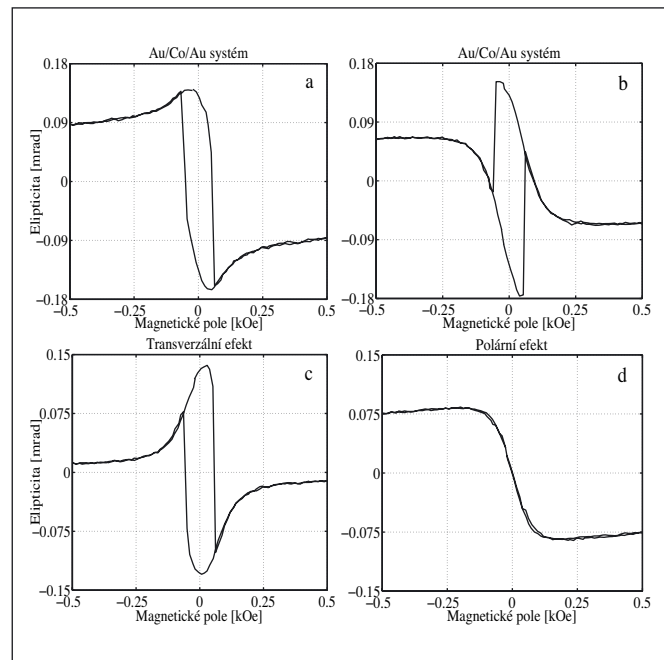
Na obr. 4a,b jsou ukázány hysterzní smyčky Kerroy ellipticity pro dopadající *p*-polarizované světlo naměřené bez rotace a po rotaci systému při úhlu dopadu  $44^\circ$ . Magnetické pole bylo aplikováno ve směru osy *y* (v longitudinálním směru) a přiloženo podél obtížné osy magnetizace. Symetrie obou smyček poukazuje na malé velikosti Kerrových kvadratických efektů, při oddělení longitudinálního a polárního příspěvku ukázaného na obr. 4c,d jsme proto využili rovnici (10). Největší polární jev 0,08 mrad byl pozorován právě v blízkosti obtížné osy, postupným natáčením směrem ke snadné ose se jeho velikost zmenšovala.



Obr. 4 Kerroy ellipticity (a,b) naměřené na Au/Co/Au vzorku při úhlu dopadu  $44^\circ$ . Pro separaci longitudinálního (c) a polárního (d) příspěvku byla využita metoda otočení vzorku a magnetického pole o  $180^\circ$  kolem osy *z*

Nyní odseparujeme transverzální příspěvek pomocí metody [11], která byla popsána na konci druhé části článku. Oproti konfiguraci z obr. 4 otočíme vzorkem o  $90^\circ$  a magnetické pole bude mít směr osy *x*, tedy transverzální směr. Protože ale měříme magnetooptické úhly, bude se nám i zde přimíchávat polární jev. Na obr. 5c,d je pak

detajně naznačena separace obou příspěvků z naměřených dat (obr. 5a,b). Je samozřejmé, že velikost polární komponenty magnetizace je stejná jako v předchozím případě na obr. 4.



Obr. 5 Kerroy ellipticity (a,b) získané metodou Dabooa [11] bez rotace a po rotaci systému o  $180^\circ$  kolem osy *z*. Odseparované transverzální (c) a polární (d) příspěvky jsou ukázány na spodních hysterzních smyčkách

## 5. ZÁVĚR

V příspěvku jsou diskutovány metody separace lineárních a kvadratických Kerrových jevů při magnetooptických měřeních. Pozornost je věnována konfiguracím při kolmém a téměř kolmém dopadu, které jsou dnes v magnetooptice široce používány. Metoda rotace vzorku a magnetického pole je založena na změně znamének některých členů v tenzoru relativní permitivity. Tato metoda je pak aplikována na Au/Co/Au systém, kde jsou detailně odseparovány všechny tři lineární komponenty magnetizace.

Práce byla podpořena granty MSM 6198910016, KAN 400100653, projektem NANOMAG-LAB 2004-003177 (Marie Curie Host Fellowships for Transfer of Knowledge) a Grantovou agenturou ČR (projekt č. 202/06/0531).

## Literatura

- [1] M. Mansuripur, *The physical principles of magneto-optical recording*, Cambridge University Press, 1995.
- [2] V. Antonov, B. Harmon and A. Yaresko, *Electronic structure and magneto-optical properties of solids*, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [3] S. A. Oliver, Ch. A. DiMarzio, S. C. Linberg, A. B. Kale, Magnetic field measurements using magneto-optic Kerr effect sensors, *Opt. Eng.* **33**, (1994), 3718-3722.
- [4] M. Klank, O. Hagedorn, M. Shamonin, H. Dötsch, Sensitive magneto-optical sensors for visualization of magnetic fields using garnet films of specific orientations, *J. Appl. Phys.* **92**, (2002), 6484-6488.
- [5] L. Kraus, M. Malátek, K. Postava, D. Janičkovič, Asymmetric giant magnetoimpedance in stress-field annealed CoFeBSi amorphous ribbons, *J. Magn. Magn. Mater.* **290-291**, (2005), 1131-1133.



- [6] H. J. Schmitt, Magneto-optic devices, In: Electro-optic and magneto-optic materials II., Proc. of SPIE **1274**, (1990), 208-219.
- [7] Š. Višňovský, R. Lopusník, M. Bauer, J. Bok, J. Fassbender, and B. Hillebrands, Magneto-optic ellipsometry in multilayers at arbitrary magnetization, *Opt. Express* **9**, (2001), 121-135.
- [8] O. Životský, L. Kraus, K. Postava, M. Foldyna, J. Pištora, Magneto-optic vector magnetometry of CoFeCrSiB amorphous ribbons, *J. Appl. Phys.* **99**, (2006), 08F107.
- [9] Š. Višňovský, *Optics in magnetic multilayers and nanostructures*, CRC Press, Taylor&Francis, 2006.
- [10] Š. Višňovský, Magneto-optical permittivity tensor in crystals, *Czech. J. Phys.* B36, (1986), 1424-1433.
- [11] C. Daboo, J. A. C. Bland, R. J. Hicken, A. J. R. Ives, M. J. Baird, and M. J. Walker, Vectorial magnetometry with the magneto-optic Kerr effect applied to Co/Cu/Co trilayer structures, *Phys. Rev.* **B47**, (1993), 11852-11859.
- [12] K. Postava, H. Jaffres, A. Schuhl, F. Nguyen Van Dau, M. Goiran, and A. R. Fert, Linear and quadratic magneto-optical measurements of the spin reorientation in epitaxial Fe films on MgO, *J. Magn. Magn. Mater.* **172**, (1997), 199-208.
- [13] P. Vavassori, Polarization modulation technique for magneto-optical quantitative vector magnetometry, *Appl. Phys. Lett.* **77**, (2000), 1605-1607.
- [14] H. F. Ding, S. Putter, H. P. Oepen, J. Kirschner, Experimental method for separating longitudinal and polar Kerr signals, *J. Magn. Magn. Mater.* **212**, (2000), L5-L11.
- [15] R. Kubo, Statistical-mechanical theory of irreversible processes I., *J. Phys. Soc. Jpn.* **12**, (1957), 570-586.

Ing. Ondřej Životský, Ph.D., Institut fyziky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, tel.: 59-732 3100, e-mail: ondrej.zivotsky@post.cz  
 Doc. Dr. Mgr. Kamil Postava, Institut fyziky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, tel.: 59-732 3104, e-mail: kamil.postava@vsb.cz  
 Prof. Dr hab. Andrzej Maziewski, tel 048-85-7457229, e-mail: magnet@uwb.edu.pl  
 Dr. Andrzej Stupakiewicz, tel 048-85-745-7228, e-mail: and@uwb.edu.pl  
 Mgr. Zbygniew Kurant, tel 048-85-745-7228, e-mail: zkbu@yahoo.com  
 Kontaktní adresa: Zakład Fizyki Magnetyków, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet w Białymstoku, Białystok 15-424, ul. Lipowa 41, Polska, <http://physics.uwb.edu.pl/zfimag/>

Miroslav MÜLLER, Rostislav CHOTĚBORSKÝ, katedra materiálu a strojírenské technologie, TF ČZU, Praha

## Možnosti hodnocení tloušťky lepené vrstvy

### ÚVOD

Technologie lepení poskytuje nové možnosti a dovoluje vytvořit spoje takových tvarů a vlastností, které klasické metody spojování nemohou dosáhnout. Technologie lepení nám umožňuje vytvořit jak spoje pevné, tak i pružné, vrstvení materiálů na sebe atd. Lepit lze téměř všechny druhy materiálů, a to jak mezi sebou, tak i s jinými materiály. Nelze však očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech materiálech. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za určitých pracovních podmínek lze vytvořit spoj s optimálními vlastnostmi v daném směru.

Teorii lepení lze charakterizovat jako působení vzájemných sil, které vyvolávají přilnavost (adhezi) lepidla k lepenému materiálu, ale i soudržnost filmu lepidla po ztuhnutí nebo vytvrzení (koheze). Dalším podstatným faktorem pro vznik soudržného lepeného spoje je i rovnoměrná, přiměřeně tlustá tloušťka lepené vrstvy ve spáře. Většina lepidel nabývá optimálních adhezních a kohezních vlastností tehdy, pohybuje-li se tloušťka lepené vrstvy v rozmezích, které jsou někdy uvedeny výrobcem na obalu. Při nanesení tenčí vrstvy se sice sníží spotřeba lepidla, ale mechanické vlastnosti takto připraveného lepeného spoje klesají. Podobně při aplikaci lepidla ve větší tloušťce se pevnost spoje nezvyšuje, ale naopak snižuje. Pokud není možné dosáhnout požadované rovnosti a soudržnosti lepených dílců, je nutné pracovat s lepivými tmely. [5, 7] Pro zajištění požadované tloušťky vrstvy lepidla se vkládají do spáry distanční drátky, případně kovová nebo korundová plnidla o požadované velikosti zrna. Lepidlo musí být nanášeno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování (u tekutých lepidel ihned, u tavných po zahřátí) vytvořilo tekutou rozplývavou vrstvu, která smáčí mikropóry povrchu lepené plochy. Lepidlo se nanáší na jednu nebo obě lepené plochy v závislosti na použitém druhu lepidla a podmínkách lepení [4, 5, 6].

### MATERIÁL A METODY

Na základě dlouhodobých laboratorních poznatků byl faktor tloušťky lepené vrstvy vyhodnocen jako jeden z velmi podstatných majících značný vliv na pevnostní změny. Z tohoto důvodu je nezbytné jeho objektivní hodnocení. Pro hodnocení byly zvoleny dvě metody. První metodou bylo klasické měření průměru distančních drátků na třmenovém digitálním mikrometru Mitutoyo, který měří s přesností 0,001 mm. Druhou metodou byl hodnocen průměr distančních drátků a rovněž také tloušťka lepené vrstvy. Při druhé metodě bylo použito mikroskopu Carl Zeiss Jenavert osazeného kalibrovanou snímací digitální kamerou Arcam – 300 MI. Při využití mikroskopu bylo nutno vhodně připravit vzorky. Vzorky pro měření byly připraveny náhodným výběrem z již připravených lepených spojů k destruktivnímu zkoušení. Nejprve bylo nutno odebrat referenční část lepeného spoje (řez lepeným spojem). Posléze následovalo zalévání do pryskyřice Dentacryl a po úplném vytvrzení byly vzorky obroušeny brusnými metalografickými papíry s odstupňovanou zrnitostí. Finální přípravnou operací bylo leštění již vybroušených vzorků.

Pro vlastní zkoumání závislosti tloušťky lepené vrstvy na změně pevnostních charakteristik bylo vybráno devět dvousložkových epoxidových lepidel [2]. Slepěná zkušební tělesa byla připravena v souladu s normou ČSN EN 1465 [1]. Lepeným materiálem byla ocel třídy 11. Povrch vzorků byl před lepením upraven mechanicky tryskáním umělým korundem o zrnitosti F24 (velikost frakce 710 – 840 μm). Parametry drsnosti povrchu byly změněny  $R_a$  2,45 μm,  $R_t$  19,4 μm a  $R_z$  14,9 μm. Destruktivní zkoušení lepených spojů bylo provedeno na trhacím univerzálním stroji.

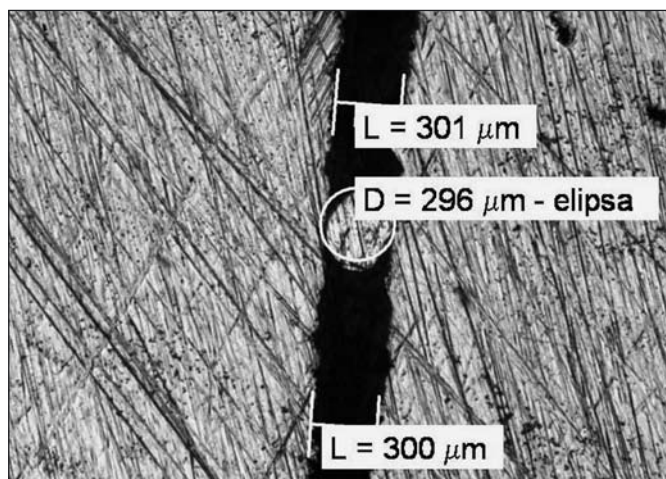
### VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Stěžejním cílem bylo objektivní vyhodnocení tloušťky lepené vrstvy, která byla zajištěna vložení dvou distančních drátků do

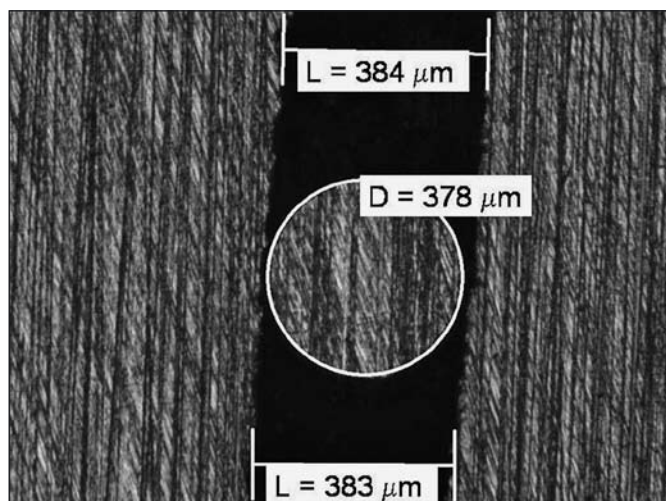
Tab. 1 Hodnocení tloušťky lepené vrstvy

Způsob měření		Aritmetický průměr naměřených hodnot					
Průměr distančního drátku	Hodnoty zjištěné digitálním třmenovým mikrometrem [mm] - před lepením	76 ± 0,68	113 ± 1,47	158 ± 1,02	222 ± 2,06	298 ± 2,06	379 ± 1,96
	Hodnoty zjištěné mikroskopem [mm] - v lepeném spoji	76 ± 0,94	111 ± 1,96	156 ± 1,00	218 ± 1,81	293 ± 5,49	379 ± 5,12
Skutečná tloušťka lepené vrstvy naměřená mikroskopem [mm]		77 ± 2,16	125 ± 2,77	165 ± 2,01	224 ± 6,18	302 ± 1,89	384 ± 5,12

spoje. V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky měření s cílem posoudit, jak se liší skutečná tloušťka lepené vrstvy od předpokládané (velikost dle distančních drátků). Nejprve byly změřeny průměry distančních drátků, a to digitálním třmenovým mikrometrem a rovněž také mikroskopem. V některých případech došlo před a po lepení k rozdílu až o cca 5  $\mu\text{m}$ . Příčinou může být fixace lepeného spoje závažím. Při ní, jak potvrdilo mikroskopické zkoumání, došlo k deformaci kruhového průřezu drátku na průřez elipsovité (obr. 1). Další významnou veličinou je skutečná tloušťka lepené vrstvy. Mikroskopem naměřené hodnoty jsou uvedeny rovněž v tab. 1. Skutečná tloušťka lepené vrstvy naměřená mikroskopem (obr. 2) se od předpokládané liší průměrně o 3,9 %. Na obr. 2 je patrná mezera mezi lepeným materiálem a distančním drátkem vyplněná lepidlem.

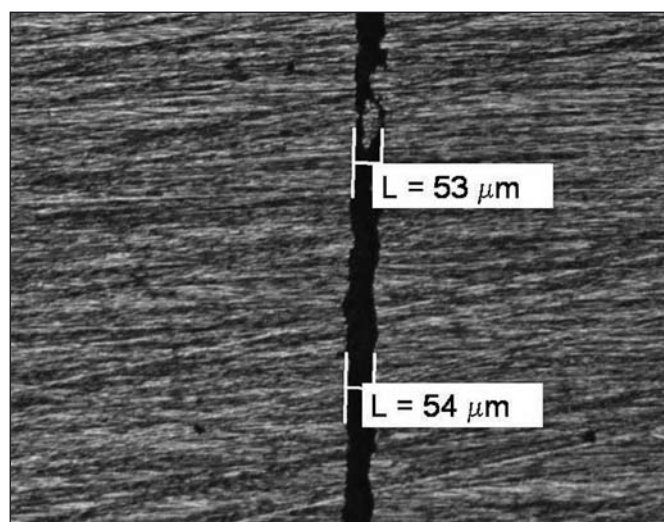


Obr. 1 Vyhodnocený lepený spoj – deformovaný distanční drátek



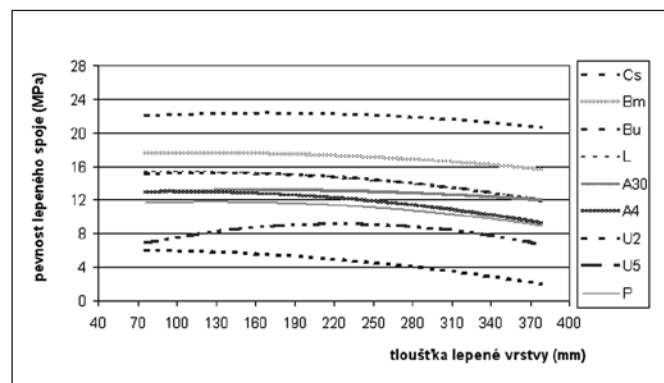
Obr. 2 Mikroskopické měření skutečné tloušťky lepené vrstvy

Důležitost objektivního vyhodnocení udává obr. 3, ze kterého je patrný rozdíl mezi optimální a nevhodnou tloušťkou lepené vrstvy. K porovnání důležitosti určení optimální tloušťky lepené vrstvy bylo vybráno devět dvousložkových epoxidových lepidel.



Obr. 3 Vliv optimální tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepeného spoje

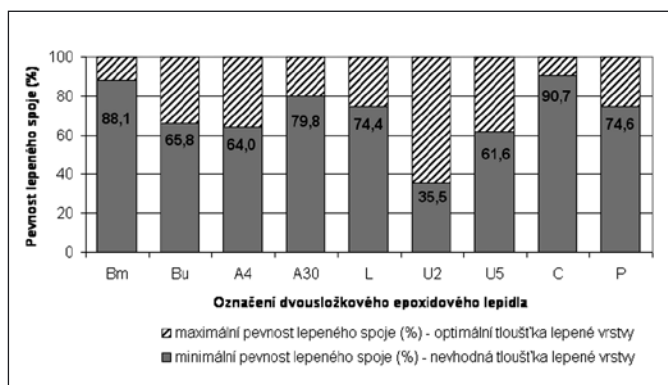
Naměřené a vypočtené hodnoty pevnosti v závislosti na tloušťce lepené vrstvy byly proloženy polynomickou funkcí druhého řádu (obr. 4). Typ funkce byl odvozen od tvaru korelačního pole, které je tvořeno body na průsečíku závislé a nezávislé proměnné a vystihuje danou závislost. Pro objektivitu průběhu funkce je nutné uvedení indexu determinace a funkční rovnice (tab. 2). Pomocí indexu determinace je možno určit sílu (intenzitu) dané závislosti. Čím více se hodnoty blíží 1, tím je závislost silnější. Index determinace  $R^2_{yx}$  udává, z kolika procent je závisle proměnná ovlivněna uvažovanou nezávisle proměnnou.



Obr. 4 Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepeného spoje

Tab. 2 Funkční rovnice a index determinace

Označení lepidla	Funkční rovnice	Index determinace $I^2_{tx}$
Cs	$t = -35,513x^2 + 11,342x + 21,475$	0,6495
Bm	$t = -28,701x^2 + 6,9249x + 17,195$	0,5707
Bu	$t = -58,243x^2 + 16,128x + 14,149$	0,7855
L	$t = -35,152x^2 + 5,216x + 15,183$	0,4003
A30	$t = -16,669x^2 + 3,8824x + 12,97$	0,5066
A4	$t = -47,052x^2 + 9,1562x + 12,59$	0,6165
U2	$t = -42,98x^2 + 6,5967x + 5,6713$	0,6521
U5	$t = -90,704x^2 + 39,841x + 4,7283$	0,4201
P	$t = -41,362x^2 + 9,8362x + 11,181$	0,8506



Obr. 5 Lepený spoj bez předem zajištěné tloušťky lepené vrstvy

## ZÁVĚR

S rozvojem chemického průmyslu došlo k výraznému rozšíření nabídky tuzemských i zahraničních lepidel. Použití jednotlivých lepidel není univerzální a také jejich vlastnosti se liší. Ačkoli všechny faktory působí komplexně, k určení vlivu jednotlivých faktorů na mechanické vlastnosti, zejména pak na pevnost lepeného spoje, je důležité provádět ověřovací zkoušky. Ověřovací zkoušky určí při správném vyhodnocení optimální hodnoty, které povedou k zefektivnění aplikace technologie lepení v praxi při současně úspoře nákladů.

Tloušťka lepené vrstvy je řazena mezi jeden ze základních faktorů ovlivňujících pevnost lepeného spoje. Z laboratorních pokusů provedených dle platných norem lze konstatovat, že tloušťka

lepené vrstvy je funkcí konkrétního lepidla, a proto nelze stanovit univerzální doporučenou hodnotu. Pro epoxidová lepidla lze určit pouze rozmezí optimálních hodnot tloušťky lepené vrstvy 110 – 220  $\mu\text{m}$ . V těchto podmínkách by pevnost neměla výrazně klesat. Tento závěr obecně potvrzuje tloušťku lepené vrstvy uváděnou v dostupné literatuře zabývající se problematikou lepení [3, 7]. V případě, že není lepená vrstva zajištěna např. plnivem o určité frakci, případně distančním drátkem, je skutečná tloušťka lepené vrstvy řádově 55  $\mu\text{m}$  (obr. 5). Taková tloušťka lepené vrstvy je dle zjištěných výsledků zcela nevyhovující a může výslednou pevnost lepeného spoje snížit až o téměř 60 %. Výrazný pokles pevnosti je u lepených spojů velice nebezpečný.

Překročení optimální tloušťky lepené vrstvy vede ke snížení mechanických vlastností lepeného spoje a současně také ke zvýšení nákladů na jeho tvorbu způsobenému větší spotřebou lepidla. Mikroskopické zkoumání je jednou z možností objektivního vyhodnocení tak důležitého parametru ovlivňujícího výslednou pevnost lepeného spoje, jakou je právě tloušťka lepené vrstvy.

## Literatura

- [1] ČSN EN 1465: Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [2] Firemní literatura – Prospekty lepidel: ALTECO, BISON, CEYS, LEPOX, PATEX, UHU.
- [3] GARDON, P.: Analysis and testing of adhesive bonds. New York, Academic Press 1977, 255 s.
- [4] Müller, M.: Vliv tloušťky lepené vrstvy na konstrukční pevnost lepených spojů, I. konference PhD studentů konstrukčních oborů s mezinárodní účastí. Srní 2003, Západočeská univerzita v Plzni, ISBN 80-7043-246-2.
- [5] Müller, M., Hrabě, P., Chotěborský, R., Herák, D.: Evaluation of factors influencing adhesive bond strength, Research in Agricultural Engineering, č. 1, 2006 s. 30 – 37. ISSN 1212-9151.
- [6] Müller, M.: Technological aspects of adhesive bonding technology used in construction, 47. mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů. Praha, ČZU v Praze, 2006. 212 – 215 s. ISBN 80-213-1523-7.
- [7] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha: SNTL, 1980. 792 s.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení grantu IGA TF, č. 31140/1312/313104 s názvem „Aspekty ovlivňující mechanické vlastnosti lepených spojů“.

Ing. Miroslav Müller, Ph.D., katedra materiálů a strojírenské technologie, Technická fakulta, ČZU v Praze, Praha 6 - Suchdol, Kamýčká 129, 165 21, Tel.: + 420 224 383 261, e-mail: muller@tf.czu.cz

Ing. Rostislav Chotěborský, Ph.D., katedra materiálů a strojírenské technologie, Technická fakulta, ČZU v Praze, Praha 6 - Suchdol, Kamýčká 129, 165 21, Tel.: + 420 224 383 274, e-mail: choteborsky@tf.czu.cz



## Vnútorne chladené Si monochromátory pre synchrotrónne žiarenie

Za posledných 20 rokov sa synchrotrónne žiarenie stalo veľmi mohutným nástrojom v rukách vedcov. Charakteristické vlastnosti tohto žiarenia, a to hlavne jeho briliancia, v kombinácii s modernými zobrazovacími metódami, ako fázový kontrast a holo-tomografia, sprístupnili jeho využitie aj iným vedným disciplínam, ako je archeológia, chémia alebo biológia. Spektrálnou brilianciou sa rozumie počet fotónov za sekundu vyžiarených z jednotkovej plochy zdroja, do jednotkového priestorového uhla a vztiahnutých na určitý relatívny úsek spektra. Jednotka spektrálnej briliancie je:

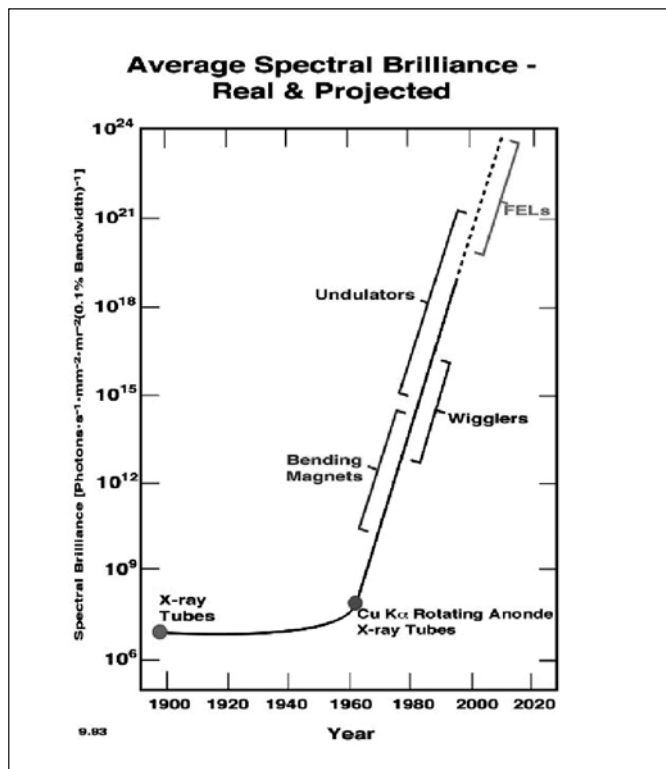
$$\text{briliancia} = \frac{\gamma}{\text{sec} \times \text{mrad}^2 \times \text{mm}^2 0,1\% \text{BW}}, \quad (1)$$

kde  $\gamma$  je počet fotónov,  $\text{mrad}^2$  je jednotka priestorového uhla,  $\text{mm}^2$  je jednotková plocha a  $0,1\% \text{BW}$  (bandwidth) je úsek spektra.

K efektívnemu využitiu zobrazovacích metód, využívajúcich napríklad fázový kontrast, je potrebné dokonale monochromatické žiarenie. U synchrotrónneho žiarenia sa najskôr robí predmonochromatizácia. Pomocou absorpčných filtrov a zrkadiel sa odfiltruje mäkké a tvrdé žiarenie. K hlavnej monochromatizácii žiarenia dochádza pomocou monochromátora. Kryštálový monochromátor je optický prvok, ktorý vymedzuje určitú oblasť vlnových dĺžok. Dochádza k tomu na základe splnenia Braggovho zákona:

$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad (2)$$

v dôsledku ktorého sa pri dopade žiarenia pod určitým uhlom odrazí len určitý interval vlnových dĺžok.

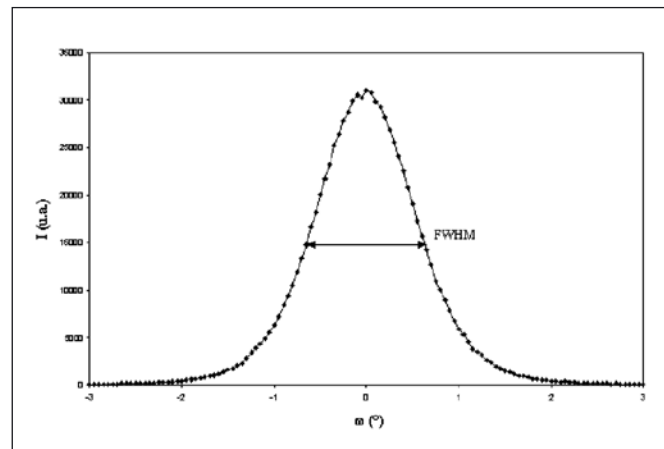


Obr. 1 Vývoj briliancie zdrojov synchrotrónového žiarenia

Všeobecne môžeme röntgénové monochromátory rozdeliť na kryštálové, mriežkové a monochromátory na báze multivrstiev. V prípade kryštálových monochromátorov sa hlavne využívajú Si, Ge a diamantové kryštály. Prednosťou Si a Ge medzi kryštálickými látkami je ich čistota, kryštalografická dokonalosť a vhodná medziatómová vzdialenosť.

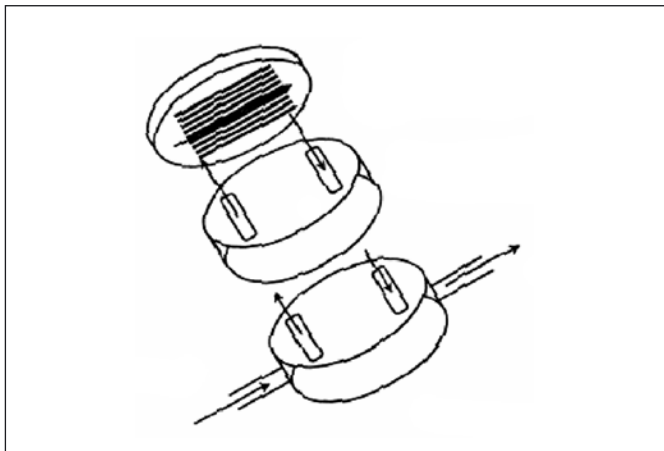
Moderné zdroje synchrotrónového žiarenia tretej generácie môžeme rozdeliť na ohybové (bending) magnety (BM) alebo vložené zariadenia (insertion devices, ID), a to wiggly (wigmglers) a undulátory (undulators). V prípade zdrojov štvrtej generácie, ktoré sú momentálne vo výstavbe, ide o takzvané FEL zdroje (free electron laser). Z hľadiska briliancie, a teda aj intenzity, sú wiggly omnoho silnejšie ako ohybové magnety, a undulátory silnejšie ako wiggly (obr. 1). Najvyššia briliancia sa očakáva od FEL.

Všeobecným cieľom je dosahovanie vyššej a vyššej briliancie, bohužiaľ vyššia briliancia je spojená s väčšou tepelnou záťažou optických prvkov v podobe väčšieho počtu dopadajúcich a absorbovaných fotónov na jednotku plochy. V prípade undulátorov je hustota energie dopadajúceho žiarenia niekoľko desiatok až stoviek  $\text{W}/\text{mm}^2$ . To má za následok vznik tepelného gradientu na povrchu optického prvku, napríklad monochromátora. Vzniknutý tepelný gradient spôsobuje deformáciu kryštalografických rovín, čo zhoršuje funkciu monochromátora. Rozloženie teploty nie je homogénne, ale má gaussovské rozdelenie. V prípade monochromátorov je veľmi dobrý ukazovateľ deformácií kryštalografických rovín, a tým aj zhoršenej reflektivity tzv. rocking krivka, čo je konvolúcia dvoch tzv. Darwin – Prince kriviek (závislosť reflektivity jedného kryštálu na stupni natočenia). Rocking krivku zmeriame tak, že študovaný kryštál najustujeme čo najpresnejšie do paralelnej polohy s referenčným dokonalým kryštálom. Jedným kryštálom potom otáčame a meriame závislosť intenzity žiarenia difraktovaného od oboch kryštálov na uhlovej odchýlke od paralelnej polohy. Jedná sa o veľmi delikátne a presné meranie, lebo tieto krivky sú veľmi úzke. Teoretická pološírka rocking krivky v prípade Si (111) orientácie pre 8 keV je  $9,81''$ , obr. 2, každé zavedené pnutie alebo tepelná deformácia rozširuje rocking krivku. Touto metódou, ktorá však vyžaduje presné goniometre, môžeme zmerať deformácie menšie ako  $1''$ .

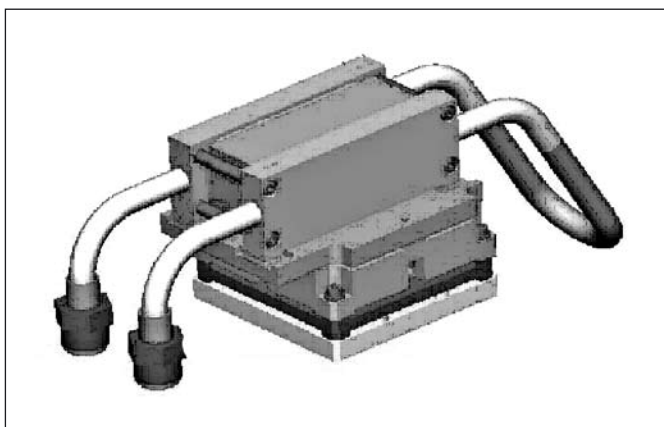


Obr. 2 Rocking krivka

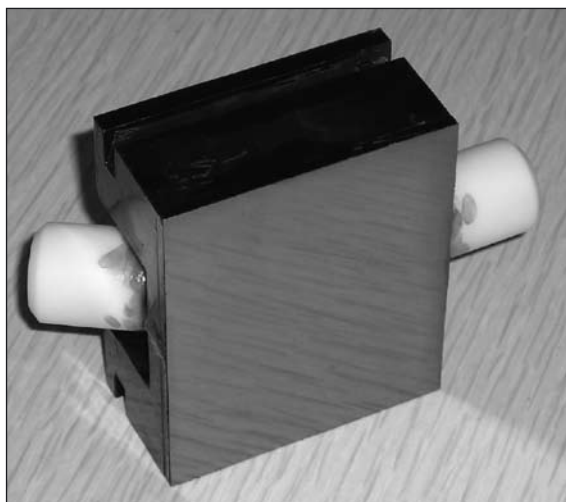
Deformácie sú nežiaduce a je snaha ich odstrániť alebo čo najviac minimalizovať. Takéto deformácie degradujú brillianciu zdroja a deformujú dopadajúcu vlnu. Dokonalý tvar čela vlny je potrebný napríklad pri snahe dosiahnuť čo najkvalitnejšiu fokusáciu monochromatizovaného žiarenia. V dnešnej dobe sa v niektorých prípadoch požaduje veľkosť fokusu až rádovo niekoľko desiatok nanometrov. Zavedením chladenia môžeme tieto deformácie do značnej miery potlačiť. Monochromátory sa chladia buď priamo alebo nepriamo a ako chladiace médium sa používa buď demineralizovaná voda alebo tekutý dusík (kryogénne chladenie).



Obr. 3 Priamo chladený monochromátor



Obr. 4 Nepriamo chladený monochromátor

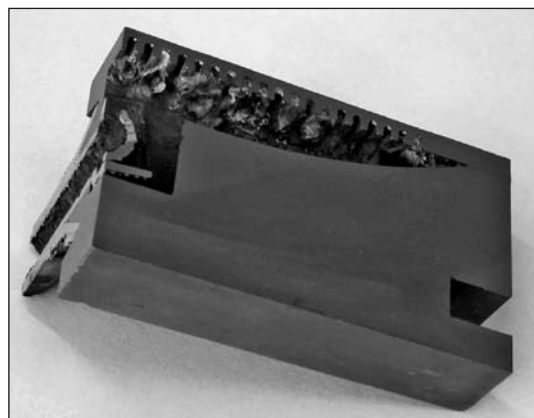


Obr. 5 Vnútorne chladený kremíkový monochromátor

V prípade priameho chladenia sa mechanicky vyrežú chladiace kanálky do spodnej časti difraktujúceho kryštálu, ktorý sa potom pripája k spodnému bloku, ktorý zabezpečuje rozvod chladiaceho média, obr. 3. Pri nepriamo chladenom monochromátore sa difraktujúci kryštal pripevní na medený podstavec, ktorý je chladený, obr. 4.

Röntgénová skupina na Fyzikálnom ústave AV ČR, v.v.i v spolupráci s Polovodičami a.s. sa venuje výskumu a vývoju vnútorne chladených Si monochromátorov, obr. 5. Ako bolo vyššie spomenuté, vnútorné chladenie sa používa kvôli redukovaniu negatívnych následkov tepelného gradientu. Nami vyvinuté monochromátory sú navrhnuté na použitie demineralizovanej vody, ktorej teplota sa udržiava medzi 15 °C - 22 °C.

Požitie vody ako chladiaceho média prináša niekoľko problémov. Voda musí byť systematicky ožarovaná UV žiarením, aby sa zabránilo vzniku mikroorganizmov. Z toho dôvodu by mala byť chladiaca voda raz za štvrt roka vymenená. Zaujímavé je, že mikroorganizmy vznikajú vo vode aj napriek vysokej radiácii, ktorá vzniká pri zdrojoch synchrotrónneho žiarenia. Každá zavedená nečistota, ktorá zmení prietok chladiaceho média, môže za následok znefunkčnenie chladiacich kanálikov, obr. 6. Tlaky vznikajúce pri raste nečistôt môžu viesť až k zničeniu povrchu, a následne celkovému zničeniu monochromátora, obr. 7.



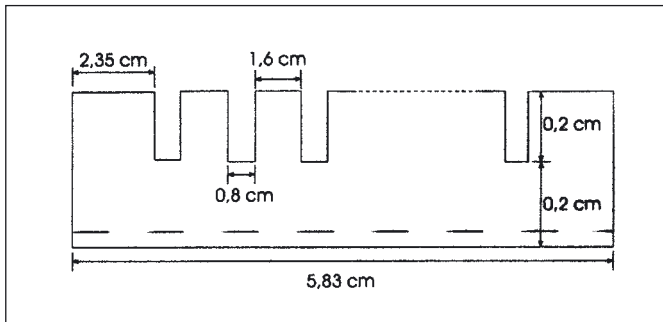
Obr. 6 Upchané kanálky v dôsledku rastu kryštálu



Obr. 7 Prasklina na difraktujúcom povrchu vyvolaná pnutím rastu kryštálu

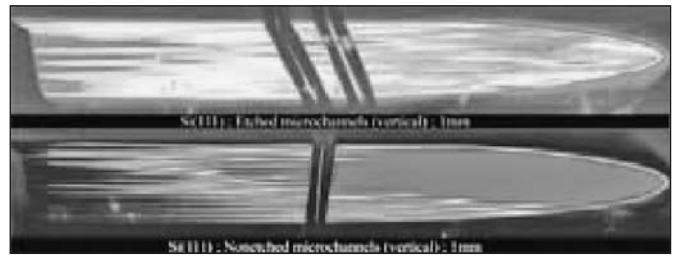
Ďalší problém, ktorý vzniká pri použití chladiaceho média, je jeho interakcia s dopadajúcim žiarením. V chladiacom médiu vznikajú radikály, ktoré reagujú so svojim okolím. Takto môže dôjsť k vážnemu poškodeniu kryštálu alebo použitej pájky, ktorej chemické zloženie reaguje s radikálmi. Pozorovaná bola dokonca korózia rozvodných trubiek, ktoré sú z konštantínu, teda nereze! Bohužiaľ sa tejto problematike nevenuje dostatočná pozornosť a užívatelia synchrotrónnych zdrojov uprednostňujú radšej kompletnú výmenu monochromátora raz za niekoľko rokov v rámci nevyhnutného upgradu experimentálnej stanice (beamline).

Vnútročné chladenie sa vytvára tak, že máme difraktujúci kryštál, ktorého kryštalografické roviny sú rovnobežné s povrchom kryštálu (symetrická Braggová difrakcia). Jeho povrch sa mechanicko-chemicky vyleští, aby sa odstránila kryštalograficky poškodená povrchová vrstva, a tým sa zvýšila reflektivita kryštálu. Príklad geometrie mechanicky vrytých kanálikov je na obrázku 8. Nad kanálikmi sú 0,2 cm kremíku. Táto horná časť je pomocou pájky pripájaná k spodnému kremíkovému bloku, v ktorom je pripájaná prírodná a odvodná trubka.



Obr. 8 Rozmery vrytých chladiacich kanálikov

Pájacím procesom sa zanesú taktiež deformácie kryštalografických rovín. Horná a dolná časť monochromátora sú pripájané k sebe pri niekoľko sto stupňovej teplote. Pri následnom chladnutí dochádza v dôsledku rozličných rozťažných koeficientov pájky a kremíku k pnutiu. Toto pnutie spôsobuje rozšírenie rocking krivky. V dnešnej dobe sú požiadavky na rozšírenie rocking krivky dôsledkom vnesených pnutí výrobou monochromátora také, že by mali byť maximálne 1", ale perspektívne pôjde až o 1 µrad. V prípade vnútorne chladených Si monochromátorov túto požiadavku splnila naša RTG skupina spolu s Polovodičmi a.s. ako jediná na svete a úspešne vyrábame takéto presné monochromátory. Najlepšie výsledky, ktoré sme dosiahli, sú deformácie kryštalografických rovín radovo niekoľko µrad. Iná metóda na zobrazenie pnutia je vytvoriť topografický snímok povrchu kryštálu. Ten sa buď dá zaznamenať elektronicke pomocou CCD prvku alebo použitím RTG fotografického filmu. Žiarenie sa pritom odrazí najskôr od referenčného dokonalého monokryštálu a potom od skúmaného monochromátora. Obidva kryštály sú nastavené tak, že ich difraktujúce roviny sú rovnobežné. Lokálne deformácie difraktujúcich rovín spôsobujú malú odchýlku od rovnobežnosti a dôjde k oslabeniu alebo vyhasnutiu

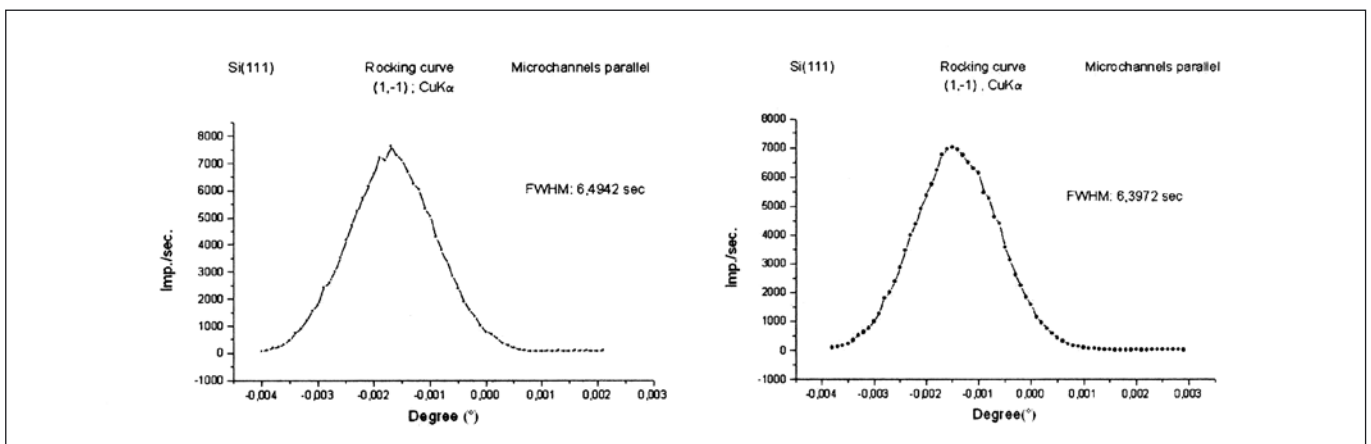


Obr. 9 Gradientná mapa topografického snímku

reflexie v danom mieste. Takto je možné pozorovať odchýlky od rovnobežnosti rádovo aj desiatiny uhlových sekúnd. Zníženie pnutia sa dosiahne napríklad použitím inej pájky, ktorej pájacia teplota je nižšia, a tým sa zabráni tepelnému stresu kremíka. Ideálna by bola pájka majúca rovnaký koeficient tepelnej rozťažnosti ako má kryštál. Ďalšia možnosť je oleptanie chladiacich drážok, čo spôsobí že pájka nevzlína na steny kanálikov. Na obrázku 9 sú topografické snímky dvoch monochromátorov. Na hornom snímku sú chladiace kanáliky oleptané a na dolnom snímku sú chladiace kanáliky neoleptané. Rozloženie farieb naznačuje miesta, kde došlo k difrakcii. Ako je vidno, horný snímok je farebne homogénnejší, na rozdiel od spodného, ktorý zodpovedá neoleptaným drážkam a kde v dôsledku pnutia došlo k deformácii kryštalografických rovín a následne už nebola pre dopadajúce žiarenie splnená Braggova podmienka.

Ako je vidieť na snímkach, tak v prípade oleptaných drážok začínajú svetlé a tmavé miesta splývať, čo dokazuje zníženie pnutia. Ďalším dôkazom zníženia pnutia je zvýšená percentuálna reflektivita z 29,55 % na 38,44 %. V zmysle rozšírenia rocking krivky je vidieť z obrázka 10, že rocking krivka neoleptaných drážok je užšia ako s oleptanými drážkami. Z krivky je vidieť, že sa jedná o natolko jemné meranie a o natolko citlivé zmeny v kryštalickej štruktúre, že každý µrad k dobru je víťazstvo. Zmenou geometrie drážok sa dá tiež dosiahnuť určitého zníženia pnutia a k tomu aj zvýšenie chladiacej efektivity.

V súčasnej dobe sa naša skupina zaoberá štúdiom vplyvu rôznych pájok, ktoré dokonca naznačujú difundáciu pájky do kremíka a vznik spoja kremík-kremík. Ďalej sa zaoberáme štúdiom monochromátorov, ktorých chladenie sa nezabezpečuje vyššie spomenutým systémom chladiacich kanálikov, ale má o niečo zložitejšiu štruktúru, napríklad sandwichovou štruktúrou alebo štruktúrou Rib2Rib, ktorá je práve vo výrobe. Nami vyvinuté a vyrobené monochromátory už pracujú pri niektorých zdrojoch synchrotronového žiarenia a ich kvalitu neustále zlepšujeme.



Obr. 10 Rozšírenie rocking krivky v prípade neoleptaných (vľavo) a oleptaných (vpravo) drážok

Mgr. Peter Oberta, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, tel: 266 052 131  
 RNDr. Jaromír Hrdý, DrSc., Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, tel.: 266 052 148  
 Ing. Blahomil Lukáš, Polovodiče a.s., Novodvorská 1768/138a, 142 21 Praha 4



# Matematicko – štatistický model rezných síl v závislosti od rezných podmienok

Článok sa zaoberá vytvorením matematicko – štatistického modelu rezných síl pri pozdĺžnom sústružení ocele ISO 683/1-87 s použitím metód regresnej a korelačnej analýzy, ako aj identifikáciou významnosti týchto faktorov na skúmaný parameter.

## 1 ÚVOD

Rezné sily a momenty, ktoré vznikajú pri procese obrábania, pôsobia na obrobky, nástroje a všetky mechanické prvky obrábacích strojov.

Silu, ktorou pôsobí rezný klin nástroja na triesku označujeme ako reznú silu  $F$ . Proti tejto sile pôsobí materiál silou rezného odporu  $F$ . Reznú silu jedného rezného klina možno pri jednotlivých metódach obrábania rozložiť do troch navzájom kolmých zložiek (obr. 1), a to do smeru:

- hlavného rezného pohybu – hlavná zložka sily  $F_c$ ,
- radiálneho – kolmo na smer hlavného pohybu – spätná zložka sily  $F_p$ ,
- axiálneho – posuvová zložka sily  $F_f$ .

Hlavná zložka sily  $F_c$  je nevyhnutná na výpočet krútiaceho momentu (pri metódach obrábania s hlavným rotačným pohybom) a ťažnej sily (pri metódach obrábania s hlavným priamočiarym pohybom). Krútiaci moment  $M_k$  [N.mm] potrebný na obrábanie sa určuje zo vzťahu (1):

$$M_k = F_c \frac{D}{2} \quad (1)$$

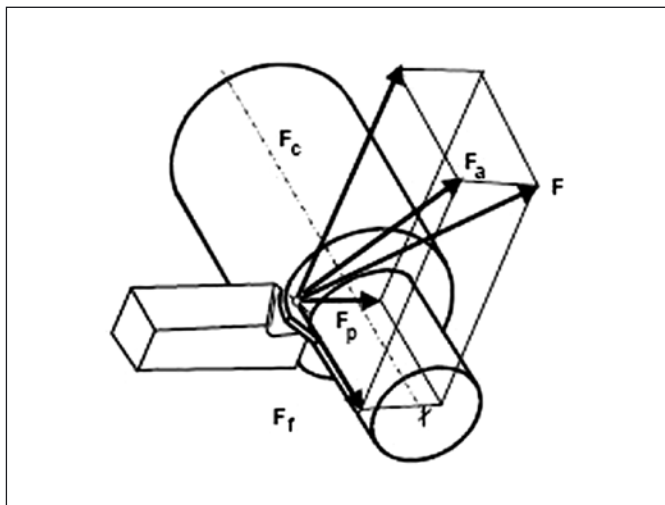
kde  $D$  je priemer obrábanej plochy v mm (pri vonkajšom obrábaní).

Spätná zložka sily  $F_p$  je dôležitá na výpočet nepresnosti tvaru v sústave obrábania, pretože deformuje obrobok a sústavu.

Posuvová zložka sily  $F_f$  zabezpečuje posuvový mechanizmus stroja.

Vzájomný pomer stredných hodnôt zložiek síl je približne (2):

$$F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25. \quad (2)$$



Obr. 1 Zložky rezných síl pri vonkajšom sústružení

Pri sústružení najčastejšie dochádza k tzv. viazanému neprerušovanému rezaniu. Pri tomto spôsobe rezania má výsledná rezná sila vzhľadom na súradnicovú sústavu stroja všeobecný smer. Túto silu možno rozložiť do smerov súradnicového systému stroja. Jednotlivé zložky namáhajú nástroj a obrobok v ohybe, majú tendenciu obrobok uvoľniť z upnutia. Preto je dôležité poznať ich pôsobenie a vedieť určiť ich veľkosť. Na určenie ich veľkosti môžeme použiť výpočtové metódy, kde ich stanovujeme na základe rovníc získaných experimentálne, tzv. štatistických rovníc rezných síl, alebo sa určujú meraním pomocou dynamometrov, alebo pomocou merania výkonu na vretene (nepriamo) [1 - 9].

## 2 EXPERIMENTÁLNA PROCEDÚRA

Matematicko – štatistický model zložiek rezných síl v závislosti od rezných podmienok bol vytvorený na základe merania týchto zložiek pri pozdĺžnom sústružení ocele ISO 683/1-87 nástrojom CNMG 120408 – WM z materiálu 4025 (P10 - P30 podľa ISO povlak CVD), pri konštantnej hĺbke rezu  $a_p = 1$  mm, na sústruhu SUI 40. Zložky rezných síl boli merané pomocou prístroja KISTLER na meranie zložiek reznej sily so snímačom KISTLER 9411, zosilňovačom signálu KISTLER 5006 a analógovými indikátormi KISTLER 5501.

Namerané hodnoty zložiek rezných síl boli následne pomocou metód regresnej a korelačnej analýzy spracované výpočtovým programom *Statistica* s následným vytvorením štatistických modelov a ich následným overením štatistickými metódami.

## 3 ANALÝZA DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

Po overení normality opakovaných meraní pre jednotlivé experimenty Shapiro – Wilksonovým testom, overení homogenity rozptylu opakovaných meraní Cochranovým testovacím kritériom a overení prítomnosti odľahlých meraní Grubsovým testom, boli dosiahnuté nasledovné výsledky:

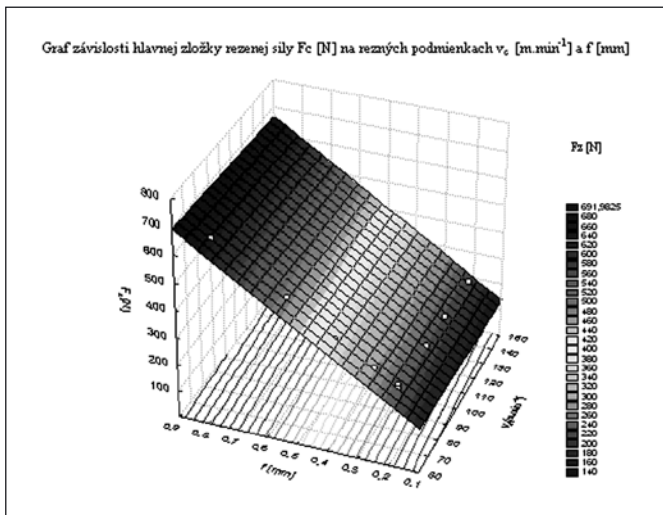
### 3.1 Hlavná zložka reznej sily $F_c$

Grafické znázornenie nameraných výsledkov pre hlavnú zložku reznej sily sú na obr. 2. Z vykonanej analýzy vyplýva, že najväčší vplyv na výslednú hodnotu hlavnej zložky reznej sily pri daných podmienkach experimentu má posuv, kým rezná rýchlosť sa javí ako štatisticky nevýznamná (obr. 3). Samotný matematicko – štatistický model má pri uvážení konfidenčných intervalov tvar (3):

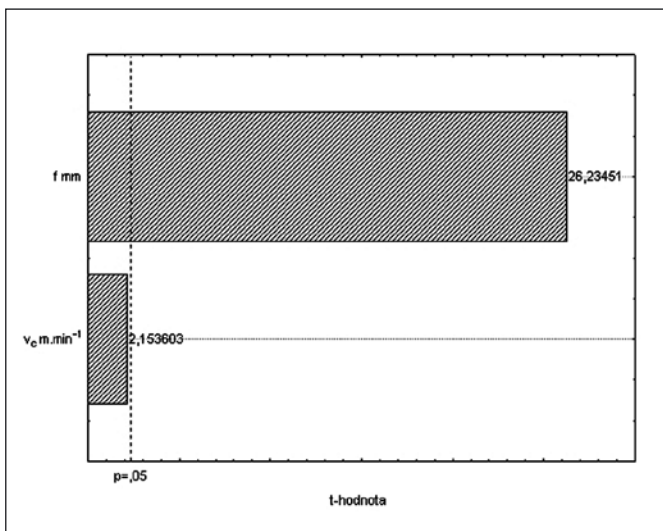
$$F_c = \frac{1145(\pm 1,663) * f^{0,716(\pm 0,064)}}{v_c^{0,112(\pm 0,122)}} \quad (3)$$

Viacnásobný koeficient korelácie, ako miera stochastickej závislosti hlavnej zložky reznej sily na rezných podmienkach, predstavuje 99,649 %, čo predstavuje funkčnú závislosť. Index

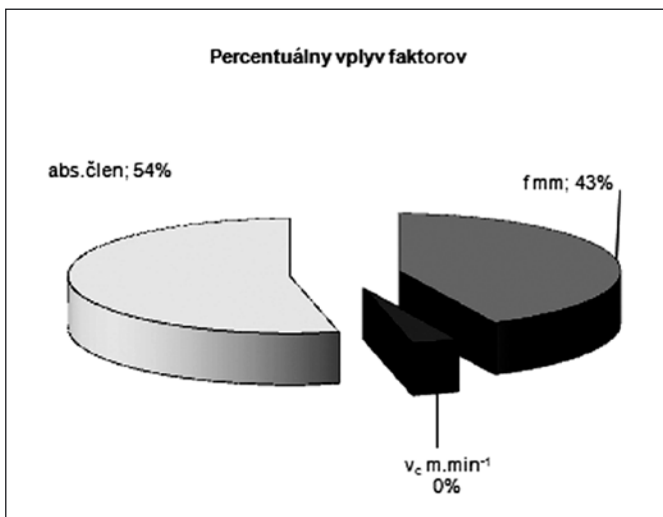
determinácie modelu predstavuje 99,300 %. Vypočítaná hodnota Fisher – Snedecorovho testovacieho kritéria pre posúdenie adekvátnosti vytvoreného regresného modelu predstavuje hodnotu 496,548, čo v porovnaní s tabuľkovou hodnotou potvrdzuje jeho vhodnosť.



Obr. 2 Priestorový graf závislosti hlavnej zložky reznej sily na rezných podmienkach



Obr. 3 Pareto diagram faktorov pre  $F_c$

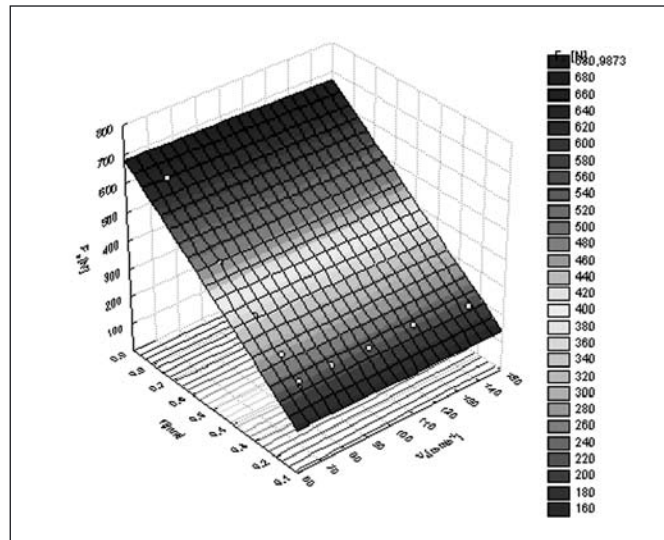


Obr. 4 Percentuálny vplyv faktorov na hodnotu  $F_c$

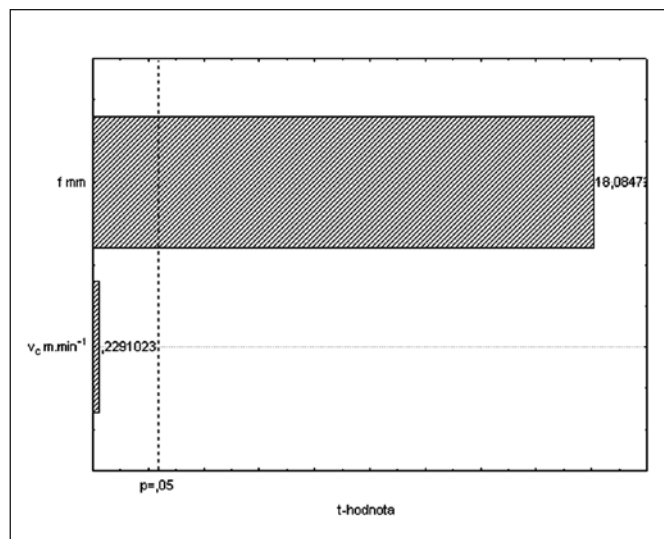
### 3.2 Radiálna zložka reznej sily

Priestorový graf znázorňujúci závislosť radiálnej zložky reznej sily od rezných podmienok: reznej rýchlosti a posuvu pri konštantnej hĺbke rezu je na obr. 5. Z obr. 6 a obr. 7 vyplýva, že podobne ako pri hlavnej zložke reznej sily aj tu má najväčší vplyv na konečnú hodnotu  $F_p$  posuv, ktorého podiel predstavuje 47 %, kým nesignifikantným faktorom je rýchlosť s vplyvom iba 4 %. Ostatné zanedbané faktory v matematickom modeli vplyvajú na výslednú hodnotu radiálnej zložky reznej sily 52 %. Matematicko – štatistický model má s uváženým intervalom spoľahlivosti pre dané faktory tvar (4):

$$F_p = \frac{762,079(\pm 2,148) * f^{0,741(\pm 0,097)}}{v_c^{0,018(\pm 0,184)}} \quad (4)$$

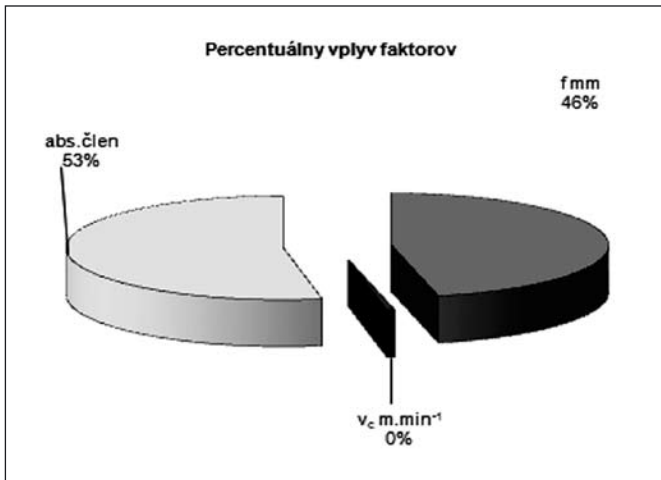


Obr. 5 Priestorový graf závislosti radiálnej zložky reznej sily na rezných podmienkach

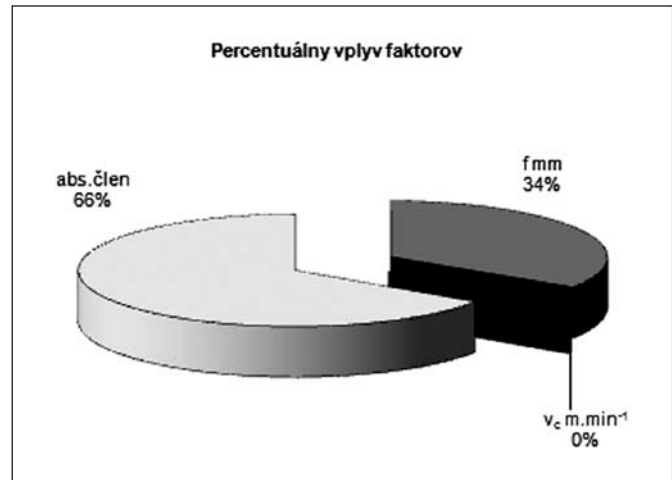


Obr. 6 Pareto diagram faktorov pre  $F_p$

Viacnásobný koeficient korelácie predstavuje 99,213 %, čo predstavuje funkčnú závislosť. Index determinácie modelu predstavuje 98,431 %. Vypočítaná hodnota Fisher – Snedecorovho testovacieho kritéria pre posúdenie adekvátnosti vytvoreného regresného modelu predstavuje hodnotu 219,604, čo v porovnaní s tabuľkovou hodnotou pri daných stupňoch voľnosti (2,7) potvrdzuje jeho vhodnosť.



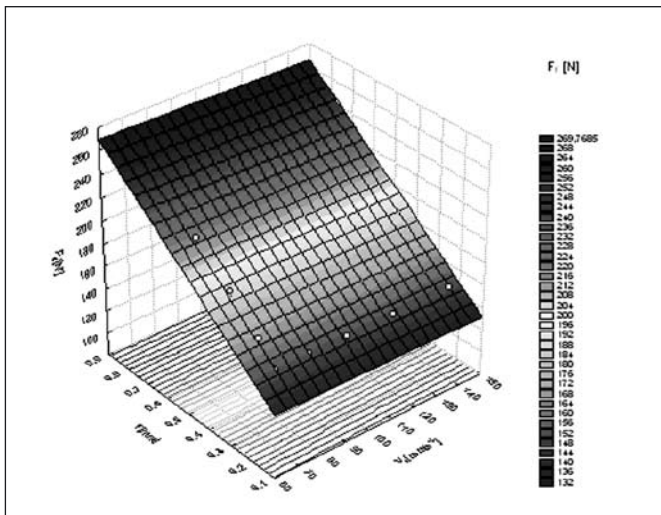
Obr. 7 Percentuálny vplyv faktorov na hodnotu  $F_p$



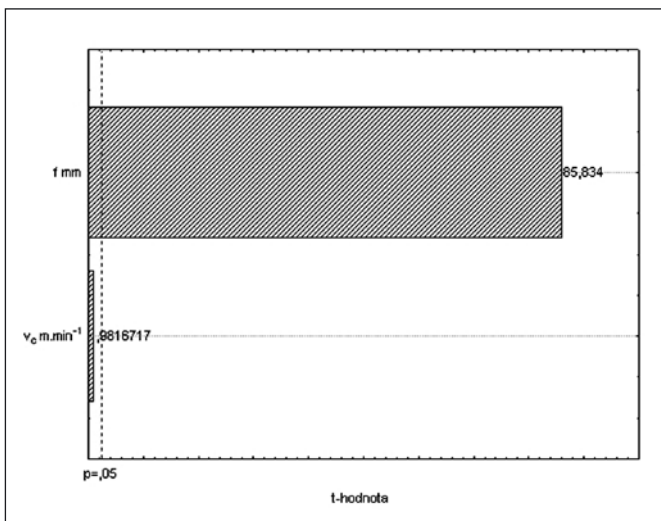
Obr. 10 Percentuálny vplyv faktorov na hodnotu  $F_f$

### 3.3 Posuvová zložka reznej sily

Závislosť posuvovej zložky reznej sily na rezných podmienkach znázorňuje obr. 8. Pri posuvovej zložke reznej sily má na jej výslednú hodnotu najväčší vplyv posuv, ktorého príspevok predstavuje



Obr. 8 Priestorový graf závislosti posuvovej zložky reznej sily na rezných podmienkach



Obr. 9 Pareto diagram faktorov pre  $F_f$

34 %. Naopak vplyv reznej rýchlosti je v porovnaní s ostatnými zanedbanými faktormi takmer nulový, podiel absolútneho člena na celkovej hodnote posuvovej zložky reznej sily je 66 %, ako znázorňuje obr. 9 a obr. 10.

Matematicko – štatistický model pre posuvovú zložku reznej sily má tvar (5):

$$F_f = 259,418(\pm 1,089) * f^{0,366(\pm 0,010)} * v_c^{0,008(\pm 0,019)} \quad (5)$$

Viacnásobný koeficient korelácie s hodnotou 99,964 % predstavuje funkčnú závislosť. Index determinácie modelu predstavuje 99,907 %. Vypočítaná hodnota Fisher – Snedecorovho testovacieho kritéria pre posúdenie adekvátnosti vytvoreného regresného modelu predstavuje hodnotu 4830,021, čo v porovnaní s tabuľkovou hodnotou pri daných stupňoch voľnosti (2,7) potvrdzuje jeho vhodnosť.

### 4 ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov a zrealizovanej regresnej a korelačnej analýzy pri pozdĺžnom sústružení ocele ISO 683/1-87 a vytvorených štatistických modelov zložiek reznej sily v závislosti od rezných podmienok v rozsahu použitých pri experimente možno konštatovať, že najväčší vplyv na výslednú hodnotu jednotlivých zložiek reznej sily má posuv, a to pre hlavnú zložku reznej sily 43 %, radiálnu zložku reznej sily 47 % a pre posuvovú zložku reznej sily 34 %. Vo všetkých modeloch vystupuje rezná rýchlosť ako nesignifikantný faktor, no na druhej strane sa prejavuje veľký vplyv ostatných „zanedbaných“ faktorov, vplývajúcich na výsledné hodnoty jednotlivých zložiek, akými sú: mechanické vlastnosti obrábaného materiálu, prierez a tvar odrezávanej vrstvy, uhol nastavenia hlavnej reznej hrany, rezné prostredie a spôsob obrábania. Teda pre presnejší pohľad na zložky rezných síl je nevyhnutné pri zostavovaní matematicko – štatistických modelov rezných síl zohľadňovať aj tieto faktory.

### Literatúra

- [1] BÁTORA, B., VASILKO, K.: *Obrobené povrchy, Technologická dedičnosť, funkčnosť*. Trenčín: Trenčianska univerzita, 2000, 183 s.
- [2] BÉKÉS, J.: *Inžinierska technológia obrábania kovov*. Bratislava: ALFA, 1981, 400 s.
- [3] BEŇO, J.: *Teória rezania kovov*. Košice: Strojnícka fakulta TU Košice, 1999, 255 s.
- [4] BUDA, J., BÉKÉS, J.: *Teoretické základy obrábania kovov*. 1. vyd., Bratislava: ALFA, 1977, 682 s.



- [5] BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K.: *Teória obrábania*. 2. prepracované vyd., Bratislava: ALFA, 1988, 392 s.
- [6] HLOCH, S., VALÍČEK, J.: Stanovenie významnosti technologických faktorov pri delení hliníka a nehrdzavejúcej ocele vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom. In: *Jemná mechanika a optika*. Vol. 51, No. 11-12 (2006), p. 326-329. ISSN 0447-6441.
- [7] HLOCH, S., VALÍČEK, J.: O mechanizme úberu vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom. In: *Strojárstvo*. roč. 10, č. 12 (2006), s. 12-13. ISSN 1335-2938.
- [8] VALÍČEK, Jan - HLOCH, Sergej: Způsob využití metody snímání stínovou metodou pro řízení kvality povrchů generovaných technologií abrazivního vodního paprsku. In: *Elektrotechnika v praxi*. Vol. 16, No. listopad, prosinec (2006), p. 62-66. ISSN 0862-9730. MELOUN, M., MILITKÝ, J.: *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: ACADEMIA, 2001, 766 s., ISBN : 80-200-1008-4
- [9] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J.: *Technologie obrábění a montáže*. Bratislava: ALFA, 1991, 496 s.

Ing. Miroslav Gombár, PhD., Ústav digitálních kompetencí PU v Prešove, 17. Novembra 11, 080 01 Prešov, Slovenská republika, tel.: 051/7725308, fax: 051/7725308, e-mail: mirek@unipo.sk  
 Ing. Alexander Pella, Ústav digitálních kompetencí PU v Prešove, 17. Novembra 11, 080 01 Prešov, Slovenská republika, tel.: 051/7725308, fax: 051/7725308, e-mail: pella@unipo.sk

## Prezentace strojírenství v Praze opět v dubnu 2008

Veletrhy FOR INDUSTRY a FOR SURFACE se v roce 2007 úspěšně začlenily do nové strategie veletržní správy ABF, která se stala odkoupením strojírenských titulů MACH, FINET, METAL, INTERCHEM a WAREC výhradním pořadatelem veletrhů se strojírenskou tematikou v Praze.

Letošní počet vystavovatelů a velké zastoupení zahraničních firem ukázaly, že je hlavní město České republiky zajímavým místem pro pravidelná setkávání všech, kteří ve strojírenství podnikají a chtějí prezentaci při pražských strojírenských veletrzích co nejefektivněji zviditelnit své podnikatelské záměry právě v srdci Evropy. V termínu od 11. do 13. dubna se téměř 250 vystavovatelů z 12 zemí (Belgie, Česká republika, Čína, Irák, Itálie, Moldavsko, Německo, Polsko, Rakousko, Slovensko, Spojené arabské emiráty, Turecko) prezentovalo v oborech strojírenských technologií, povrchových úprav, metalurgie, chemické výroby, zpracování plastů, nakládání s průmyslovými odpady a recyklace. Veletrhy byly zahájeny slavnostní vernisáží za účasti rektora ČVUT v Praze prof. Ing. Václava Havlíčka, CSc., který společně s generální ředitelkou ABF, a.s. Ing. Miloslavou Veselou přestříhl pásku a otevřel tak pořádání veletrhů v nové koncepci.

**Pro rok 2008 připravuje již nyní veletržní správa ABF za spolupráce s tradičními, ale i novými odbornými garanty a mediálními partnery Mezinárodní veletrh strojírenských technologií FOR INDUSTRY s termínem konání 15. – 17. 4. 2008 v Pražském veletržním areálu Letňany.**



Rádi bychom Vás informovali, že na základě několikaleté úspěšné spolupráce s hlavním odborným garantem veletrhu

povrchových úprav – Českou společností pro povrchové úpravy, bude i nadále zachován pro prezentaci tohoto oboru dvouletý cyklus. Další ročník specializovaného veletrhu FOR SURFACE se uskuteční opět souběžně s veletrhem strojírenských technologií v dubnu 2009. V příštím roce budou technologie pro povrchové úpravy začleněny do nomenklatury veletrhu FOR INDUSTRY.

### Zaměření veletrhu FOR INDUSTRY

- stroje, zařízení a technologie pro obrábění • tváření • svařování
- dělení • povrchové úpravy • zpracování průmyslových plastů a pryží • výroba nástrojů a forem • laserové technologie • značení
- automatizované výrobní systémy • průmyslové roboty a manipulátory • příslušenství pro stroje a zařízení • průmyslové mytí a čištění • nástroje a nářadí • metrologie • konstrukční materiály
- komponenty a subdodávky • provozní technologie • zpracování, recyklace a likvidace odpadních produktů • ochranné prostředky
- služby • odborné organizace •

Věříme, že i pro Vás bude možnost účasti na mezinárodním veletrhu strojírenských technologií FOR INDUSTRY 2008 v Praze zajímavou příležitostí a přínosem pro Vaše podnikatelské záměry.

Na spolupráci s Vámi se těší Ing. Hana Pokorná a Ing. Regina Matoušková – OT Průmysl.



ABF, a.s., veletržní správa, Václavské nám. 29, 111 21 Praha 1, tel.: +420 222 891 264-6, fax: + 420 222 891 199, e-mail: forindustry@abf.cz, www.forindustry.cz, www.abf.cz

## Aký jasomer je vhodný pre úradné meranie?

### ÚVOD

Očakáva sa, že digitálna kamera vybavená snímačom typu CCD alebo CMOS nahradí v súčasnosti pôvodné, dosť rozšírené jasomery, ktoré sú už dlhší čas na svete skoro nepoužiteľné. Revolúcia v oblasti merania svetla je predĺženou rukou videnia, ktoré je založené na schopnosti zrakového orgánu rozlišovať jasnosti. Všeobecne môžeme povedať, že to, čo vnímame pri pohľade na kritický detail a okolie, produkujú aj moderné digitálne kamery s vysokým rozlíšením série LMK firmy TechnoTeam Bildverarbeitung. Snímací čip prevádza jas snímaného objektu na elektrický signál, ktorý sa spracúva elektronikou kamery na dátový obrazový súbor. V tomto prípade prehľad o jase v rôznych bodoch snímaného objektu získame:

- vyhotovením digitálneho obrázku podľa zákonov optiky a osvetľovania snímacieho čipu;
- prenesením obrazových dát z digitálu do počítača;
- spracovaním digitálnej snímky s nainštalovaným softvérom LMK2000 na počítači.

Pri prvom úkone sú najdôležitejšími činiteľmi: objektív (ohnisková vzdialenosť; clonové číslo a konštrukcia), priblíženie (optický zoom), zaostrovanie na snímaný objekt (rozsah zaostrenia a zaostrovanie pole), expozícia (meranie expozície; regulácia expozície a rozsah), uzávierka (čas uzávierky), citlivosť ISO, počet efektívnych megapixelov, ktorý závisí od počtu buniek snímača (obrazových bodov), ukladací priestor (médiá – interná pamäť a pamäťové karty typu SD; formáty súborov – formát RAW a formát JPEG s kompresiou) a pod. *Poznámka.* – *Pixel je jeden obrazový bod.* Pri druhom úkone je dôležité rozhranie (budeme potrebovať USB port či FireWire). Pri tretom úkone používame operačný systém počítača (Windows XP Professional alebo novší) a ďalší doplnkový softvér LMK2000 na spracovanie snímaných objektov.

### Kvalitný digitál je zárukou merania svetla podľa záväzných predpisov v metrologii

Snímky vytvorené s digitálom sa ukladajú ako obrazové súbory na pamäťovú kartu. Také snímky sa dajú ihneď na monitore zobrazíť. Prítom digitálne kamery musia mať dobrý objektív, automatické zaostrovanie, presnú expozíciu a snímací čip. Vstavaný expozimeter riadi expozíciu, ktorá sa skladá z kombinácie času a clony. K tomu ešte treba prirátáť hľadáčik. O elektronike vnútri digitálnych kamier v tomto texte pomlčíme. No, digitál sa bez energetických zdrojov (klasických batérií, dobíjajúcich akumulátorov alebo pripojenia na sieť) nepohne. Samozrejme, táto technika v prípade merania svetla potrebuje metrologickú kontrolu.

Pozor, bez kvalitného objektívu nemôže byť kvalitná snímka. Základným údajom pri posudzovaní vhodnosti určitého objektívu je jeho ohnisková vzdialenosť a optický zoom (rozsah ohniskovej vzdialenosti). V príručkách digitálnych kamier je uvedená ohnisková vzdialenosť v rozsahu od - do. Napríklad 18 mm – 50 mm (LMK mobile advanced). V takomto prípade menšie číslo znamená širokouhlý objektív, väčšie číslo teleobjektív. Medzi nimi možno ohniskovú vzdialenosť objektívu spojiť meniť. Ak objektív nemá zoom, v technických parametroch objektívu nájdete len jedno číslo. Na každý motív sa však hodí iné ohnisko objektívu. Práve preto má dnes väčšina objektívov zoom. Lenže, keď sa používa zdanlivé približovanie objektu, väčšinou býva snímka menej kvalitná. Mimo chodom, zoomy s väčším ako 3násobným optickým priblížením produkujú relatívne nekvalitné snímky. Platí, že čím menšia je ohnisková vzdialenosť objektívu, tým je širší snímací uhol a obrátené.

Široký záber snímaného objektu so sebou prináša prudké rozdiely v jasoch, čo môže narobiť problémy, avšak chvenie rúk sa na ostrosti snímok prejaví minimálne. S narastajúcim ohniskom objektívu sa snímací uhol zužuje a chvenie rúk sa čoraz intenzívnejšie prejavuje na ostrosti snímok. Optický stabilizátor je potom nesmierne užitočné zariadenie, ktoré vykompenzuje neúmyselný pohyb digitálom. V súčasnosti optické stabilizátory majú veľmi rozličné konštrukcie. Konkrétnejšie, konštrukcia objektívu so stabilizátorom je volená tak, že časť optiky je pohyblivá, plávajúca. Ak sa pri snímaní objektu objektívom nehýbe, ani optika sa nehýbe. V momente, keď jemne pohneme objektívom, gyroskopický mechanizmus to zistí a pohne plávajúcou časťou optiky tak, aby pohyb digitálu kompenzoval. Tento druh stabilizácie obrazu je mechanický. Inou možnosťou je stabilizátor, ktorý je umiestnený priamo v telese digitálu. Je to zariadenie, ktoré drží snímač. Ak zistí, že sa digitálom pohlo, posunie snímač správnym smerom a navyše aj správnou rýchlosťou. Takýto stabilizátor ošetruje elektronika. Zoom spôsobuje to, že konštrukcia objektívu musí byť zložitejšia, a tým pádom sú jeho kvalitatívne vlastnosti horšie. Na druhej strane musíme povedať, že objektívy s pevnou ohniskovou vzdialenosťou vynikajú ostrou a precíznou kresbou, ktorá je v minimálnej miere ovplyvnená tvarovým skreslením. Znamená to, že pri pevnom ohnisku objektívu je možné optikou odstrániť všetky kompromisy a obmedzenia, ktoré so sebou rôzne zoomy nesú. Používatelia digitálnych kamier na úradné meranie svetla väčšinou využívajú objektívy bez zoomu. Požiadavky na rôzne ohniskové vzdialenosti riešia tak, že snímajú objekty s dvomi objektívmi. Jedným je veľmi širokouhlý objektív a druhým mierny teleobjektív.

Ďalší údaj uvedený v technických parametroch objektívu je svetelnosť. Pod svetelnosťou sa rozumie to, ako veľa svetla dopadne na snímací čip pri zábere snímaného objektu. Svetelnosť sa udáva ako číslo F, napríklad v prípade LMK mobile advanced F4 – F5,6 – F8 – F11. Tento medzinárodný rad clonových čísiel je určený tak, že každé najbližšie vyššie clonové číslo vyžaduje dvojnásobné predĺženie expozičného času. Digitál s vyššou svetelnosťou má lepšie optické vlastnosti a nedáva možnosť snímaču produkovať elektronický šum. Čím sú tieto čísla vyššie, tým menej svetla ide na snímač. Ak má objektív zoom, tak býva spravidla konštrukčne náročnejšie dosiahnuť stav, kedy by mal objektív vo všetkých polohách zoomu rovnakú svetelnosť. Len kvalitnejšie objektívy umožňujú meniť ohniskovú vzdialenosť tak, že je v celom rozsahu zoomu zachovaná konštantná svetelnosť. Väčšina objektívov sa správa tak, že v stave širokouhlého objektívu má najmenšiu clonu, ale s pribúdajúcim zoomom svetelnosť klesá a potom bude označená ako vyššie číslo. Ak chceme hĺbku ostroty skratiť, musíme clonu čo najviac otvoriť. Naopak, ak chceme, aby bolo ostré všetko blízko aj ďaleko, musíme clonu viac privrieť. Takisto záleží i na počte segmentov clony. Čím viac segmentov clona má, tým viac sa tvar otvoru približuje kruhu. To má veľký vplyv na rozmazanie objektov, ktoré sa nachádzajú mimo roviny ostroty.

Digitálne kamery sú extrémne citlivé na presnú expozíciu. Aby snímka nebola príliš tmavá (podexpozícia) alebo príliš svetlá (preexpozícia), je potrebné správne stanoviť expozíciu. Dĺžku expozície kontroluje čas uzávierky. Čím viac skrátime expozičný čas, tým menej bude snímač osvetlený. Série modelov LMK98 umožňuje exponovať až 15 s. To sa hodí pre pozemné komunikácie a cestné tunely. Najkratší čas zas hovorí, o opačnej hodnote, pohybuje sa okolo 100  $\mu$ s. Automatické nastavenie expozície má každý digitál.

Možnosť manuálneho riadenia expozície fotoaparátu má tiež svoje miesto. Väčšina digitálov má možnosť pred snímaním objektu upraviť jeho svetlosť alebo tmavosť. Je to dôležité, ak snímate v protisvetle. Vtedy môžete mierne zosvetliť budúcu snímku. Je to nástroj korekcie expozície. Tento parameter sa uvádza v jednotkách EV (Exposure Value). Udáva sa v rozsahu o kolko EV sa dá expozícia korigovať. Bežná hodnota býva plus (preexpozícia) a mínus (podexpozícia) 2,0 EV. Konkrétne, ak nastavíme posun o + 1 EV, digitál bude exponovať dvojnásobnou expozíciou, ako pri automatike. V príručkách digitálnych kamier býva uvedené, ako jemne sa EV dá nastaviť (spravidla s krokmi 1/3 EV). Ešte je tu slovíčko citlivosť, ktoré označuje kolko svetla musí dopadnúť na snímač, aby bol schopný niečo zaznamenať. Citlivosť snímačov sa udáva v jednotkách ISO. Čím menej svetla stačí snímaču na to, aby niečo zaznamenal, tým je citlivejší. Čím vyššia je citlivosť, tým je kratší čas snímania. Žiaľ, do obrazu sa vmieša elektronický šum vo forme náhodne umiestnených svetlých bodov. Každé zdvojnásobenie hodnoty ISO znamená polovičné množstvo svetla potrebného k expozícii. Základnú citlivosť ISO 100 možno použiť pri veľmi dobrom osvetlení, pri podmienkach slabého osvetlenia je potrebné použiť vyššie hodnoty – ISO 800 alebo 1600. Automatika robí to, že citlivosť drží na najnižšej možnej hodnote a zdvihne ju, len pri snímaní v tme. Ak sa zobrazí ikona ISO, znamená to, že bola zvýšená citlivosť.

Za účelom dosiahnutia prirodzených farieb snímok pri rôznych druhoch svetla sa používa funkcia WB (vyváženie bielej farby). Automatické vyváženie bielej farby je samozrejmosť, ručné nastavenie sa používa na kompenzáciu svetelných zdrojov so silným farebným nádychom (pri snímaní pri svetle žiaroviek, žiariviek, výbojok a pod.).

Snečná clona je mechanická prekážka, ktorá znemožní dopadať svetlu na čelné sklo objektívu. Aj keď optika býva vybavená anti-reflexnými vrstvami, oplatí sa slnko a intenzívne svetelné zdroje zaoclniť. Zamedzíme tým vzniku závoja, ktorý zníži kontrast.

Na rýchle vyhľadávanie a správne nariadenie smeru digitálu tak, aby sme mohli zachytiť snímaný objekt na snímači, sa v zrkadlovkách používajú rôzne druhy hľadáčikov. V hľadáčiku je objekt ohraničený tak, ako bude ohraničená snímka. Potom odpadá hľadanie obrazu na monitore. Je to presnejšie, lebo v lete pri prudkom slnku na LCD displeji dokopy nič nevidíme. Ak je hľadáčik aj monitor zároveň, je to lepšie. LCD displej významne zlepšuje možnosti snímania. Čím je väčší rozmer monitora a počet bodov, tým lepšie. K dispozícii je výber z niekoľkých nastavení pre jas monitora. Nevýhodou je, že objekt, na ktorý sa pozeráme cez LCD displej, vidíme s oneskorením o desatinu sekundy. Netreba však zabúdať, že monitor slúži aj na zobrazenie ovládacích menu.

Ak chceme nastaviť automatické zaostrenie a expozíciu, treba jemne stlačiť tlačidlo spúšte do polovice. Kým držíme tlačidlo spúšte v tejto polohe, zaostrenie a expozícia sa zapamätajú. To trvá cca polsekundy až sekundu. Ak už nespustíme prst zo spúšte, následné stlačenie nadoraz spôsobí zápis snímaného objektu. Sériové snímání znamená možnosť nasnímať pri každom stlačení spúšte viac snímok rýchlo za sebou. Koláž týchto snímok usporiada digitál do jedinej snímky. Funkciu voľby najlepšej snímky sa odporúča použiť pri priblížení alebo v iných situáciách, keď môže neúmyselný pohyb spôsobiť rozmazanie snímok.

Funkciu záznamového média predstavuje snímač typu CCD, v prípade modelu LMK mobile advanced snímací čip CMOS. Rozlíšenie snímača sa uvádza pomocou štvorčekovej siete v megapixeloch (Mpix). Často uvádzaný počet efektívnych megapixelov znamená, že čip nie je využitý po celej ploche. Nás zaujíma údaj o efektívnych pixeloch. Čím viac megapixelov, tým lepší digitál. Pripomeňme si, že snímací čip ukladá čiernobiely snímok. Môže obsahovať 256 úrovní rôzne tmavých sivých tónov. K farebnej informácii sa dopracujeme, ak pred každou bunkou snímača umiestnime farebné filtre RGB. V tomto prípade každý pixel si uchováva informáciu buď R (pre červený kanál), G (pre zelený kanál) alebo B (pre modrý kanál). Táto kombinácia 256 x 256 x 256 vytvára 16,7 miliónov možných farieb. Pritom jas a farba sa nemôžu vnútri pixelov meniť.

Ďalší parameter týkajúci sa kvality digitálneho obrázku je dátový formát a jeho prípadná kompresia. Kompresiou sa dá zmenšiť veľkosť súborov a s ňou aj počet snímok, ktoré preniesime z digitálu do počítača. V počítači sa obrázok rozťahne na pôvodnú dátovú veľkosť. To automaticky spraví grafický program pracujúci s jednotlivými pixelami snímok. Pri kompresii existujú dve metódy: stratová a bezstratová kompresia. Pri bezstratovej kompresii sa stlačia digitálne snímky bez straty informácie zo snímok. Táto metóda je síce obrazovo kvalitnejšia, ale neposkytuje príliš veľkú úsporu dát. Preto sa na ukladanie snímok používa stratová kompresia. Vychádza z predpokladu, že ľudské oko nie je dokonalé a tak pri kompresii vypustí niektoré informácie zo snímky. Na prvý pohľad nikto nevidí, že snímka je zmenená. Práve preto, že po rozbalení dostanete obrázok, ktorý nie je zhodný s originálom, nazýva sa takáto kompresia stratovou. V digitálnych kamerách je najpoužívanejší formát JPEG. Kompresiu snímok v JPEG označujeme za stratovú. V digitálnych kamerách nebyva výber možností nastavenia formátu súboru, nedozvieme sa ani na kolko percent sa digitálny obrázok komprimuje. Často výrobca nastavuje strednú úroveň kompresie. Existujú však aj digitály, ktoré umožňujú nastaviť úroveň kompresie manuálne. Úrovně kompresie bývajú označené Low, Normal a Fine. Fine je kompresia s minimálnou stratovosťou a veľkým dátovým objemom. Normal býva primerane zvolená miera kompresie, aby bola práve na hranici, kedy už začína byť jej dôsledky vidieť. V praxi sa dá štandardne pracovať s nastavením Normal. Low označuje nízku kvalitu obrazu a malé dátové súbory. Pri voľbe úsporného režimu je dôležité, aby snímok mal čo najviac megapixelov a radšej veľmi silnú kompresiu, než naopak. Vo formáte JPEG kompresor pracuje s blokmi o veľkosti 8 x 8 pixelov. Z takých štvorcov sa skladá každá snímka. Ak budeme mať veľké rozmery digitálneho obrázku, sieť štvorcov bude relatívne menšia, než v prípade obrázku s malými rozmermi. Niektoré digitály majú k dispozícii aj formát RAW, do ktorého sa ukladá záznam zo snímača bez spracovania snímky a všetky nastavenia snímanej scény. Snímka vo formáte RAW sa nedá prehliadať priamo, treba ju najskôr vytvoriť v počítači. RAW je presnou snímku, akú zaznamenal snímač. Kto nechce stratiť žiadnu časť údajov, musí uložiť snímku do formátu RAW. RAW si môžeme spracovať tak, ako sa nám hodí. RAW je možnosť, ako zmeniť digitálnu kameru na jasomer.

Snímky vytvorené s digitálom uložíme na pamäťovú kartu. Z pamätevej karty presunieme snímky do počítača na uchovanie a úpravy. Pamäťovú kartu následne vymažeme a môžeme na ňu znovu uložiť iné snímky. Je viacero druhov pamäťových kariet. Najvýraznejšie rozdiely sú v druhu a tvare samotnej karty. Jedna sa volá napríklad Compact Flash (v prípade LMK mobile advanced), iná Memory Stick. Líšia sa tvarom a nie sú vzájomne zameniteľné. Potom sú rozdiely aj v technológii. Napríklad karta typu Compact Flash je rýchlejšia, iná pomalšia. Rýchlosť prenosu dát, s akou dokáže karta pracovať, mierne ovplyvní aj rýchlosť snímania. Čas, kým sa obrázok uloží, bude na rýchlejšej karte kratší. Nielenže sú rôzne druhy, ale aj v rámci jednotlivých druhov sú karty rýchlejšie alebo pomalšie. Netreba zabúdať ani na kapacitu pamätevej karty. Čiže informáciu o tom, aký objem dát sa dá na kartu uložiť (1 GB v prípade LMK mobile advanced). Tento parameter je najvýznamnejším údajom, pretože ak je kapacita veľká, zmestia sa na kartu aj stovky snímok. Množstvo uložených snímok na karte je ovplyvnené aj tým, ako je nastavený digitál. Niektoré digitály na svoju réžiu spotrebujú nevelké množstvo dát. Jedným z parametrov pamätevej karty môže byť aj to, kolko energie spotrebuje. Karta, ktorá na svoju prevádzku spotrebuje menej energie, umožní vďaka úspore energie o niečo dlhšie snímání. Platí, používajme iba pamäťové karty testované a schválené výrobcom.

Všetky digitálne kamery umožňujú prenos snímok do počítača cez USB port. Väčšina digitálov je priamo podporovaná súčasnými operačnými systémami (Windows XP Professional alebo novšími) preto nevzniká žiadny problém. Ak máme poruke káblík, snímky skopírujeme na väčšinu počítačov bez toho, aby bolo treba inštalovať doplnkové ovládače, alebo špeciálne programy.



## Moderné digitálne kamery na meranie svetla

Technika firmy TechnoTeam Bildverarbeitung prelomila všetky bariéry v oblasti merania svetla. Na meranie svetla sa dnes používa profesionálna digitálna zrkadlovka Canon EOS 350D (LMK mobile advanced) alebo séria modelov LMK98.

Svoje označenie získal digitálny fotoaparát Canon EOS 350D podľa polopriepustného zrkadla s rýchlym návratom (pomer priepustnosť: odraznosť je 40 : 60), ktoré je medzi objektívom so samostatnou slnečnou clonou a snímačom a ktoré odráža obraz z objektívu do hľadáča. Zahŕňa výkonný snímač CMOS s rozlíšením 8 Mpix, displej LCD s uhlopriečkou 1,8 palca (4,5 cm) (s 115 tisícami zobrazovacích bodov s nastavením jasu) a obrazový procesor DIGIC II, ktorý zlepšuje reakčnú rýchlosť a spracovanie obrazu. Model LMK mobile advanced je kompatibilný so všetkými objektívmi vyvinutými pre digitálne zrkadlovky Canon. Ponúka sa s kvalitným objektívom Sigma 18 – 50 mm F2,8 EX DC.



Obr. 1 Profesionálna digitálna zrkadlovka Canon EOS 350D (LMK mobile advanced)

Takisto ponúka možnosti manuálneho nastavenia. Hľadáčik (dioptrická korekcia: – 3 až + 1 D) je umiestnený blízko objektívu. Keďže sa pozeráme priamo cez objektív, vidíme snímaný objekt tak, ako prirodzeným pohľadom. Po zatlačení spúšte snímací čip a vysoko výkonný riadiaci procesor DIGIC II uložia na kartu zachytený obraz, ktorého vlastnosti sú závislé na nastaveniach. LCD displej na zadnej strane zrkadlovky je dobre čitateľný aj na priamom slnečnom svetle. Môže slúžiť ako hľadáčik, pričom zobrazuje presný výrez snímku. Je na ňom možné nastavovať jednotlivé funkcie menu. Aby bola zrkadlovka pri používaní objektívov univerzálna, je vybavená štandardizovaným bajonetom. Ten zaisť nielen pohodlnú výmenu objektívov a ich precízne osadenie, ale i komunikáciu s telesom zrkadlovky. Veľkým pokrokom je vylepšenie slabej stránky digitálnych zrkadlovičiek, teda hromadenie prachu pri montovaní a odmontovaní objektívov na jej teleso. Tento model disponuje systémom EOS pre vstavané čistenie, ktorý používa 3 metódy boja proti tomuto problému: redukcii - pomocou vnútorných mechanizmov pre zabránenie vstupu prachu, predchádzanie - pomocou antistatických technologických aplikácií na úrovni dolného filtra a odstraňovanie - pomocou vysokofrekvenčných vibrácií pri každom zapnutí. Tak sa značne zmenší množstvo prachu a môžeme pokojne snímať požadovaný objekt. Objektív nie je iba sústava šošoviek, ktoré sú pevne alebo pohyblivo osadené v tubuse. Vo vnútri objektívu sa nachádza i elektronika, ktorá pomáha zrkadlovke vyhodnocovať expozičné parametre. Každý objektív je vybavený nastaviteľnými lamelami

clony, vo výbave je i motorček, ktorý zaisťuje zaostrovanie. Objektív je teda rovnako komplikovaným zariadením, ako samotná zrkadlovka. Keďže zmena ohniska a zaostrovanie sa uskutočňujú rotovaním niektorých optických členov, je dôležité ako je mechanizmus navrhnutý. Najlacnejšie objektívy nás obťažujú rotujúcim čelným segmentom, objektív Sigma 18 – 50 mm F2,8 EX DC má mechaniku riešenú vo vnútri tak, aby bol pohyb optiky čo najmenší. Postavenie optických členov určuje i iné limity. Do hry vstupuje minimálna zaostrovacia vzdialenosť či rozsah zaostrenia, ktorý je možné rozšíriť tak, aby bolo dostupné i snímanie v makrorežime. Ostriace body nám ponúkajú prehľad o tom, ktoré miesta snímanej scény by zvolila pri vyhodnocovaní automatika, alebo ktorý z bodov vyberáme manuálne my. Pri manuálnom zaostrovaní, pri namačkutej spúšti ikona v tvare bodky prezradí, že sme dosiahli potrebnú ostrosť. Na rozdiel od ultrazoomu, ktorý je vybavený asistentom zaostrovania s funkciou zoom, pri zrkadlovke sa musíme spoľahnúť na svoje oči. Rovnako je potrebné vedieť rešpektovať obmedzenia objektívov, ktoré používame. Štandardný pohľad do hľadáča nám neprezradí čo bude v rovine ostrości a čo mimo nej. Buď sa spoľahneme na kontrolu snímok pomocou monitora alebo využijeme tlačidlo pre jej náhľad. Aby bol pohľad cez hľadáčik čo najsvetlejší, clona je v objektíve vždy plne otvorená tak, aby do vnútra prenikalo maximum svetla. Akonáhle však zatlačíme tlačidlo spúšte, lamely sa nastavujú do zvolenej pozície a svetelné množstvo prenikajúce dnu sa zmení. To spôsobí, že objekty, ktoré boli v hľadáči rozmazané, môžu byť na snímke ostré. To preto, že sú mimo roviny hĺbky ostrości. Zrkadlovka ponúka náhľadové tlačidlo. Pri jeho zatlačení sa lamely clony nastavujú až do uvoľnenia do pozície, ktorú sme zvolili. Monitor slúži nielen na prístup k menu, ale hlavne na to, aby sme mohli snímky kontrolovať priamo v teréne. Preto je dôležité nielen aktivovať automatický náhľad snímok po ich zápise na kartu, ale aj naučiť sa pracovať v režime prehliadania s funkciou zoom. Aj 1,8 - palcový monitor je príliš malý na to, aby sme bez zväčšenia dokázali posúdiť či je snímka dostatočne ostrá a bez šumu. Histogramy síce pomôžu pri vyhodnotení expozície, s ostrosťou a šumom to bez dôslednej kontroly nejde. Zrkadlovka môže na prvý pohľad pôsobiť zložito a my sa môžeme ocitnúť pred rozhodnutím, či nie je najjednoduchšou cestou nechať všetko na automatike. Prenos snímok z pamäte zrkadlovky do počítača je možné urobiť prostredníctvom prepojenia zariadení vhodným káblom. Používa sa rozhranie USB. Rozhranie FireWire sa stáva čoraz populárnejším z dôvodu vyšších prenosových rýchlostí ako USB. Je však nutné, aby bol počítač vybavený portom FireWire.



Obr. 2 Model LMK98 – 4 color

Pretože ľudské oko, ktoré vytvára obraz priamym pozorovaním, je voči svetlu a farbám citlivé ináč než snímače typu CCD alebo CMOS, ktoré používa na záznam snímanej scény séria modelov LMK98 (viď. dokumentáciu firmy TechnoTeam Bildverarbeitung dodanú spolu s výrobkom) alebo profesionálna digitálna zrkadlovka Canon EOS 350D (LMK mobile advanced), treba brať do úvahy najmä:

- odchýlku údajov spektrálnej citlivosti od funkcie  $V(\lambda)$ ;
- smerovú chybu;
- chybu linearity;
- teplotnú chybu;
- chybu pri meraní modulovaného svetla;
- totálnu chybu.

Prehľad určených chýb, ktoré sú uvedené v dokumentácii digitálnych kamier firmy TechnoTeam Bildverarbeitung zodpovedá požiadavkám *STN EN 13032 Svetlo a osvetlenie. Meranie a vyhodnotenie fotometrických údajov svetelných zdrojov a svietidiel*.

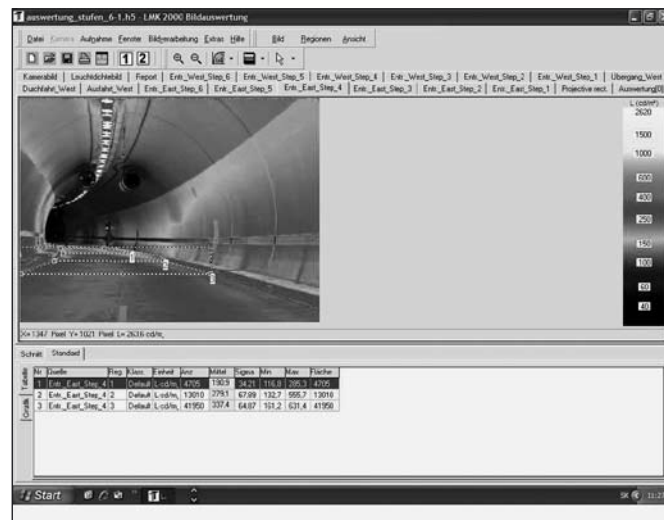
### Program LMK2000

Hlavnou úlohou užívateľov digitálnych kamier firmy TechnoTeam Bildverarbeitung je pochopiť a ovládať profesionálny program LMK2000, vytvorený viac – menej pre meranie jasů a farby snímanej scény. Medzi utility (jednoduché pomôcky) patria jednoúčelové, malé programy, ktoré sú súčasťou základného produktu LMK2000. Najdôležitejšie sú:

- LMK2000 *Scheinwerfer* - pre meranie svetlometov a ostatných svietidiel vozidiel;
- LMK2000 *Strassen und Tunnel* – aplikácia pre pozemné komunikácie a cestné tunely;
- LMK2000 *Konoskop* – program s prídavným objektívom, ktorý sníma jas a farbu monitorov;
- LMK2000 *Spektrometer* – technológia umožňujúca meranie spektrálneho žiarenia a trichromatických súradníc farebných podnetov;
- LMK2000 *color interior*, resp. LMK *interior* – aplikácia pre skúšky osvetlených a presvetlených bezpečnostných značiek.

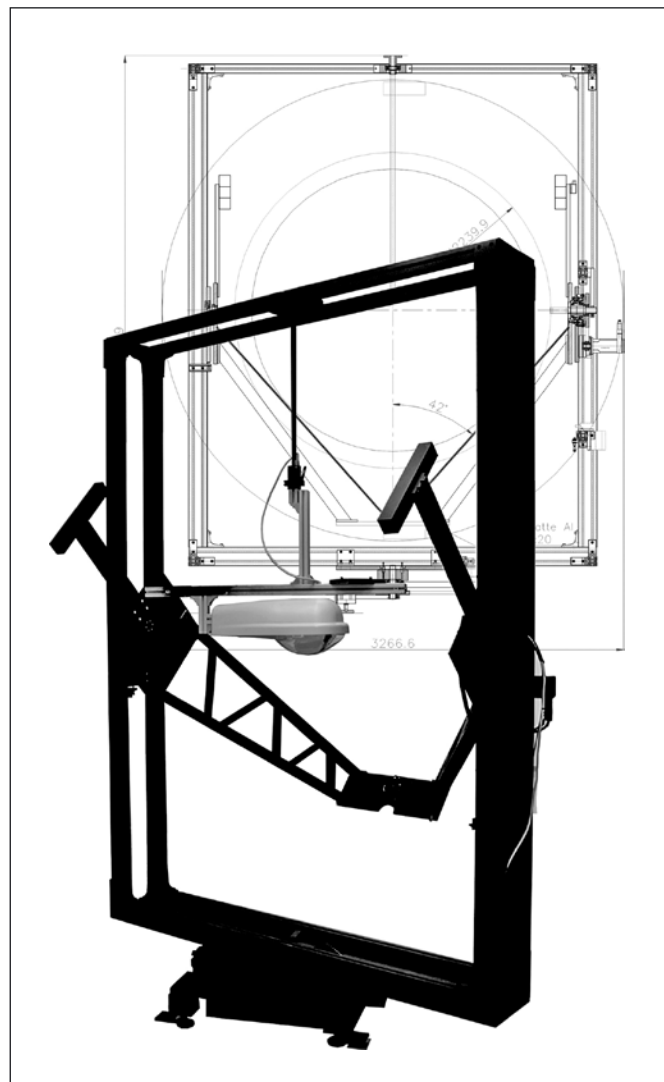
Ide o presne špecifikovanú skupinu programov, ktorých hlavným cieľom je vytvoriť záznam o fotometrickom meraní. Utility sa dajú obstaráť zvlášť, ale obvykle sú súčasťou balíka LMK2000. V ďalšom texte predpokladáme, že je tento program nainštalovaný na počítači a že sa nachádza v menu Štart, v sekcii programy spolu s ďalšími časťami balíka LMK2000. Spustíme ho a po pár sekundách sa objaví obrazovka, ktorú ukazuje obrázok. Čo v nej vidíme:

- v úplne hornej časti panelu pod hlavnou lištou je menu (ponuka) programu; to sú príkazy: (*Dáta*); (*Kamera*); (*Záznam*); (*Okná*); (*Spracovanie obrazu*); (*Doplňky*); (*Pomocník*); (*Obraz*); (*Oblasť*); (*Zobraziť*); príkazy (*Obraz*); (*Oblasť*); (*Zobraziť*) sú zviazané s obrázkom načítanej scény v strede zobrazovanej plochy;
- pod menu na *panely nástrojov* je jeden riadok ikón; tvorcovia vychádzali z toho, že pri programe tohto typu robí užívateľ niekoľko najčastejších úkonov, ktoré neustále opakuje; takže väčšinu najčastejších úkonov možno zadávať jedným tlačidlom, bez nutnosti vyberať z menu a ďalších panelov;
- pod *panelom nástrojov* sa nachádza riadok, ktorý nám umožní otvárať snímané scény (*Skutočný obraz*), čiastkové obrázky (*Stupnica jasov*) s bohatou stupnicou rôzne tmavých sivých tónov alebo pseudofarebných tónov, zodpovedajúcich jednotlivým jasom načítanej scény a ponúkanú dokumentáciu (*Protokol*); ďalej sa vyskytujú obrázky načítanej scény, ktoré môžeme použiť k práci (*Zhodnotenie [0]*, *Zhodnotenie [1]*);
- najväčšiu časť v strede zobrazovanej plochy zaberá priestor pre čiastkové obrázky (viď. učebnicový obrázok tunela SITINA);
- pod oknom načítanej scény sa nachádza (*Inšpektor*); tu sa zobrazujú rôzne súbory zahrnuté do záznamu o fotometrickom meraní; viac informácií ponúka *kontextové menu*, položka (*Histogram*); *kontextové menu* sa objaví, keď v dolnej časti panelu klikneme na (*Inšpektor*) pravým tlačidlom myši.



Obr. 3 Učebnicový obrázok tunela SITINA

V stĺpcovom menu (*Dáta*) sú bližšie informácie o formátovaní dokumentácie načítanej scény, viď. (*Opcia*). Podmienkou získania čiastkového obrázku pre vyhodnocovanie fotometrických meraní snímanej scény je správne nastavenie digitálnej kamery. K tomu



Obr. 4 Goniofotometer RiGo 801

slúžia príkazy v submenu (*Kamera*). Na vyhotovenie snímky klikneme na submenu (*Záznam*). Tu sa ponúkajú nástroje (*SinglePic*) - jeden záber s určitou expozíciou, (*MultiPic*) - v rýchlom slede viacero záberov s rovnakou expozíciou a ich prepočet na vyhotovenie jedného čiastkového obrázku a (*HighDyn*) - v rýchlom slede viacero záberov s rôznou expozíciou a ich prepočet na vyhotovenie jedného čiastkového obrázku. Tlačidlo (*Zobrazit*) ponúka nástroje na stanovenie siete kontrolných bodov načítanej scény. Ak stlačíme tlačidlo s (*Oknom*), objaví sa v strede zobrazovanej plochy [1] alebo [2] okná. V danom okamžiku môžete pracovať len v jednom okne. Premennivá veľkosť okien v horizontálnom a vertikálnom smere sa udáva v pixloch. Submenu (*Spracovanie obrazu*) je ponuka príkazov, ktoré sa dajú vykonávať s obrázkom načítanej scény: (*Nový*); (*Odstrániť*); (*Fyzikálne veličiny a jednotky*); (*Vzorec*); (*Skreslenie*); (*Izočiary*); (*Odoslať*); (*Inšpektor*). Tlačidlo (*Doplňky*) uvádza program na (Riadenie chodu motora) - tento príkaz sa vzťahuje na goniofotometer série RiGO 801 (kliknite [www.TechnoTeam.de](http://www.TechnoTeam.de)); (*Fotometer*) - predpokladá sa, že ide o použitie luxmetra na meranie osvetlenosti; (*Konoskop*) - tento príkaz je jasný z názvu; (*Spektrometer*) - nadstavec na meranie spektrálneho žiarenia a trichromatických súradníc farebných podnetov. V submenu (*Obráz*) môžeme (*Otvoriť*) čiastkové obrázky; (*Uložiť*); (*Kopírovať*); (*Tlačiť*); (*Odoslať*); (*Zobrazit bližšie vlastnosti o súbore*). Kláves (*Oblasť*) zapína výber siete meracích bodov a jednotlivé príkazy: (*Odstrániť*); (*Uložiť*); (*Kopírovať*); (*Tlačiť*); (*Odoslať*) alebo (*Zobra-*

*ziť vlastnosti*). Ak stlačíme tlačidlo (*Zobrazit*), vysunie sa ponuka príkazov pre ovládanie načítanej scény. Sú tu možnosti zobrazenia načítanej scény v rôznom stupni zväčšenia (*Lupa*), stupnica jasov načítanej scény je daná lineárnou alebo logaritmickou funkciou (*Gradácia*); znázorňuje sa čiernobiele alebo pseudofarebne (*Farebné zobrazenie*); dôležité sú najmä rôzne podoby (*Kurzora*) na výber kontrolných bodov do záznamu o fotometrickom meraní.

Pre človeka profesionálneho zamerania je napísaná kniha *Bedienhandbuch LMK2000* (Poschmann, R. - Krüger, U. - Porsh, T.; Ilmenau; TechnoTeam Bildverarbeitung 2005).

## Záver

Kalibrované digitálne kamery s vysokým rozlíšením série LMK firmy TechnoTeam Bildverarbeitung, ktoré boli použité podľa *CEN/CR 14380:2003* ustanovenia kapitoly 9. *Measurement of tunnel lighting installations* na porovnanie s vypočítanými jasmí v bratislavskom diaľničnom tuneli SITINA, umožnili netradičným spôsobom *rýchlej kontroly* (najmä v mobilnej aplikácii) vystaviť protokol o skúške. Takisto firma OMS - výrobca svetiel špičkovej kvality, v snahe poskytnúť svojim zákazníkom maximálnu technickú podporu, uviedla v roku 2005 do prevádzky svetelnotechnické laboratórium, kde najdôležitejším prístrojom je goniofotometer RiGo 801 firmy TechnoTeam Bildverarbeitung, v ktorom je umiestnená CCD kamera s vysokým rozlíšením. Inými slovami, na území našej republiky bol vytvorený základ podporujúci moderné meradlá v oblasti merania svetla.

Prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc., Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika, tel.: +421 905 455 534

Ing. Milan Košťál, PhD., Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika

## 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 nevěčteňujte 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 obrázky 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, CD nebo na médiu ZIP 100 MB.

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.



# Vliv clonového čísla na optické zobrazení

*Analýzou závislosti podélné sférické aberace na numerické apertuře je možno nalézt takové hodnoty numerické apertury, pro které je aberace nulová. Tyto hodnoty numerické apertury nazýváme korekční zóny. Práce teoreticky analyzuje popsany problém a jsou zde odvozeny, pomocí korekčních zón, vztahy pro aberační koeficienty sférické aberace třetího a pátého řádu. Je provedena analýza pro výpočet optimálních hodnot korekčních zón a optimální polohy středu referenční sféry. Tato analýza je provedena na základě Strehlovy definice. V závěru práce jsou odvozeny vztahy pro výpočet korekčních zón pro optický systém mající identickou polohu optimální obrazové roviny pro dvě hodnoty clonového čísla.*

## 1. ÚVOD

Při návrhu optických soustav je žádoucí, aby zbytkové aberace těchto soustav byly co nejmenší. Pokud sledujeme průběh těchto aberací v závislosti na numerické apertuře a zorném poli optické soustavy, potom lze najít takové hodnoty numerické apertury a zorného pole, pro které je sledovaná aberace nulová. Tyto hodnoty numerické apertury a zorného pole se nazývají korekční pásma [1-5]. Při podrobné analýze základních aberací optických soustav se ukazuje, že kvalita zobrazení těchto soustav závisí na hodnotách korekčních pásem. Hodnoty korekčních pásem jsou závislé na kritériu, které použijeme pro hodnocení kvality zobrazení optických soustav. Cílem této práce je provedení teoretické analýzy uvedené problematiky a odvození obecných vztahů pro vyjádření koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem, a to pro sférickou aberaci třetího a pátého řádu. Užitím odvozených vztahů pak provést výpočet optimálních korekčních pásem a poloh optimální obrazové roviny pro případ, že požadujeme minimální odchytku vlnové aberace od nuly nebo maximální hodnotu Strehlovy definice. Dále vyšetřit vliv clonového čísla optické soustavy na její zobrazovací vlastnosti a určit jak má být korigována sférická aberace této soustavy, aby se poloha optimální obrazové roviny neměnila pro dvě různá clonová čísla.

## 2. VLNOVÁ ABERACE

Vlnovou aberaci  $W$  budeme nazývat rozdíl optických drah libovolného paprsku a hlavního (referenčního) paprsku, přičemž oba paprsky náležejí témuž paprskovému svazku [1-6]. Podle obr. 1 tedy platí  $W = [BR] - [BP']$ , kde hranatými závorkami značíme optickou dráhu mezi dvěma body.

Mezi vlnovou aberací  $W$  a paprskovými aberacemi  $\Delta x'$  a  $\Delta y'$  platí vztahy [1-6]

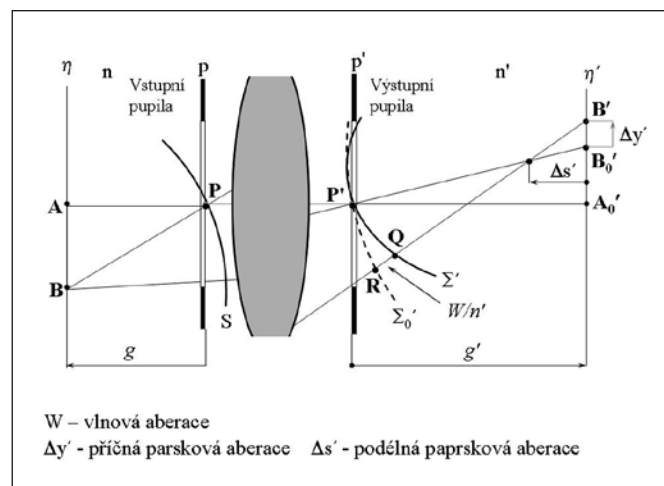
$$\Delta x' = X' - x'_0 = \frac{R'}{n'} \cdot \frac{\partial W}{\partial x'_R}, \quad (1)$$

$$\Delta y' = Y' - y'_0 = \frac{R'}{n'} \cdot \frac{\partial W}{\partial y'_R},$$

kde  $R' = (R, B_0')$  je poloměr referenční sféry  $\Sigma_0'$  mající střed v bodě  $B_0'(x'_0, y'_0)$ , který je paraxiálním (ideálním) obrazem předmětového bodu  $B, x'_R, y'_R$  jsou souřadnice bodu  $R(x'_R, y'_R)$  na referenční sféře  $\Sigma_0', X'$  a  $Y'$  jsou souřadnice průsečíku  $B'(X', Y')$  paprsku s obrazovou rovinou  $\eta'$  optické soustavy a  $n'$  je index lomu obrazového prostředí. V dalším se budeme zabývat jen zobrazením osového bodu  $A$ , tj. aperturními svazky. Pro clonové číslo  $c$  v obrazovém prostoru optické soustavy platí

$$c = \frac{1}{2n' \sin \sigma'_k}, \quad (2)$$

kde  $\sigma'_k$  je maximální aperturní úhel v obrazovém prostoru při zobrazení osového bodu  $A$  předmětu.



Obr. 1 Aberace optické soustavy

Nechť  $(w, v)$  jsou normované souřadnice na referenční sféře ( $v^2 + w^2 \leq 1$ ), pro které platí

$$w = x'_R / R' \sin \sigma'_k = \sin \sigma'_x / \sin \sigma'_k, \\ v = y'_R / R' \sin \sigma'_k = \sin \sigma'_y / \sin \sigma'_k.$$

Výsledné vztahy mezi vlnovými a paprskovými aberacemi pak mají tvar

$$\Delta x' = 2c \frac{\partial W}{\partial w}, \quad \Delta y' = 2c \frac{\partial W}{\partial v}. \quad (3)$$

### 2.1. Defokusace a sférická aberace

Označíme-li jako  $s_0$  vzdálenost nového středu referenční sféry od původního středu referenční sféry (měřenou podél osy paprskového svazku), potom pro vlnovou aberaci vzniklou tímto posunem obdržíme [1,3,4,5]

$$W_1 = -\frac{s_0}{8c^2} (v^2 + w^2). \quad (4)$$



Zavedeme nyní následující označení

$$q = r^2 = v^2 + w^2, \quad v = r \sin \varphi, \quad w = r \cos \varphi,$$

kde  $r$  a  $\varphi$  jsou polární souřadnice [7] bodu na referenční sféře. Při tomto označení dostáváme

$$W_1 = -\frac{s_0}{8c^2} q. \quad (5)$$

Tuto aberaci, vznikající posuvem  $s_0$  středu referenční sféry podél osy svazku, nazýváme **podélná defokusace**.

Zabýváme se nyní současným působením **sférické aberace** třetího a pátého řádu. Vlnová aberace je pak dána vztahem [1,3,4,5]

$$W = \frac{\Delta s'_k (2q - 3q_0) q^2}{48c^2 (1 - q_0)} = \frac{\Delta s'_{\text{ext}} (3q_0 - 2q) q^2}{12c^2 q_0^2}, \quad (6)$$

kde  $\Delta s'_k$  je podélná sférická aberace pro krajní pásmo pupily ( $q = 1$ ),  $q_0$  je pásmo, pro které je podélná sférická aberace rovna nule a  $\Delta s'_{\text{ext}}$  je extrémní hodnota podélné sférické aberace pro pásmo  $q_{\text{ext}} = q_0/2$ .

Shrneme-li uvedené výsledky, dostáváme pro **úhnnou vlnovou aberaci** vztah

$$\begin{aligned} W &= -\frac{s_0}{8c^2} q + \frac{(3q_0 - 2q) q^2}{48c^2 (q_0 - 1)} \Delta s'_k = \\ &= -\frac{s_0}{8c^2} q + \frac{(3q_0 - 2q) q^2}{12c^2 q_0^2} \Delta s'_{\text{ext}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Tento vztah můžeme též psát ve tvaru

$$W = W_{60} r^6 + W_{40} r^4 + W_{20} r^2, \quad (8)$$

kde jsme označili

$$\begin{aligned} W_{60} &= \frac{\Delta s'_k}{24c^2 (1 - q_0)} = -\frac{\Delta s'_{\text{ext}}}{6c^2 q_0^2}, \\ W_{40} &= -\frac{3}{2} q_0 W_{60}, \quad W_{20} = -\frac{s_0}{8c^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Pro podélnou sférickou aberaci  $\Delta s'$  potom platí

$$\Delta s' = 4q \frac{q_0 - q}{q_0^2} \Delta s'_{\text{ext}}.$$

### 3. VÝPOČET OPTIMÁLNÍHO KOREKČNÍHO PÁSM A POLOHY OPTIMÁLNÍ OBRAZOVÉ ROVINY

Jak je ze vztahu (7) patrné, bude průběh vlnové aberace závislý na hodnotách korekčního pásma  $q_0$ . Zabýváme se nyní problémem určení optimálních hodnot korekčního pásma. *Optimální hodnoty korekčních pásem budou záviset na kritériu, které si zvolíme pro posouzení vlivu vlnové aberace na vyšetřovaný proces. Jako kritérium kvality obrazu vezmeme normovanou intenzitu ve středu difrakčního obrazce* (Strehlova definice S.D.), tj. poměr intenzity ve středu difrakčního obrazce optické soustavy zatížené aberacemi a fyzikálně dokonalé optické soustavy. Optickou soustavu považujeme za rovnocennou fyzikálně dokonalé optické soustavě, je-li Strehlova definice větší než S.D.  $\geq 0,8$  (Strehlovo kritérium). Pro Strehlovu definici v případě optické soustavy s *malými aberacemi* a kruhovou pupilou platí [1,3,5,6]

$$\text{S.D.} = 1 - \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left( \overline{W^2} - \overline{W}^2 \right), \quad (12)$$

kde

$$\overline{W} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 W(r, \varphi) r dr d\varphi, \quad \overline{W^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 W^2(r, \varphi) r dr d\varphi,$$

kde  $W(r, \varphi)$  je vlnová aberace,  $r$  a  $\varphi$  jsou polární souřadnice bodu na referenční sféře a  $\lambda$  je vlnová délka světla. Ze vztahu (12) je patrné, že Strehlova definice přímo souvisí se střední kvadratickou odchylkou vlnové aberace. Předpokládejme nyní, že kritériem pro výpočet optimální hodnoty korekčního pásma bude minimální hodnota střední kvadratické odchylky vlnové aberace. Jak je ze vztahu (8) patrné, v případě sférické vady nezávisí vlnová aberace na polárním úhlu  $\varphi$ , ale jen na radiální souřadnici  $r$ , tedy

$$W(r, \varphi) = W(r).$$

Potom platí

$$\overline{W} = 2 \int_0^1 W(r) r dr, \quad \overline{W^2} = 2 \int_0^1 W^2(r) r dr. \quad (13)$$

Dosažením vztahu (8) do vztahů (13) dostáváme, po integraci a dosažení do (12), pro Strehlovu definici následující vyjádření

$$\begin{aligned} \text{S.D.} &= 1 - \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \times \\ &\times \left( \frac{1}{12} W_{20}^2 + \frac{1}{6} W_{20} W_{40} + \frac{3}{20} W_{20} W_{60} + \frac{4}{45} W_{40}^2 + \frac{1}{6} W_{40} W_{60} + \frac{9}{112} W_{60}^2 \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Ze vztahu (14) si nyní můžeme určit *polohu optimální obrazové roviny* tj. roviny v níž bude mít Strehlova definice maximální hodnotu. Z podmínky pro extrém ( $\partial(\text{S.D.})/\partial W_{20} = 0$ ) dostáváme pro koeficient defokusace vztah

$$W_{20} = -W_{40} - \frac{9}{10} W_{60}. \quad (15)$$

Dosažíme-li do tohoto vztahu výrazy (9), obdržíme pro *polohu optimální obrazové roviny* následující vyjádření

$$s_0 = \frac{2(5q_0 - 3)}{5q_0^2} \Delta s'_{\text{ext}}. \quad (16)$$

Dosažením vztahu (15) do vztahu (14), dostáváme pro hodnotu *Strehlovy definice v optimální obrazové rovině* vztah

$$\text{S.D.} = 1 - \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left( \frac{1}{180} W_{40}^2 + \frac{1}{60} W_{40} W_{60} + \frac{9}{700} W_{60}^2 \right). \quad (17)$$

Vztah (17) pro Strehlovu definici může upravit do tvaru

$$\text{S.D.} = 1 - \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \left( q_0^2 - 2q_0 + \frac{36}{35} \right) \frac{W_{60}^2}{20}. \quad (18)$$

Užijeme-li rovnice (9), dostáváme pro *přípustnou hodnotu* (toleranci) *podélné sférické aberace* obecný vztah

$$\Delta s'_{\text{ext}} \leq \frac{8,5 \lambda c^2 q_0^2 \sqrt{1 - \text{S.D.}}}{\sqrt{q_0^2 - 2q_0 + 36/35}}, \quad (19)$$

kde S.D. je požadovaná hodnota Strehlovy definice.

Hledejme nyní hodnotu korekčního pásma  $q_0$  tak, aby Strehlova definice nabývala maximální hodnoty. Ze vztahu (17) a podmínky pro extrém ( $\partial(\text{S.D.})/\partial W_{40} = 0$ ) dostáváme

$$W_{40} = -\frac{3}{2} W_{60}.$$

Užitím vztahů (9) obdržíme

$$q_0 = 1, \quad s_0 = 4\Delta s'_{\text{ext}} / 5 = 0,8 \Delta s'_{\text{ext}}. \quad (20)$$

Ze vztahů (20) je patrné, že optimální korekce sférické aberace nastane, bude-li hodnota korekčního pásma  $q_0 = 1$ , a tedy sférická aberace bude korigována pro paprsky procházející krajem výstupní pupily optické soustavy. Poloha středu referenční sféry se pak nachází ve vzdálenosti  $s_0 = 0,8 \Delta s'_{\text{ext}}$  od paraxiální obrazové roviny, kde  $\Delta s'_{\text{ext}}$  je podélná sférická aberace pro pásmo  $q = q_{\text{ext}} = 0,5 q_0$ . Pro Strehlovu definici pak v tomto případě dostáváme

$$\text{S.D.} = 1 - \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left( \frac{W_{60}^2}{2800} \right). \quad (21)$$

Má-li být optická soustava prakticky rovnocenná fyzikálně dokonalé optické soustavě, musí být Strehlova definice  $\text{S.D.} \geq 0,8$ . Dosadíme-li tuto hodnotu do vztahu (21), obdržíme pro přípustnou (tolerovatelnou) hodnotu aberačního koeficientu  $W_{60}$  vztah

$$W_{60} \leq \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{140} = 3,8\lambda.$$

Užitím vztahů (9) dostáváme pro toleranci podélné sférické aberace následující podmínku ( $q_0 = 1$ )

$$\Delta s'_{\text{ext}} \leq 23\lambda c^2.$$

#### 4. VLIV ZMĚNY CLONOVÉHO ČÍSLA OPTICKÉ SOUSTAVY NA JEJÍ ZOBRAZOVACÍ VLASTNOSTI

Optické soustavy můžeme z hlediska změn jejich zobrazovacích vlastností rozdělit do dvou skupin, a to na soustavy s konstantním clonovým číslem a na soustavy s proměnným clonovým číslem. Do první skupiny můžeme zařadit např. převážnou většinu mikroskopových a projekčních objektivů, objektivů pro dalekohledy apod. Do druhé skupiny patří např. objektivy pro fotografické a zvětšovací přístroje, objektivy snímáček kamer apod. Objektivy druhé skupiny jsou vždy opatřeny clonou, tj. zařízením, které umožňuje měnit množství světla jím procházejícího. Clonu si můžeme jednoduše představit jako neprůhledné stínítko opatřené průhledným otvorem, jehož tvar a tedy i plochu můžeme měnit. Technická realizace clony může být velmi rozmanitá. Nejčastěji se jedná o mechanické lamelelové clony (např. irisové) nebo o clony na bázi tekutých krystalů apod. Mechanické clony nemohou měnit tvar otvoru (např. kruh, pětiúhelník apod.), kterým světlo prochází, mohou měnit jen jeho plochu. Clony na bázi tekutých krystalů mohou měnit jak tvar tak i plochu otvoru, kterým světlo prochází, mají však značné světelné ztráty a jejich cena je zatím vysoká. Clony jsou ovládány buď ručně (např. klasické fotoaparáty a zvětšovací přístroje) nebo zcela automaticky (např. moderní fotoaparáty a snímáček kamery).

Zabýváme se nyní vlivem clonového čísla optické soustavy na její zobrazovací vlastnosti a určíme, jak má být korigována sférická aberace této soustavy, aby se poloha optimální obrazové roviny neměnila pro dvě různá clonová čísla. Toto má význam např. v případě objektivů zvětšovacích přístrojů, kdy zaostřujeme negativ při jednom clonovém čísle (nejmenším – vysoká světelnost objektivu a malá hloubka ostrosti) a expozici potom provádíme při jiném clonovém čísle (vyšším – lepší kvalita zobrazení a větší hloubka ostrosti).

Při vyšetřování této problematiky vyjdeme ze vztahu (16) pro polohu optimální obrazové roviny. Jak je z definice korekčního pásma  $q_0$  patrné, závisí při clonění optické soustavy hodnota korekčního pásma na clonovém čísle  $c$  optické soustavy, zatímco hodnota podélné sférické vady  $\Delta s'_{\text{ext}}$  je pro danou optickou soustavu konstantní a nezávisí na jejím clonění. Podle předcházejícího je clonové číslo definováno vztahem (2), platí

$$c = \frac{1}{2n' \sin \sigma'_k}.$$

Zacloníme-li optickou soustavu, změní se hodnota  $\sin \sigma'_k$  a tedy i clonové číslo  $c$ . Pro korekční pásmo  $q_0$  pak platí

$$q_0 = \left( \frac{h_0}{h_k} \right)^2 = \left( \frac{h_0}{R' \sin \sigma'_k} \right)^2 = \left( \frac{2n'h_0}{R'} \right)^2 c^2,$$

kde jsme označili

$$h_0^2 = (x'_R)^2_0 + (y'_R)^2_0, \quad h_k^2 = (x'_R)^2_k + (y'_R)^2_k,$$

přičemž  $h_0$  je radiální vzdálenost (měřená od optické osy soustavy) průsečíku paprsku, pro který je sférická aberace korigována (nulová), s referenční sférou a  $h_k$  je radiální vzdálenost průsečíku krajního paprsku s referenční sférou. Je-li tedy optická soustava zacloněna na clonové číslo  $c_1$  a poté na clonové číslo  $c_2$ , budou korekční pásma pro tato clonová čísla dána vztahy

$$q_{01} = \left( \frac{2n'h_0}{R'} \right)^2 c_1^2, \quad q_{02} = \left( \frac{2n'h_0}{R'} \right)^2 c_2^2.$$

Užitím těchto vztahů dostáváme

$$q_{02} = \left( \frac{c_2}{c_1} \right)^2 q_{01} = K q_{01}. \quad (22)$$

Požadujeme nyní, aby se poloha obrazové roviny neměnila pro dvě zvolené hodnoty clonových čísel  $c_1$  a  $c_2$ . Užitím vztahu (16) dostáváme

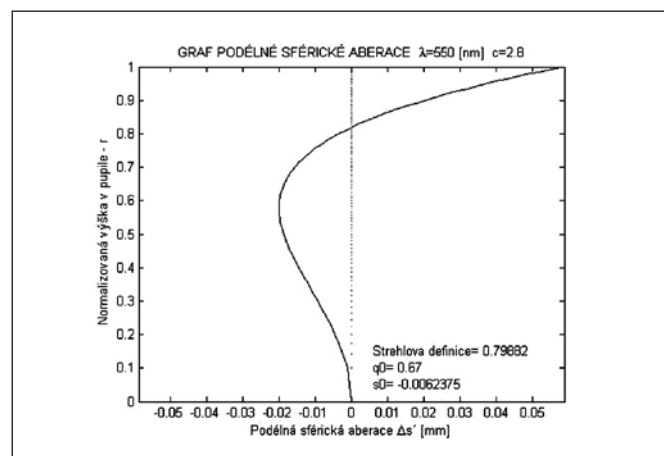
$$s_0 = \frac{2(5q_{01} - 3)}{5q_{01}^2} \Delta s'_{\text{ext}} = \frac{2(5q_{02} - 3)}{5q_{02}^2} \Delta s'_{\text{ext}},$$

odtud, užitím vztahu (22), dostáváme

$$q_{01} = \frac{3(1+K)}{5K}. \quad (23)$$

**Příklad:** vypočítejme si hodnotu korekčního pásma optické soustavy (např. objektivu zvětšovacího přístroje), chceme-li, aby poloha optimální obrazové roviny této soustavy byla stejná pro clonová čísla:  $c_1 = 2,8$  a  $c_2 = 8$ . Koeficient  $K$  pro tyto hodnoty clonových čísel má velikost:  $K = 8,16$ . Dosazením do vztahu (21) dostáváme:  $q_{01} = 0,67$ . Z tohoto výsledku je patrné, že optická soustava musí být překorigována. Pro hodnotu podélné sférické aberace pro aperturní paprsek procházející okrajem výstupní pupily optické soustavy pak užitím vztahů (9) dostáváme

$$\Delta s'_k = 4 \frac{q_0 - 1}{q_0^2} \Delta s'_{\text{ext}}.$$



Obr. 2 Graf sférické aberace pro  $q_0 = 0,67$

Dosadíme-li sem za  $q_0 = q_{01}$ , obdržíme

$$\Delta s'_k = -2,94 \Delta s'_{\text{ext}} .$$

Pro polohu obrazové roviny potom dostáváme

$$s_0 = 0,31 \Delta s'_{\text{ext}} .$$

Pro toleranci podélné sférické aberace pak ze vztahu (19) pro S.D. = 0,8 a pro  $q_0 = q_{01} = 0,67$  a  $c = c_1 = 2,8$  obdržíme

$$\Delta s'_{\text{ext}} \leq 36\lambda , \text{ resp. } \Delta s'_k \leq 107\lambda .$$

Volíme-li vlnovou délku světla  $\lambda = 550$  nm, dostáváme  $\Delta s'_{\text{ext}} \leq 0,02$  mm, resp.  $\Delta s'_k \leq 0,059$  mm. Graf průběhu sférické aberace je znázorněn na obr. 2.

## 5. ZÁVĚR

V práci byla provedena teoretická analýza výpočtu koeficientů vlnové aberace až do pátého řádu, a to pomocí korekčních pásem, tj. pásem, ve kterých je hodnota příslušné paprskové aberace nulová, a to pro případ zobrazení osového bodu předmětu. Užitím Strehlovy definice byl proveden výpočet optimálního korekčního pásma a polohy optimální obrazové roviny pro případ, že požadujeme splnění Strehlova kritéria a pro případ, že požadujeme,

aby poloha optimální obrazové roviny byla stejná pro dvě hodnoty clonového čísla. Dále byly odvozeny vztahy pro výpočet tolerance podélné sférické aberace.

*Práce byla vypracována v rámci projektu MSM6840770022 Ministerstva školství ČR.*

## Literatura

- [1] MIKŠ, A.: *Aplikovaná optika 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000.
- [2] MARÉCHAL, A.: *Imagerie Géométrique Aberrations*. Revue d'Optique, Paris, 1952.
- [3] Havelka, B.: *Geometrická optika I*, NČSAV, Praha 1956.
- [4] Mikš, A., Novák, J.: *Výpočet koeficientů vlnové aberace pomocí korekčních pásem*. Jemná mechanika a optika, roč. **51**, č. 6, 2006, str. 169-174.
- [5] Mikš, A., Novák, J.: *Aplikace ortogonálních polynomů v teorii optického zobrazení*. Jemná mechanika a optika, roč. **51**, č. 3, 2006, str. 71-76.
- [6] BORN, M. - WOLF, E.: *Principles of Optics*. Oxford University Press, New York, 1964.
- [7] KORN, G. A. - KORN, T. M.: *Mathematical Handbook*. McGraw-Hill, New York, 1968.

Prof. RNDr. Antonín Mikš, CSc., katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice, tel.: 224 354 948, fax: 233333226, e-mail: miks@fsv.cvut.cz

# Nové podněty pro inteligentní automatizaci

Trendy nesledujeme, ale udáváme – na poli inteligentní automatizace může Festo toto tvrzení doložit mnoha novými výrobky. K nim vždy vedou alespoň dvě cesty.

- Veletrh MSV v Brně
- Internet

## Fenoménem doby je rychlost

Rychle cestujeme, rychle žijeme, rychle pracujeme. Rychlost se nevyhýbá ani automatizaci průmyslových zařízení. Jak optimalizovat a zrychlit výrobu?

## Rychle cokoliv

Sortiment výrobků Festo obsahuje přes dvacet tisíc výrobků v mnoha variantách a z mnoha oblastí tak, aby bylo možné v nejkratší době navrhnout stroj, který bude výkonný a spolehlivý. K dispozici je tak nejen jednoduchá pneumatika, ale i vyspělé inteligentní výrobky jako jsou elektrické a ventilové terminály, elektrické pohony, manipulátory, čidla všeho druhu, optická kontrola výrobků, řídicí systémy, procesní technika, komunikace po průmyslových sítích, ...

V neposlední řadě lze využít nových druhů služeb: kromě software také montážní práce, odbornou kontrolu stroje, linky či celé haly, dále změření kvality stlačeného vzduchu s následnou pomocí při nápravě nedostatků, určení spotřeby a odhalení úniků, atd.

**Přijďte se osobně seznámit s novinkami na veletrh MSV.**

## Pneumatické pohony

Osvědčená pneumatická polohovací technika pro mnohé standardní úlohy – s novými vlastnostmi a atraktivním poměrem cena/výkon pro ještě vyšší hospodárnost.



## Elektrické polohovací systémy

Přizpůsobivé polohování a bezpečné řízení – inteligentnější automatizace díky novému síťovému protokolu FHPP kombinovanému s osvědčeným konfiguračním nástrojem FCT: pro jednotnou obsluhu a optimální správu rozhraní všech ovladačů motorů od sítě až po pohon.





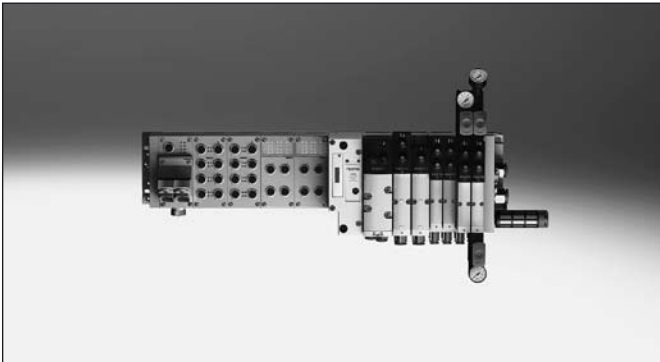
## Chapadla / vakuová technologie

Nová řada chapadel s pojištěním síly úchopu nebo regulací síly úchopu pro vysokou schopnost polohovat a vakuové ejektory pro decentrální a bezpečnou výrobu vakua.



## Ventily a ventilové terminály

Pneumatika, elektronika a propojení do sítí – Festo dodává ventily a ventilové terminály pro všechny koncepce strojů: centrální i decentrální, samostatné nebo hybridní instalace. Koncepce inteligentní ucelené diagnostiky přináší vyšší produktivitu, vyšší disponibilitu zařízení a vyšší bezpečnost procesů.



## Vizualizační systémy

Inteligentní kamery vybavené optickým snímačem s vysokým rozlišením pro zajištění kvality a rozpoznávání polohy/natočení dílů, nepohyblivých i pohyblivých.



## Úprava stlačeného vzduchu a příslušenství

Jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu a příslušenství, řada MS pro specifická řešení vaší úpravy stlačeného vzduchu – s novými integrovanými funkcemi: diagnostika a sledování na dálku.



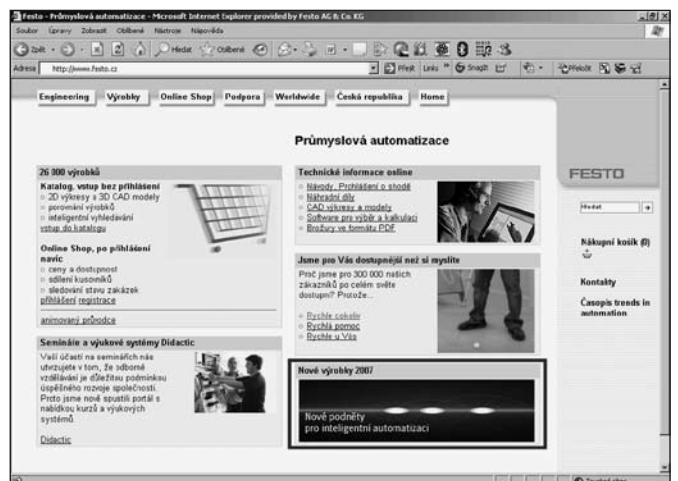
## Řídicí technika

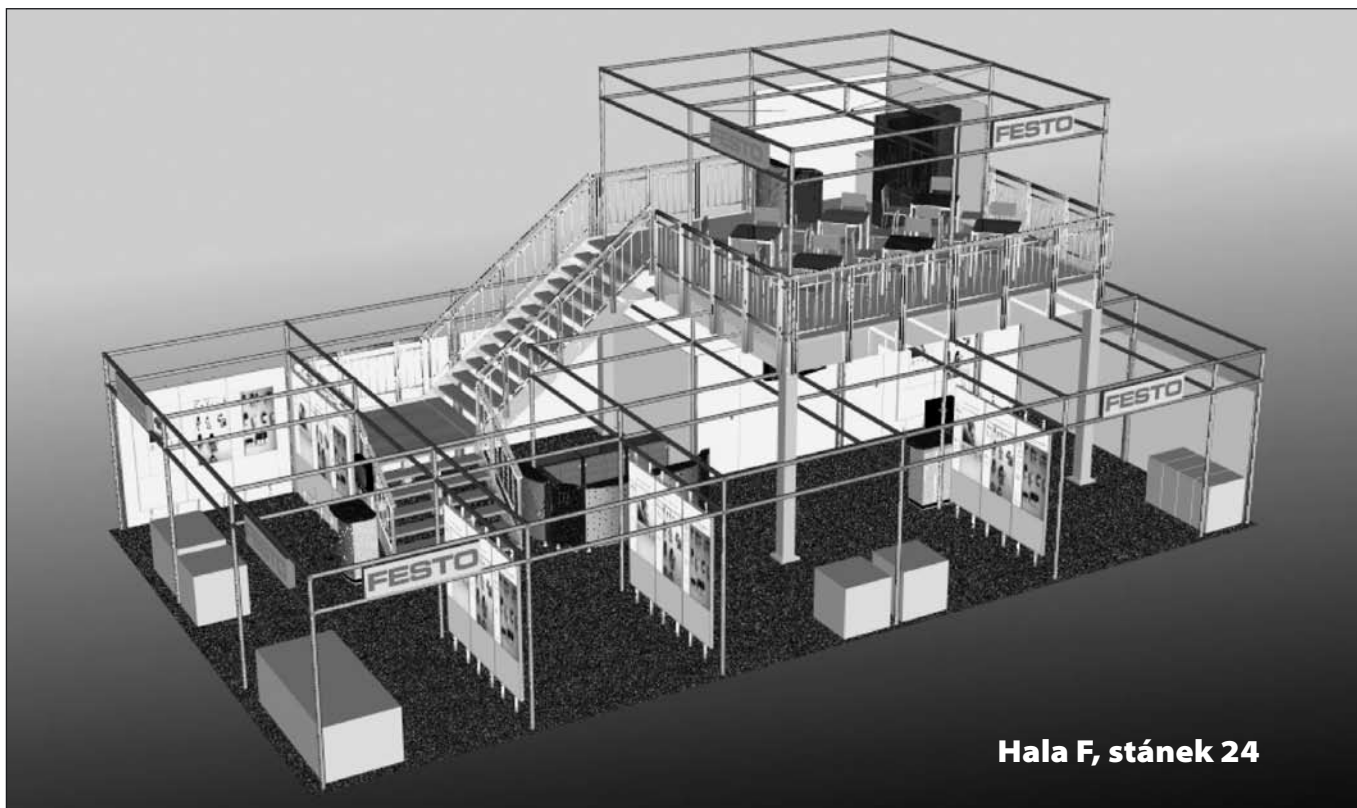
Nové vícenásobné rozhraní pro řízení pohonů bez programování a grafické displeje front-end s jednoduchou ovládací plochou urychlí procesy ve vaší výrobě díky snadné instalaci a přizpůsobené komunikaci.



## Čidla

Čidla Festo zajišťují bezpečnost procesů a produktivitu: stavebnice magnetických čidel, čidla pro tekutiny, univerzální tlaková čidla a optická čidla pro rozpoznávání malých dílů.





Více podnětů pro inteligentní automatizaci najdete také na [www.festo.cz](http://www.festo.cz)

## Z dílny starých mistrů

(32. pokračování)



- Zajímavé pracovní postupy jsou uváděny pro zlcení, stříbření, niklování a měďení. Tak pro zlcení mosazných a měděných dílů je třeba rozpustit ve 3/4 litru vody 5 g fosforečnanu sodného a 3 g hydroxidu draselného; dále ve 1/4 litru vody 1 g chloridu zlatitého a 10 g cyankali. Oba roztoky se smíchají a vzniklý roztok se přivede do varu. Mosazné předměty se do vroucího roztoku ponořují. Zlato, obsažené v roztoku, se dá zcela využít. K oživení roztoku – nevytváří-li se zlatý povlak v žádoucí míře, přidá se do roztoku cca 5 g cyankali a následně lze zlatit tyto předměty v čerstvém roztoku. Vytvořená vrstva zlata je dle Buchnera řídká, ale pevná. Uvedená množství komponent zlatičích lázní musí být přesně dodržena, jinak je zlatý povlak nestejný a skvrnitý.
- Podle Pfannhausera je uváděný tento předpis zlatičích lázní: 3,5 g dukátového chloridu zlatitého, 40 – 50 g cyankali a cca 14 l destilované vody. Lázeň se používá teplá.
- Dle Kicka: 200 – 300 g zlata, 1 g cyankali a 26 l destilované vody. Na pozlacenou plochu 1 dm<sup>2</sup> má být zátěž 1 A při napětí 4 V. Vzdálenost anod 20 – 30 cm.
- K pozlacení skla se plochy, určené ke zlcení potřou nasyceným roztokem boraxu, pak se na ně položí plátkové zlato, které se stejnoměrně přitlačí nejlépe bavlněnou látkou. Potom se sklo nahřívá nad lihovým plamenem až se borax roztaví. Ochlazení skla pak pomalé.
- Pozlacovací roztok podle Regnaulta je hojně používaný pařížskými výrobci falešného zlata. Připraví se tak, že 100 g zlata se rozpustí ve 250 g kyseliny dusičné a 250 g kyseliny solné s přídavkem 250 g vody. Dále se k roztoku přidá 3 kg uhlíčitanu draselného a vzniklý roztok se vleje do železného kotle s 20 l vařící vody. Roztok nutno vařit 2 hodiny. Předměty ke zlcení se nejdříve vyhřejí a to ve zředěné kyselině sírové a potom na okamžik v kyselině dusičné, svážou se mosazným drátem (jde-li o více předmětů), namočí se krátce do roztoku kyselin sírové – solné a dusičné, opláchnou se v proudící vodě a ponoří do vody, potom na 30 vteřin do zlata a po omytí se předměty suší v horkých pilinách. Má-li být vrstva zlata větší tloušťky, promíchají se předměty v průběhu zlcení v lázni zinkem.

## Svět „aluminiového outsourcingu“

Hliníkové konstrukční systémy jistě není třeba nijak zvlášť představovat. Jejich rostoucí obliba (dnes se dá stále častěji mluvit o nepostradatelnosti) je podložena poměrně pádnými argumenty - téměř nekonečná variabilita systému (zkonstruovat lze prakticky cokoliv, na co si vzpomenete - od výrobních linek přes jednoúčelové stroje až po nábytek), nízká hmotnost, rychlost a jednoduchost realizace, opakovaná využitelnost konstrukčních prvků...

Klasické svařované ocelové konstrukce jsou tak stále více vytlačovány hliníkovými konstrukčními systémy. Poslední argumentační tvrzí oceli byla únosnost konstrukce, ale ta je dnes již u hliníkových profilů a spojů srovnatelná. Ocel je sice jako základní materiál levnější, ovšem když si spočítáte náklady na celý projekt, s aluminím se dostanete na obdobnou úroveň. Sečtete-li příznivé ekonomické ukazatele s výše uvedenými výhodami, je jasné, proč hliník v praxi stále častěji vítězí.



Konstrukce se softwarem KANYATHEK

### Outsourcing - vítězství rozumu nad obavami

Doby, kdy firmy produkovaly téměř vše „in house“ v obavě, aby neztratily kontrolu nad výrobním procesem nebo zisky z jednotlivých výrobních kroků, jsou nenávratně pryč. Tlak na kvalitu produkce a snižování nákladů vedl k nahrazení celých pracovišť specializovanými externími subdodavateli. Za kvalitu, cenu i termíny subdodávek nyní nese zodpovědnost onen externí dodavatel. Je tedy možné zredukovat počet zaměstnanců a zeštíhlené strukturu managementu zůstávají volně ruce pro skutečně důležitá rozhodnutí



Příprava výroby

a kontrolní procesy. Tento trend, který kdysi odstartovaly velké společnosti, se stále více přelévá do středních i menších firem. S trochou nadsázky lze říct, že jednoho dne nebude nikdo nic doopravdy vyrábět, protože vše bude outsourcováno.



Řezání profilů



Proč o tom mluvíme v souvislosti s hliníkovými konstrukčními systémy? Protože i tady je vliv výše uvedeného trendu stále silnější. Dnes už více než 80% odběratelů nenakupuje hliníkové profily, ale komplexní projekt - dodavatel obdrží zadání a celý úkol (od projektové fáze až po dodávku smontované konstrukce) leží na jeho bedrech.

Přínosy tohoto postupu jsou jasné - není třeba speciálně školit a kontrolovat zaměstnance při činnosti, která není jejich běžnou náplní práce (o skladovacích a výrobních prostorech nemluvě). A na druhé straně - pracovníci subdodavatele, kteří jsou v daném oboru specialisté, pracují rychleji, efektivněji a jsou díky svým zkušenostem garancí kvality - od konstrukční kanceláře až po výrobu.

Výroba hliníkových konstrukcí sice není složitá (naopak, jednoduchost a rychlost montáže patří k velkým výhodám aluminiových konstrukčních systémů.), při zpracování polotovarů je však zapotřebí preciznost, přesnost a praktické zkušenosti.

Stejně tak váš konstruktér sice dokáže potřebnou konstrukci vyprojektovat sám (zejména pokud má k dispozici softwarovou podporu), ale specializovaný dodavatel díky rozsáhlému know-how i přímým kontaktům s výrobcem polotovarů najde řešení, které bude skutečně optimální z hledisek spolehlivosti, funkčnosti i ceny.

Ve zkratce řečeno: váš konstruktér a vaši řemeslníci si s konstrukcí z hliníkových profilů dozajista poradí, je však dobré si odpovědět na otázku, zdali tak rychle, kvalitně a efektivně jako specializovaná firma.





Vrtání profilů

Rádi byste věděli, jak vypadá takový „outsourcing hliníkových konstrukcí“ v praxi? Podívejte se s námi do společnosti Visimpex a.s., která je výhradním distributorem švýcarské značky KANYA, specializované na komplexní řešení.



Montáž výrobku



### Konstruktéři aneb jak se rodí projekt

Na první pohled běžná konstrukční kancelář. Na první pohled běžní projektanti. Na jejich monitorech se však prohání KANYA-THEK a v jejich hlavách jsou pečlivě uloženy znalosti značně širokého sortimentu profilů, spojovacích dílů a doplňkových prvků KANYA - a zejména jejich v praxi vyzkoušených kombinací.

Na startu každého konstrukčního projektu je nalezení „nejlepšího možného řešení“ - takové kombinace profilů a spojů,

kteřá co možná nejefektivněji vyhoví všem zadaným parametrům konstrukce. Můžete si to představit takto: máte hlavolam, který lze vyřešit mnoha způsoby - ale jen jeden z nich je rychlý, jednoduchý a elegantní. A ten je třeba najít.

Z tohoto návrhu pak vznikne samotné konstrukční řešení - provedení detailů, dimenzování, návaznosti v konstrukci (případně i na okolní konstrukce).

Na závěr z kanceláře projektantů odchází precizní dokumentace, obsahující v podstatě kompletní výrobní postup.

Dějství druhé: přesnost, přesnost a zase přesnost.

K samotnému zpracování hliníkových profilů stačí jen málo: nařezat na potřebné délky a vyvrtat otvory pro spojky. Toto „málo“ je však v praxi o něco složitější, než by se mohlo zdát. Klíčovým faktorem kvality konstrukce je totiž přesnost.



Expedice

Pro řezání je použita kotoučová pila s lineárním magnetickým odměřovacím systémem. Přesnost tohoto systému je  $\pm(0,025+0,02 \times L)$ , kde L = efektivní odměřovaná délka v metrech. V praxi je např. půlmetrový profil řezán s maximální odchylkou  $\pm 0,2\text{mm}$ . A jen tak pro zajímavost - odměřovací zařízení je zkonstruováno ze stejných profilů KANYA, jaké odměřuje.

Vrtání děr pro spojky probíhá na „běžné vrtačce“... jenže je tu opět jedno „ale“. Kvalitní spoj musí být vyvrtán velmi přesně, ale v praxi by bylo s použitím běžné vrtačky nemožné docílit požadované přesnosti. Proto přichází ke slovu přípravek. Systém KANYA obsahuje jednoduchý univerzální přípravek, který k upnutí využívá drážky vrtaného profilu. V konstrukční kanceláři Visimpex a.s. však vznikl speciální stabilní přípravek pro opakované použití, který není třeba montovat na profil a právě ten se zde k vrtání používá.

Pak už zbývá jen vyřezat závity, vložit matice do drážek profilů, provést montáž jednotlivých dílů pomocí spojek a doplnit konstrukci o další potřebné díly - odhlučňovací prvky, pojezdová kola, madla, výplně, prvky pro vzájemný pohyb částí konstrukce příp. součástí pneumatických, elektrických a jiných systémů.

A na závěr je povrch konstrukce ošetřen speciálním chemickým prostředkem na hliníkové povrchy.

### To nejdůležitější na konec

Při přesnosti, pečlivosti a důslednosti, provázející ve Visimpexu výrobek od návrhu až po výslednou montáž lze očekávat, že kvalita konstrukce bude bezchybná. Není však zapotřebí ani znalosti Murphyho zákonů, aby bylo člověku jasné, že skutečná dokonalost neexistuje, ovšem zákazník ji právem vyžaduje. Proto přichází ke slovu tým kontroly kvality - jsou pečlivě prověřeny veškeré spoje, funkcionality a tolerance. KANYA jako švýcarská značka si potrpí na to, aby zákazník dostal jen skutečně prvotřídní produkt, odpovídající zemi svého původu. Takže teprve nyní je konstrukce definitivně hotová a po zabalení může nastoupit expedice k zákazníkovi.

Tým končí naše krátká exkurze do světa „outsourcingu hliníkových konstrukcí“. Zbývá už jen odpovědět si na otázku, zdali vzhledem k jednoduchosti a rychlosti montáže využívat vlastní výrobní kapacity nebo specializovaného dodavatele. Obě řešení mají

svá pro a proti, ale současný trend ukazuje, že dodávky konstrukcí „na klíč“ jsou z hlediska celkových nákladů prostě výhodnější.

*Ing. Vladimír Bařina  
technický ředitel*

VISIMPEX a.s., Divize KANYA, Seifertova 33, 750 02 Přerov, tel.: +420 581 808 401-403, mobil: +420 739 683 679, fax: +420 581 808 505, e-mail: kanya@visimpex.cz, www.kanya.cz

## Univerzitní profesor RNDr. Miroslav Jaroslav Hrabovský, DrSc. jubilující

V naší zemi, na rozdíl od sousedních národů, si příliš nevážíme a neznáme naše přední osobnosti; pokud se tak stane, bývá to zpravidla až po smrti a s velkým zpožděním, zejména u vědců, spisovatelů a umělců. K pokusům narušit tuto negativní atmosféru patří také tento příspěvek týkající se předního českého optika a fyzika, který právě letos se dožívá šedesátí let, a to naštěstí v plném zdraví, dobré pohodě a pracovním elánu.

Narodil se 29. 8. 1947 v Olomouci, kde byl jeho otec profesorem matematiky a fyziky na Slovanském gymnáziu. Vyrůstal v intelektuálním prostředí české učitelské rodiny: otec, původem z moravského Příbora, matka rovněž učitelka, vedli ve svých stopách své obě děti – jubilanta i jeho mladší sestru Evu, dnes profesorku na gymnáziu v Konici. Otec jubilanta se vyznačoval mimořádnou šíří vzdělání – měl aprobaci z matematiky a fyziky, ale též z biologie a chemie a vyznačoval se mimořádnou erudicí i v oblasti tělesné výchovy a sportu. Jako Sokol a vlastenec se záhy po německé invazi v naší zemi ocitl v důstojnické odbojové organizaci Obrana národa, a ovšem i v německých koncentračních táborech a věznicích na řadu let. Tam se setkal s mnoha významnými lidmi, jako např. s malířem Josefem Čapkem, politikem Antonínem Zápotockým, pražským univerzitním profesorem Františkem Závíškou a dalšími. Jeden z dalších po návratu později inspiroval mladého Hrabovského k činnosti ve Skautu; od ostatních spoluvězňů otce má jubilant dodnes řadu nejrůznějších cenných památkových předmětů.

V Olomouci náš jubilant absolvoval jak střední školu (dnešní Slovanské gymnázium, 1965), tak Univerzitu Palackého (1970), obor optika a jemná mechanika. Následovala výzkumná a posléze vědecké činnosti v oboru aplikace optických metod ve výzkumu energetických strojů ve Výzkumném ústavu koncernu SIGMA, kde po řadu let úspěšně rozvíjel tento obor.

Po nabídce ze strany Univerzity Palackého (jejího rektora prof. Josefa Jařaba) přešel v roce 1990 do funkce vedoucího Společné laboratoře optiky Univerzity Palackého v Olomouci a Fyzikálního ústavu Československé akademie věd v Praze. To ovšem bylo a je vždy podmíněno výraznými úspěchy ve vědecké práci, jejímiž formálními mezníky byla u jubilanta habilitace (1993), obhajoba vědeckých hodností (CSc. 1979, DrSc. 1993) a jmenování profesorem (prezidentem Klausem 2003). Jako šéf Společné laboratoře optiky UP a Fyzikálního ústavu AV ČR představuje pokračovatele proslulé posloupnosti ředitelů a zároveň vysokoškolských profesorů Nachtikala, Hrdličky, Havelky, Kepřta a Peřiny. Pod jeho vedením ústav prosperuje kvalitativně i kvantitativně. Dnes má přes 50



pracovníků, včetně řady doktorandů a studentů a dalších nevšedních spolupracovníků. Z nich je zejména pozoruhodná a z hlediska historie a s minulostí nesrovnatelná kooperace s Ecole Polytechnique v Paříži, s University of Chicago, s Forschungszentrum Karlsruhe, univerzitou v Erlangenu a dalšími, jakož i spolupráce s osobnostmi formátu J. W. Cronina (nositel Nobelovy ceny za fyziku), E. Wolfa apod.

Tématika vědeckých prací jubilanta, převyšující dnes počet tří set publikací a 17 vynálezů a průmyslových vzorů se točí kolem klasické a moderní optiky, s aplikacemi ve strojírenství, ve fyzice vysokých energií, astrofyzice apod. Jubilantovi nejsou lhostejné ani palčivé problémy společenské a závažné problémy vědecko-pedagogické. Vrcholem těchto snah bylo nedávno založení druhé vysoké školy v Olomouci (Moravská vysoká škola Olomouc, 2005), která se vyznačuje úzkou vazbou na ekonomický, manažerský, podnikatelský a veřejnosprávní sektor, což v Olomouckém kraji dlouhodobě chybělo a bylo veřejností i úřady palčivě postrádáno. Jubilantovy zásluhy v tomto směru nejlépe vystihuje sám fakt, že byl zvolen prvním rektorem této vysoké školy.

I z toho, co bylo takřka heslovitě uvedeno, vyplývá jubilantův hluboký vztah k potřebám života, techniky a zejména strojírenského průmyslu. Dalším potvrzením tohoto faktu jsou dlouhodobé intenzivní spolupráce např. s Meoptou Přerov, Laser-tech Olomouc, Mubea Prostějov (nadnárodní koncern pro výrobu vinutých pružin), SIGMA Lutín, IHZ (Intersigma Hydraulik), Škoda Plzeň, Indel Košice, Trystom Olomouc a dalšími.

Vzácnou výjimkou v dnešní společnosti jsou trvalé a harmonické vztahy rodinné. S manželkou Mgr. Martou, rozenou Krátkou úspěšně vychovali dvě dcery - Ditu (nar. 1976) a Janu (nar. 1979); první již učí speciální pedagogiku na Univerzitě Palackého, druhá dosud studuje lingvistiku na University of London (hindština, obecná lingvistika).

I v případě našeho jubilanta platí dávno osvědčené pravidlo – že čím je člověk vzdělanější, tím je také lidsky kvalitnější. Jubilanta navíc charakterizuje mimořádná laskavost a skromnost v jednání i v životě, takže není divu, že ho mají upřímně rádi všichni, kteří měli to štěstí ho blíže osobně poznat. Proto mu všichni přejeme i v dnešní slavnostní chvíli zdraví, úspěchy a dlouhá léta spoluzití s námi se všemi.

**Ad multos annos!**

*Vladimír Malíšek a kolegové z Laboratoře optiky  
a olomoucké univerzity.*

## Vybrané publikace jubilanta:

- [1] Hrabovský M., Bača Z., Horváth P.: Koherenční zrnitost v optice. Nakl. UP, Olomouc, 2001; 304 stran, ISBN 80-244-0286-2.
- [2] Hrabovský M., Šmíd P., Horváth P., Bača Z.: Measurement of an object vibration using the theory of speckle pattern decorrelation. *Optik* 113, 3 (2002) 117-120.
- [3] Bykov I.P. et al.: Photoinduced centers in  $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  single crystals. *Ferroelectrics* 272 (2002) 2159-2164.
- [4] M. de Naurois et al.: Measurement of the Crab flux above 60 GeV with the Celeste Cerenkov telescope. *The Astrophysical Journal* 566 (2002) 343-357.
- [5] Paré E. et al. (Celeste Collaboration, Hrabovský M.): Celeste: An atmospheric Cerenkov telescope for high energy gamma astrophysics. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 490 (2002) 71-89.
- [6] Badalyan A.G. et al.: Recent researches of the copper centres in potassium tantalite single crystals. *Ferroelectrics* 273 (2002) 2197-2202.
- [7] Palatka M., Schovánek P., Hrabovský M., Vlček M., Řídký J., Grygar J., Soukup L., Prouza M., Boháčová M.: Optical layout of the fluorescence detector of the Pierre Auger Observatory. *Optica Applicata* 33, 2-3 (2003) 445-456.
- [8] Vlček M., Schovánek P., Palatka M., Hrabovský M. et al.: Thin glass mirrors for the Pierre Auger project. *Optica Applicata* 33, 4 (2003) 689-693.
- [9] Palatka M., Hrabovský M., Schovánek P., Vlček M., Boháčová M., Grygar J., Řídký J.: On optics FD without corrector ring. *The Pierre Auger GAP-2003-058*; <http://www.auger.org>, pp.10.
- [10] Horváth P., Hrabovský M., Šmíd P.: Application of speckle decorrelation method for small translation measurements. *Optica Applicata* 34, 2 (2004) 203-218.
- [11] Badalyan A.G. et al.: Divalent impurity ions in potassium tantalate studied by EPR. *Ferroelectrics* 302 (2004) 199-202.
- [12] Horváth P., Hrabovský M., Šmíd P.: Full theory of speckle displacement and decorrelation in the image field by wave and geometrical description and its application in mechanics. *Journal of Modern Optics* 51, 5 (2004) 725-742.
- [13] Auger collaboration: Properties and performance of the instrument for the Pierre Auger Observatory. *Nuclear Instr. & Methods in Physics Research A* 523 (2004) 50-95.
- [14] Badalyan A. G. et al.: Divalent impurity ion defects in potassium tantalate: EPR investigations. *Phys. Stat. Sol. C* 2, No. 1 (2005) 141-144 /DOI 10.1002/pssc.200460131.
- [15] Badalyan A.G. et al.: Thermal treatment and light illumination effects in EPR spektra of  $\text{KTaO}_3\text{:Cu}$ . *Ferroelectrics* 320 (2005) 547-550.
- [16] Rössler T., Hrabovský M., Pochmon M.: Moiré methods for measurement of displacement and topography. *Czech. J. Phys.* 56, 2 (2006) 101-124.
- [17] Airfly Collaboration: AIRFLY: Measurement of the air fluorescence radiation induced by electrons. *Nuclear Physics B* 150 (2006) 186-189.
- [18] Pochmon M., Rössler T., Mandát D., Hrabovský M., Gallo J.: Vybrané biomechanické aplikace Fourierovské profilometrie. *Acta Mechanica Slovaca* 10, 1 (2006) 401-404.
- [19] Mandát D., Rössler T., Hrabovský M., Gallo J.: Aplikace optických topografických metod v medicíně. *Acta Mechanica Slovaca* 10, 1 (2006) 327-332.
- [20] Jelínek M. et al. for Pierre Auger collaboration: The bright optical flash from GRB 060117\*. *Astronomy & Astrophysics* Vol. 454, No. 3, L119 (2006).
- [21] Badalyan A. G. et al.: Photoinduced effects in RPR spektra of copper doped potassium tantalate. *Materials Science Forum* Vols. 514-516 (May 2006) 138-141, online at: <http://www.scientific.net>.
- [22] Airfly collaboration: AIRFLY: Measurement of the fluorescence yield in atmospheric gates. *Czechoslovak Journal of Physics, Suppl. A.56* (2006), A361-A367.
- [23] Zas E. for Pierre Auger collaboration: Status and first results of the largest UHECR Observatory. *Czechoslovak Journal of Physics, Supp.A.56* (2006), A231-A240.
- [24] Šmíd P., Horváth P., Hrabovský M.: Speckle correlation method used to detect an object's surface slope. *Applied Optics* Vol. 45, No. 27 (2006) 6932-6938.
- [25] Horváth P., Šmíd P., Hrabovský M., Neumannová P.: Measurement of deformation by means of correlation of speckle fields. *Experimental Mechanics* Vol. 46, No. 6 (2006) 713-723.
- [26] Badalyan A.G. et al.: New aspects of light-induced charge transport in potassium tantalate crystals doped by copper and iron. *Phys. Stat. Sol.(c)* 4, No. 3 (2007) 1368-1371 / DOI 10.1002/psic.200673805.
- [27] Šmíd P., Horváth P., Hrabovský M.: Speckle correlation method usage to measure object's in-plan velocity. *Applied Optics* Vol. 46, No. 18 (2007) 3709-3715.
- [28] Airfly collaboration: Measurement of the pressure dependence of air fluorescence emission induced by electrons. *Astroparticle Physics* 28 (2007) 41-57.

Redakce a Redakční rada časopisu *Jemná mechanika a optika* u příležitosti životního jubilea prof. Miroslava Hrabovského děkuje jubilantovi za jeho dlouholetou a obětavou práci pro časopis *JMO* a do dalších let mu přeje hodně zdraví, životní pohodu a pracovní úspěchy jak v pedagogické, tak vědecké práci.

Redakce a Redakční rada časopisu  
*Jemná mechanika a optika*



# CONTENTS

---

<b>Separation of polar and longitudinal magnetization components in magneto-optic measurements. Linear and quadratic Kerr effects</b> (O. Životský, K. Postava, A. Stupakiewicz, Z. Kurant, A. Maziewski).....	243
The magneto-optical methods for separation of linear and quadratic effects in reflection are summarized. The dependence of reflection coefficients and magneto-optical angles of Kerr rotation and ellipticity on magnetization components is shown in details. Measuring methods are divided in two groups according to the incidence angle of laser beam. The separation of polar, longitudinal, and transversal contributions is demonstrated on Au/Co/Au system using the method of sample and magnetic field rotation.	
<b>Thickness evaluation of bonded layers</b> (M. Müller, R. Chotěborský).....	247
<b>Internally cooled Si monochromators for synchrotron radiation</b> (P. Oberta, J. Hrdý, B. Lukáš) .....	250
<b>Mathematical - statistical model of cutting forces on dependence of cutting conditions</b> (M. Gombár, A. Pella).....	253
Article deals with creation of mathematical – statistical model of cutting forces at turning of steel ISO 683/1-87 by means of regression and correlation analysis. It has been identified the significance of that factors that influence the investigated parameter.	
<b>Engineering presentation again in Prague on April 2008</b> ....	256
<b>What a luminance meter is advisable for official measurements?</b> (P. Horňák, M. Košťál).....	257
<b>Influence of the F-number in optical imaging</b> (A. Mikš).....	262
By analysis of the dependence of longitudinal spherical aberration on the numerical aperture, it is possible to find such values of the numerical aperture, where the aberration is zero. Such values of the numerical aperture are called correction zones. The work theoretically analyses the described problem and equations are derived for expression of wave aberration coefficients using correction zones for spherical aberration of the third and fifth order. There was done an analysis of optimal values of correction zones and optimal position of the centre of reference sphere using derived equations. This analysis was done for the case when we require the fulfilment of the Strehl ratio. Finally, there was done the relation for calculation of correction zones for optical system having identical position of the optimal image plane for two values of the F-number.	
<b>Smart automation – new challenge</b> .....	265
<b>The world of “aluminium outsourcing”</b> (V. Bařina) .....	268
<b>Professor RNDr. Miroslav Jaroslav Hrabovský, DrSc. celebrating his 60<sup>th</sup></b> (V. Malíšek) .....	270
<b>Academy of Sciences in Olomouc</b> (red.) .....	272

---

## Akademie věd v Olomouci

Dne 3. května 2007 se v Regionálním centru Olomouc konala konference pod názvem Akademie věd v Olomouci, kterou společně uspořádaly některé ústavy Akademie věd ČR a Univerzita Palackého v Olomouci, za účasti předsedy Akademie věd ČR prof. Václava Pačesa, rektora Univerzity Palackého v Olomouci prof. Lubomíra Dvořáka, ředitelů některých ústavů AV ČR, primátora statutárního města Olomouce p. Martina Novotného, náměstka hejtmána Olomouckého kraje Ing. Pavla Horáka a dalších hostů. Konference, které se zúčastnilo více než 200 účastníků, se konala u příležitosti několika významných akcí a výročí: vzniku Biomedicínského centra (společného pracoviště Lékařské fakulty UP a Biofyzikálního ústavu AV ČR), otevření Centra genomiky Ústavu experimentální botaniky AV ČR v Olomouci, 10. výročí založení Laboratoře růstových regulátorů (společného laboratoře Ústavu experimentální botaniky AV ČR a Přírodovědecké fakulty UP) a zprovoznění mezinárodní observatoře Pierra Augera v Argentině, na němž se podílela Společná laboratoř optiky UP a Fyzikálního ústavu AV ČR. Cílem konference

bylo upozornit na důležitost úzké spolupráce vysokých škol a pracovišť Akademie věd ČR, které se v Olomouci velmi úspěšně daří, jak ve svém vystoupení zdůraznili předseda AV ČR prof. Václav Pačes i prof. Lubomír Dvořák, rektor UP. Jejich slova následně potvrdili při představování jednotlivých společných pracovišť AV ČR a UP v Olomouci prof. Zdeněk Kolář (Biomedicínské centrum), doc. Jaroslav Doležel (Centrum genomiky), prof. Miroslav Hrabovský (Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR) a prof. Miroslav Strnad (Laboratoř růstových regulátorů). Zástupci města i kraje ve svých příspěvcích prezentovali zájem těchto institucí na dalším rozvoji vysokého školství v regionu a přislíbili vytvářet podmínky, které tento další rozvoj umožní. V závěrečné diskusi vystoupili RNDr. Jiří Grygar, předseda Učené společnosti České republiky a RNDr. Josef Tesářík, předseda představenstva Moravské vysoké školy, který svůj diskusní příspěvek zaměřil na rozvoj Olomouce jako univerzitního města evropského významu.

*red.*

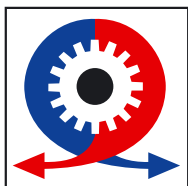
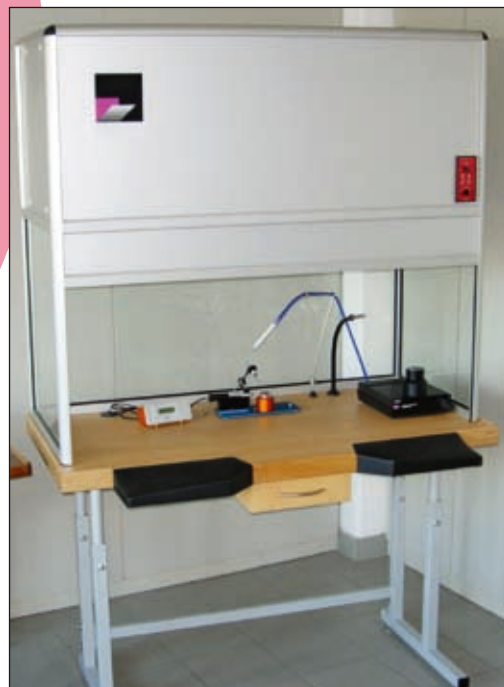
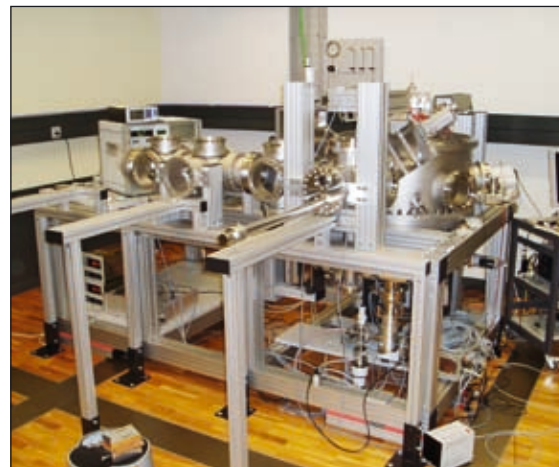


## Aplikace systému KANYA v oblasti přesných výrob

- Uplatnění konstrukčních systémů z hliníkových profilů v oblasti nejpřesnějších výrob je stále častější. I zde hrají roli výhodné vlastnosti typu snadná a rychlá montáž, variabilita, nízká hmotnost. Moderní vzhled a design výrobku pak přináší zpříjemnění pracovního prostředí.
- Z hlediska uplatnění přichází v úvahu dvě oblasti. Jednak použití konstrukčního systému ve výrobcích, jednak aplikace ve výrobních zařízeních, např. přípravcích, krytech, kabinách a podobně. Častou aplikací je návrh kompletních pracovišť z profilového systému.
- I obory, jejichž výrobky patří mezi „nejjemnější“ mohou s výhodou konstrukční systém využít. Příkladem jsou aplikace mateřské společnosti KANYA Ltd. v podnicích vyrábějících to nejjemnější a nejkvalitnější – švýcarské hodinky. Hliníkový konstrukční systém byl použit na výrobu montážních pracovišť včetně boxů s ventilací a s požadavkem na vysoký stupeň čistoty prostředí.
- Také aplikace ve výrobě lékařských zařízení byly úspěšné a velmi pozitivně hodnoceny. Konstrukční systém KANYA byl i zde použit na výrobu montážních pracovišť.
- Konstrukční systém KANYA vyhovuje přísným podmínkám na zajištění a udržování čistoty pracovního prostředí díky řadě speciálních profilů. Tyto profily mají plné stěny, podle požadavku protilehlé nebo rohové. Stěny tedy neobsahují typickou drážku určenou pro vzájemné spojení profilů pomocí spojek, která je kritickým místem z hlediska udržování čistoty.
- Další velmi žádanou aplikací je použití odhlučňovacích kabin nebo krytů. Pro tento účel má systém KANYA připraveno řešení v podobě speciálně upravených profilů a sendvičových panelů. Řešení takového pracoviště pak obsahuje volbu vhodného odhlučňovacího panelu provedenou na základě měření vlastností tlumeného zvuku.
- Pro pracoviště s požadavkem na neomezenou variabilitu nabízíme také konstrukční systém trubkový. Toto řešení najde uplatnění především při požadavcích na náročné prostorové řešení nebo při požadavku na snadnou a rychlou vzájemnou přestavitelnost částí konstrukce. Výhodné je pak použít tento systém v aplikacích laboratorních vybavení, upevnění čidel, ale také ke stavbě kompletních zařízení. Samozřejmostí je kompatibilita obou nabízených konstrukčních systémů KANYA, profilového systému (PVS) a trubkového systému (RVS).

### Výhradní distributor pro Českou republiku a Slovensko:

VISIMPEX a.s. – Divize KANYA  
Seifertova 33, 750 02 Přerov  
kanya@visimpex.cz; www.kanya.cz



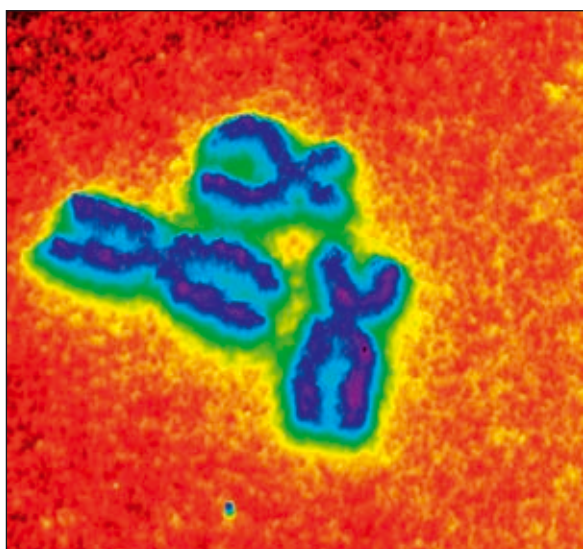
# Rastrovací hrotové mikroskopy Agilent Technologies

Společnost H TEST a.s. rozšířila svoji nabídku testovacích systémů i o produkty divize Agilent Materials Sciences Solutions tj. AFM (Atomic Force Microscopy)/SPM (Scanning Probe Microscopy) rastrovací mikroskopy.

Zásadní výhodou technologie AFM oproti elektronovým mikroskopům je, že měřené vzorky nemusí být vodivé! S technologií AFM lze dosáhnout rozlišení až v řádu jednotek nanometrů.

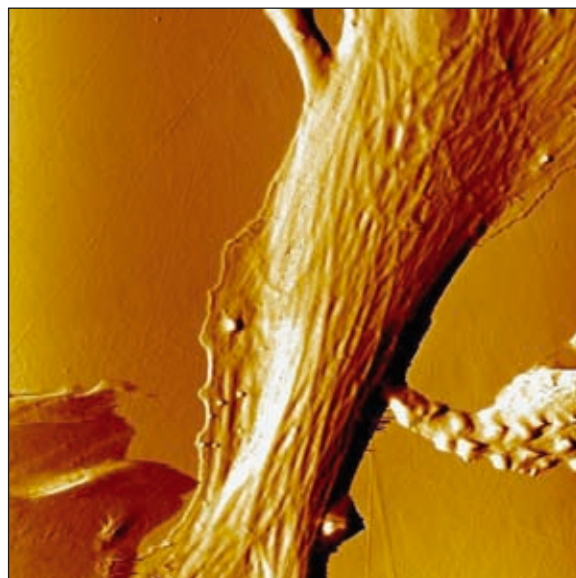
Systémy Agilent se uplatní v:

- elektrochemii
- nanolitografii
- aplikacích s polymery
- biotechnologiích
- medicíně



## Série 5500 AFM/SPM

AFM mikroskop Agilent 5500 je vrcholný víceúčelový výzkumný mikroskopický systém pro AFM a SPM. Modulární koncepce této série dovoluje jednoduchou integraci stojanu pro velké vzorky až 150 x 200 mm (LS), invertovaného mikroskopu (ILM), scannerů pro malé i velké zobrazované plochy, adaptérů pro uchycení vzorků, soupravy pro elektrochemii nebo video mikroskopu.



## Série 5100 AFM/SPM

AFM mikroskop Agilent 5100 je vhodný pro uživatele, kteří nepotřebují plnou funkčnost vrcholného modelu Agilent 5500, a přesto vyžadují možnost plné kontroly prostředí, ve kterém se nachází měřený vzorek. Pro plnou kontrolu prostředí, ve kterém se nachází měřený vzorek, je k dispozici volitelná hermeticky uzavřená komora a teplotně regulovaný adaptér pro uchycení vzorků.

- Velikost vzorku 20 mm x 20 mm
- Kontrola teploty a prostředí

## Série 5400 AFM/SPM

Nový AFM mikroskop Agilent 5400 AFM/SPM je velmi přesný univerzální přístroj za dostupnou cenu, určený zejména pro oblast vzdělávání a výzkumu, a představuje tak ideální možnost zpřístupnění AFM technologie širokému spektru potenciálních uživatelů. Mikroskop je dodáván s podklady pro výuku AFM včetně vzorků pro experimenty.

- Velikost vzorku 20 mm x 20 mm
- Kontrola teploty

## Kontaktní informace:

### H TEST a.s.

Na okraji 44B  
162 00 Praha 6  
Tel.: 235 365 207, 204  
Fax: 235 363 893  
E-mail: info@htest.cz



[www.htest.cz](http://www.htest.cz)  
[www.agilent.com/find/nanotech](http://www.agilent.com/find/nanotech)

