

REDAKČNÍ RADA

Předseda: RNDr. Miloslav VYCHODIL, CSc., Meopta-optika, a.s., Přerov

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZI-NA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORNÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVOR-KA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Mi-roslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KR-ŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KÚR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTO-RA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDEŘÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, 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 Univer- sity, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; 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 za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakla- datelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

Ředitel FZÚ AV ČR: Ing. Karel JUNGWIRTH, DrSc.

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

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: pelclova@optnw.upol.cz

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 Pře- rov, 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 příspěv- ků odpovídají autoři.

Předplatné: Celoroční 420,- Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO dis- tribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí před- platné 120,- Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v přípa- dě zasílání poštou 300,- Kč/rok.

Rozšiřuje vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, a.s., Pře- rov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Vác- lavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

V Slovenské republice je kontaktní místo: prof. RNDr. Anton Štr- ba, CSc., katedra experimentálnej fyziky FMFI UK, Mlynská dolina F2/148, SK - 842 48 Bratislava, tel.: 00421 7 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: typoservis@iol.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 2005

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 50 5/2005

OBSAH

Vliv optických soustav na přesnost měření v geodézii (V. Obr)	143
Realizácia stupnice spektrálneho žiarivého toku na báze kremíkových fotodiód (P. Nemeček, R. Nemeček)	147
Automat Cassandra na třídění valivých ložisek s jemnými vadami (J. Ber, J. Tůma)	151
Jednoduché měření geomagnetického pole (F. Sedlák)	155
Cena HERMES AWARD na veletrhu HANNOVER MESSE 2005 (iev)	156
Modelování vývoje teplotního pole při laserovém povrchovém zpracování materiálu (M. Stranyánek, M. Havelková, H. Chmelíčková, M. Hrabovský)	157
Základné spôsoby merania jasu (P. Horňák)	160
Výpůjční řád knihovny SPIE/CS	161
Přirůtky knihovny SPIE/CS	161
Laserové diodové moduly - novinky	162
Změny zdravotnických veletrhů MEFA a REHAPROTEX (B. Knopová)	164
14. mezinárodní seminář „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“ (I. Brezina)	165
Navštivte ELTEC v Norimberku (jpe)	165
Souřadnicová měřicí technika (Č. Nenáhlo)	166
Uchycení a justáž rozměrných funkčních částí optického zařízení (J. Hošek)	168
Pamětní medaile k 60. výročí ukončení II. světové války	171
Rakouská Reed Exhibitions je úspěšná (jpe)	171

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, a.s., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUČHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, 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.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KUR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak 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.; Gisbert O. SCHAUER, Sylvania Lighting International, Erlangen, Germany; 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: Karel JUNGWIRTH

Editor: Jan ŘÍDKÝ

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: pelclova@optnw.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, a.s., 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 7 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: typoservis@iol.cz

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2005

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 50 5/2005

CONTENTS

Impact of optical systems on measurement accuracy (V. Obr)	143
Realisation of the radiant flux scale by means of silicon photodiodes (P. Nemeček, R. Nemeček)	147
KASSANDRA, the Automatic Tester for Fine Sorting of Rolling Bearings (J. Ber, J. Tůma)	151
Simple measurement of geomagnetic field (F. Sedlák)	155
HERMES AWARD in trade-fair HANNOVER MESSE 2005 (iev)	156
Temperature field development modelling in laser material surface treatment (M. Stranyánek, M. Havelková, H. Chmeličková, M. Hrabovský)	157
Basic methods for brightness measurement (P. Horňák)	160
Loan SPIE/CS library rules	161
Recent acquisitions of the SPIE/CS library	161
Laser diode modules - recent developments	162
Changes in medical fairs MEFA and REHAPROTEX (B. Knopová)	164
14th international workshop „Measurement techniques for quality control“ (I. Brezina)	165
Come to see ELTEC in Nürnberg (jpe)	165
Co-ordinate measuring technique (Č. Nenáhlo)	166
Mounting and Alignment of a Sizeable Optical Parts (J. Hošek)	168
Commemorative medal for 60 anniversary of WWII cease	171
Austrian Red Exhibition is successful (jpe)	171

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

Vliv optických soustav na přesnost měření v geodézii

Optický systém je základní součástí většiny geodetických měřicích přístrojů. Nejen jeho kvalita, ale i typ použité konstrukce přímo ovlivňují a definují limity dosažitelné přesnosti měření. Uváděný článek představuje dva základní, přesto opomíjené, zdroje chyb měření v geodézii, které vyplývají z teorie optického zobrazení. K první dochází zanedbáním vlivů reálné optické soustavy – vliv příčné paprskové aberace. Druhá chyba je konstrukčního charakteru. Je způsobena používáním Wildova typu dalekohledu s vnitřní fokusací. Tato práce analyzuje vliv obou těchto jevů na přesnost měření a navrhuje způsob jejich kompenzace.

1. ÚVOD

Pro výpočty v geodézii je využívána velmi zjednodušená teorie geometrické optiky, která vychází z předpokladu fyzikálně dokonalé optické soustavy. V drtivé většině případů je toto zjednodušení naprosto postačující. Při velmi přesných měřeních, zejména v průmyslu, dochází vlivem změny vzdálenosti měřeného předmětu k chybám nelineárního charakteru [1,7]. Tyto odchylky mohou při určité konfiguraci dosahovat nezanedbatelných hodnot. Pro přesné zjištění změn vlastností optických soustav se nejčastěji používají interferometrické metody [2-6,8], nebo metody založené na změně rozptylové funkce optické soustavy [1,9].

Představovaná práce se zabývá vlivem příčné paprskové aberace a jevem, který lze označit jako zdánlivý pohyb analaktického bodu¹. Druhý jmenovaný jev se projevuje u optických soustav (dalekohledů) s vnitřním ostřením, které jako první navrhl Wild [10,11] a které se velmi rychle rozšířily (umožňují zkrácení dalekohledu přístroje a jeho utěsnění proti prachu a nečistotám). V současné době jsou používány ve všech optických systémech theodolitů a nivelačních přístrojů [10-18]. Z teoretické analýzy tohoto uspořádání optického systému vyplývá, že analaktický bod není pevným bodem, ale dochází k jeho posunu podél optické osy. Při měřeních na velmi krátké vzdálenosti nabývá tato chyba nezanedbatelných hodnot. Teoretický rozbor tohoto jevu bude proveden na příkladu nitkového dálkoměru.

2. PŘÍČNÁ PAPRSKOVÁ ABERACE

V současné době nelze dosáhnout takových konstrukčních kvalit optických soustav, aby jejich vlastnosti odpovídaly fyzikálně dokonalé optické soustavě (obrazem libovolného bodu v předmětovém

prostoru je opět bod, libovolné úsečky/roviny předmětového prostoru odpovídá právě jedna úsečka/rovina obrazového prostoru). Dochází k celé řadě nevyhnutelných aberací. Snahou konstruktérů je, aby alespoň pro určitou předmětovou vzdálenost byly aberace zanedbatelné. U geodetických přístrojů je touto vzdáleností nekonečno. Pro všechny ostatní předmětové vzdálenosti pak dochází k nárůstu velikosti aberací. Především pro velmi krátké záměry (pouze několik metrů) je patrné „nevysvětlitelné“ snížení přesnosti měření, někdy až na úroveň, která je pro daný účel nevhodující.

U reálné optické soustavy dojde k vytvoření rozptylového obrazce, který je vytvořen paprskovým svazkem procházejícím předmětovým bodem a deformovaným optickou soustavou. Z hlediska geometrické optiky je zanedbána energetická povaha paprsků a takto vytvořený rozptylový kroužek se nazývá *spot diagram*. Každý bod tohoto diagramu je v příčném směru odchýlen od ideálního bodu (bodů v případě fyzikálně dokonalé optické soustavy) o hodnotu příčné paprskové aberace $\Delta y'$. Geodetické přístroje jsou konstruovány tak, aby jejich aberace byly minimální pro zobrazení nekonečně vzdáleného předmětu. Se změnou polohy měřeného předmětu pak dochází ke změně aberací této optické soustavy.

Analýza tohoto problému je popsána na základě aberací třetího řádu pro optickou soustavu prostou aberací při zobrazení nekonečně vzdáleného předmětu takto:

$$\delta y' = (1/2g)(A^3 S_I^0 - 3tgwA^2 S_{II}^0 + 3tg^2 wA S_{III}^0) \quad (1)$$

kde

$$S_I^0 = f'(g_P - g) \left[(g_P - g)^2 - 3g_P(g_P - g) + 3(g_P^2 - 1) \right],$$

$$S_{II}^0 = f'(g_P - g) \left[-g(g_P - g) + 2(g_P^2 - 1) \right], \quad (2)$$

$$S_{III}^0 = f'(g_P - g)(g_P^2 - 1),$$

$$tgw = \frac{y}{f'(g_P - g)}$$

přičemž $A = \sin U$ – je numerická apertura v předmětovém prostoru ($n = n' = 1$),

$2w$ – úhel zorného pole

g – úhlové zvětšení

g_P – úhlové zvětšení v pupilách,

f' – ohnisková vzdálenost optické soustavy

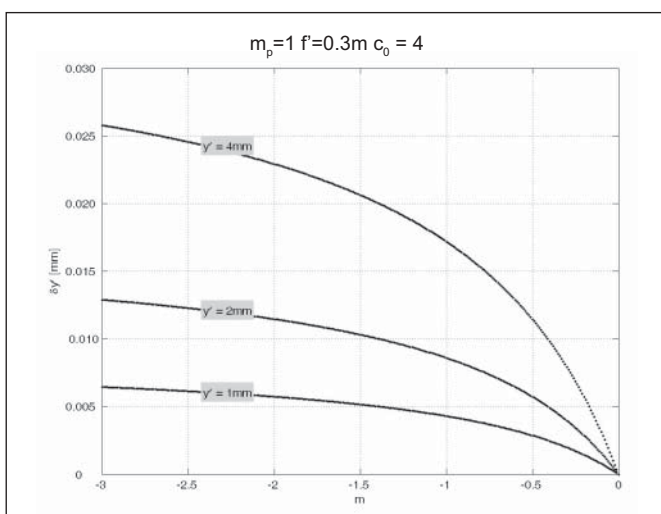
Pro střední hodnotu příčné paprskové aberace v meridiánové rovině platí

$$\langle \delta y' \rangle = \frac{1}{2A_M} \int_{-A_M}^{A_M} \delta y' dA \quad (3)$$

kde A_M značí maximální numerickou aperturu

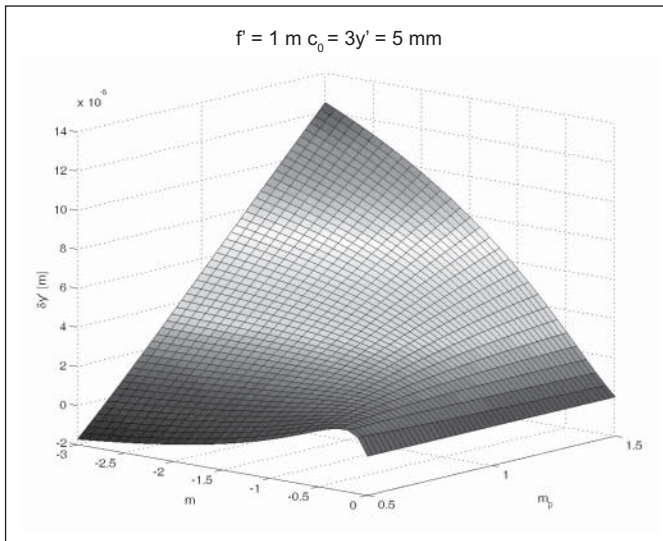
$$A_M = \frac{1}{2c_o(g - g_P)} \quad (4)$$

kde c_o je clonové číslo optické soustavy.



Obr. 1 Velikost střední hodnoty příčné paprskové aberace $\delta y'$ v závislosti na příčné zvětšení optické soustavy m a různých velikostech obrazu y'

¹ Z řečtiny a (an) = ne, allasso = měním tedy analaktický = neproměnný, stálý.



Obr. 2 Velikost příčné paprskové aberace $\delta y'$ v závislosti na příčné zvětšení optické soustavy m a příčném zvětšení v pupilách m_p

3. NITKOVÝ DÁLKOMĚŘ

Jedná se o optický dalekohled s konstantní paralaxou. Jeho základem je dalekohled, v jehož zorném poli je umístěna záměrná ploténka, která nese mimo záměrné vlákno dvě vodorovná vlákna dalekohledná (viz obr. 3). Z obrázku 4 je patrné, že vzdálenost předmětového ohniska F objektivu od měřeného předmětu (měřické latě) je přímo úměrná čtenému úseku y na lati, který je vymezen dalekohlednými vlákny nitkového kříže dalekohledu. Bod F je stálý, nezávislý na vzdálenosti latě a nazýváme ho analaktickým bodem. Z podobnosti trojúhelníků (viz obr. 4) lze lehce odvodit vztahy (5) a (6)

$$\frac{y}{p} = \frac{q}{f} \quad (5)$$

$$l = \frac{f'}{p} y + f' + \delta \quad (6)$$

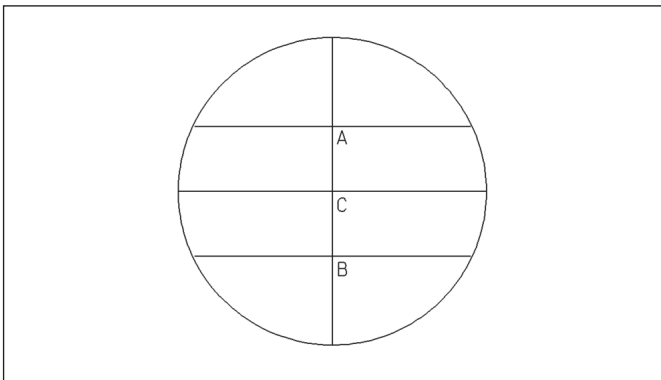
kde f' je obrazová ohnisková vzdálenost objektivu a δ značí vzdálenost objektivu dalekohledu od vertikální osy stroje. Význam ostatních symbolů je patrný z obr. 4. Jelikož f' , p a δ jsou pro daný dalekohled konstantní, můžeme dále psát

$$l = ky + c \quad (7)$$

kde

$$k = \frac{f'}{p} \quad \text{a} \quad c = f' + \delta \quad (8)$$

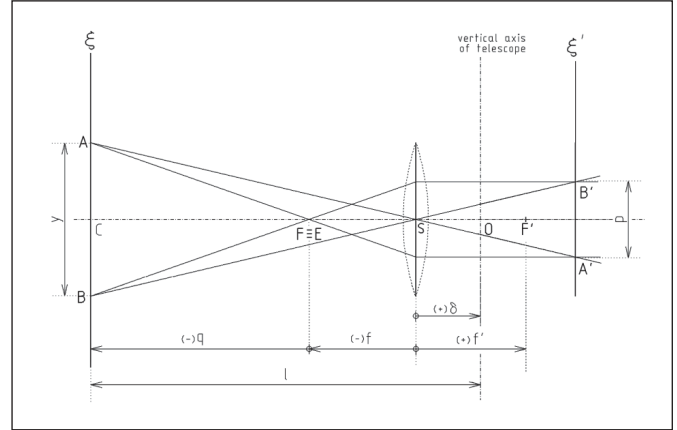
Konstanta k se nazývá multiplikační konstantou, obvykle se volí tak, aby její hodnota byla rovna (-)100 nebo (-)50. Vzdálenost předmětového ohniska objektivu F od vertikální osy dalekohledu



Obr. 3 Nitkový kříž

O se nazývá adiční konstantou c . Vhodnou konstrukcí optické soustavy lze přemístit analaktický bod E do vertikální osy dalekohledu. Adiční konstanta je pak rovna nule. Lze toho dosáhnout použitím Porrova typu konstrukce analaktického dalekohledu, nebo Wildova typu dalekohledu s vnitřním ostřením [10,11].

Je velmi důležité si uvědomit, že v druhém případě, konstrukce dalekohledu s vnitřním ostřením, který se v geodézii používají nejčastěji, užitá lineární závislost přesně neplatí [10,19].

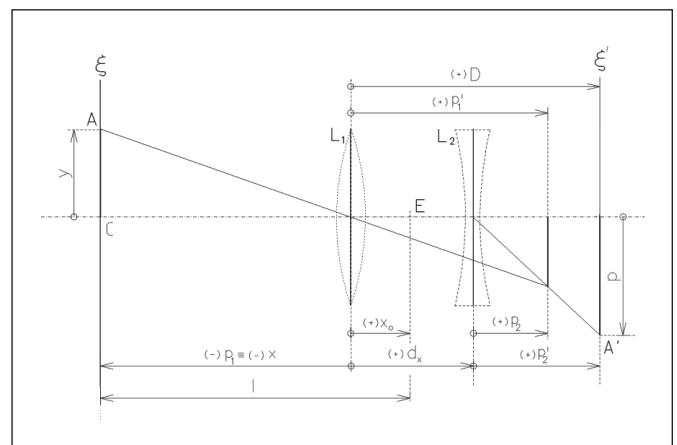


Obr. 4 Optické schéma nitkového dalekohledu

4. DALEKOHLED S VNITŘNÍ FOKUSACÍ

Konstrukce dalekohledu s vnitřní fokusací, který jako první zavedl Wild [10,11], je velmi výhodná nejen díky možnosti utěsnění systému proti přístupu prachu a vlivů atmosferických změn, ale i z důvodů vzniku možných chyb vlivem mechanického provedení vysouvání okuláru při ostření, jak je tomu u Porrova typu. Nespornou výhodou je také zkrácení a neměnnost délky dalekohledu.

Schéma optické soustavy je znázorněno na obrázku 5. Objektiv je tvořen jedním členem spojným L_1 a jedním členem rozptylným L_2 . Jejich vzájemná vzdálenost d_1 se mění současně se změnou vzdálenosti x pozorovaného předmětu, přičemž délka dalekohledu D (vzdálenost mezi přední čočkou objektivu a rovinou nitkového kříže) zůstává neměnná. Význam ostatních symbolů je patrný z obrázku 5.



Obr. 5 Optické schéma dalekohledu s vnitřní fokusací

Za podmínky pevné polohy roviny nitkového kříže ξ' se bude při změně polohy rozptylného členu měnit vzdálenost pozorovaného předmětu, nacházejícího se v rovině ξ . Pro zobrazení bodu A' dalekohledného vlákna optickou soustavou dle obrázku 5 lze jednoduše odvodit následující vztahy

$$x = \frac{f_1' (d_x^2 + d_x D + f_2' D)}{-d_x^2 + d_x (f_1' + D) - D (f_1' + f_2') + f_1' f_2'} \quad (9)$$

$$y = \frac{f_1' f_2' p}{-d_x^2 + d_x (f_1' + D) - D (f_1' + f_2') + f_1' f_2'} \quad (10)$$

Rovnice (9), (10) představují parametrické vyjádření polohy bodu A měřeného předmětu (např. latě), jehož obrazem je bod A'. Vzdálenost d_x je zde proměnný parametr. Parametr d_x vyloučíme z rovnic (9) a (10) tím způsobem, že položíme rezultant [20] těchto rovnic rovný nule. Po delším výpočtu dostáváme

$$f_2' x^2 + \frac{f_1'}{p} (D - 2f_2' - f_1') xy + \frac{f_1'^2 f_2'}{p^2} y^2 + 2f_1' f_2' x - \frac{f_1'^2}{p} (2f_2' - D) y + f_1'^2 f_2' = 0 \quad (11)$$

Tato rovnice je kvadratická v x, y a značí kuželosečku, jejíž rovnici můžeme psát ve tvaru

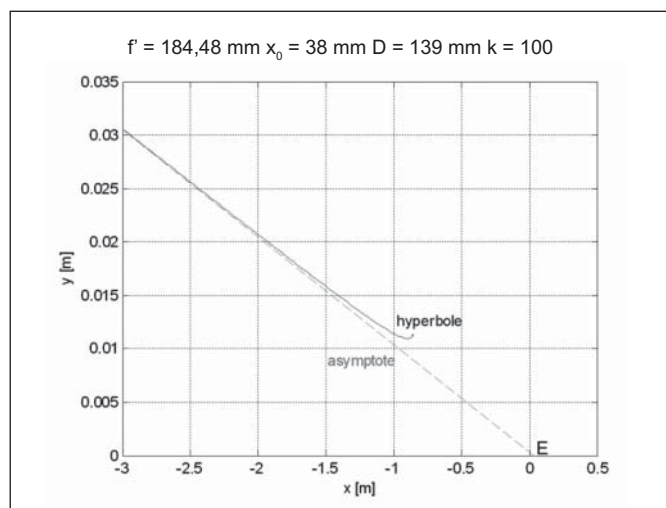
$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0 \quad (12)$$

kde jednotlivé koeficienty jsou rovny:

$$a_{11} = f_2', \quad a_{12} = \frac{f_1'}{2p} (D - 2f_2' - f_1'), \quad a_{13} = f_1' f_2' \quad (13)$$

$$a_{22} = \frac{f_1'^2 f_2'}{p^2}, \quad a_{23} = -\frac{f_1'^2}{2p} (2f_2' - D), \quad a_{33} = f_1'^2 f_2'$$

Podrobnější analýzou lze dokázat, že se jedná o hyperbolu. Pro hodnoty optických parametru běžných u dalekohledů je tato hyperbola extrémně plochá a pro vzdálenosti x v desítkách metru je téměř totožná s asymptotami (viz. obr. 6 a obr. 7).



Obr. 6 Extrémně plochá hyperbola bývá nahrazována asymptotou

Proto se pro běžná měření v geodézii předpokládá, že obraz dalekohledného vlákna, bod A, se v předmětovém prostoru pohybuje po asymptotě, tj. po přímce. Kvadratická závislost mezi určenou vzdáleností a úsekem na lati se nahrazuje závislostí lineární. Analaktickým bodem je v takovém případě průsečík asymptoty s optickou osou tj. bod mající souřadnice $(x_0, 0)$, kde x_0 je dáno vztahem

$$x_0 = -f_1' + \frac{f_1'^2}{\sqrt{(D - f_1')(D - f_1' - 4f_2')}} \quad (14)$$

Pokud pro výpočet vzdálenosti použijeme lineární závislost jak je tomu například ve vzorci (7), dopustíme se chyby, kterou lze vyjádřit vztahem

$$dl = x + x_0 - ky \quad (15)$$

Postupným upravováním a rozvojem v řadu při omezení na první člen rozvoje lze chybu vyjádřit vztahem

$$dl \approx \frac{f_1'^6 f'^3 p}{f_2'^2 (f_1'^2 - f'^2)^3} \cdot y \quad (16)$$

nebo v závislosti na měřené vzdálenosti l vztahem

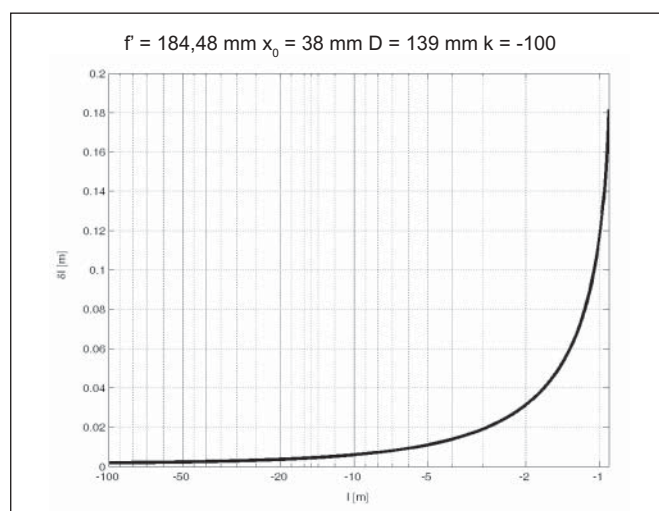
$$dl \approx \frac{f_1'^6 f'^4}{f_2'^2 (f_1'^2 - f'^2)^3} \cdot l \quad (17)$$

Tyto zjednodušené vzorce lze s dostatečnou přesností použít až pro vzdálenosti předmětu v řádech několika metrů (pro přesná měření v geodézii a parametry optické soustavy volené dle obr. 7 je to zhruba 10 m).

Chyba dl může pro velmi krátké vzdálenosti pozorovaného předmětu nabývat velikosti až desítky procent (viz. tab. 1). Pro běžná měření je však vzhledem k přesnosti metody zanedbatelná (desetiny milimetru).

Tab. 1 Velikosti chyb pro dalekohled s optickými parametry $f' = 184,48$ mm, $D = 139,34$ mm, $x_0 = 37,65$ mm, $k = -100$

l [m]	dl [mm]	dl [%]
0,91	-196,1	-21,55
1,00	-117,2	-11,72
2,00	-30,1	-1,50
5,00	-9,7	-0,19
10,00	-4,6	-0,05
20,00	-2,2	-0,01
50,00	-0,9	-0,0018
100,00	-0,4	-0,0004



Obr. 7 Korekční graf oprav pro dalekohled s optickými parametry $f' = 184,48$ mm, $D = 139,34$ mm, $x_0 = 37,65$ mm, $k = -100$

Situace lze též představit jako zdánlivý pohyb analaktického bodu E , který je průsečíkem tečny hyperboly v bodě v níž je prota-
ta latí a optické osy. Při velkých vzdálenostech se poloha bodu E
prakticky nemění, lze ho považovat za bod stálý.

5. SPOLEČNÝ VLIV OBOU CHYB

V předešlém textu bylo teoreticky dokázáno zvýšení hodnoty
příčné paprskové aberace a velikosti změny polohy analaktického
bodů v závislosti na zmenšení předmětové vzdálenosti. Vzájemné
působení těchto vlivů bude opět analyzováno na příkladu nitkového
dálkoměru.

V geodetických měřicích přístrojích jsou využívány optické
soustavy, jejichž příčné zvětšení v pupilách je rovno jedné. Jedno-
duchou úpravou vzorců (2) získáme vztahy

$$\begin{aligned} S_I^0 &= -f'(1-g)^2(2+g), \\ S_{II}^0 &= -f'(1-g)^2, \\ S_{III}^0 &= 0, \end{aligned} \quad (18)$$

a jejich dosazením do (1) vztah

$$\delta y' = (1/2g)(A^3 S_I^0 - 3tgwA^2 S_{II}^0) \quad (19)$$

Střední hodnotu příčné paprskové aberace v meridiánové rovině
pak získáme výpočtem integrálu (3) ve tvaru

$$\langle \delta y' \rangle = -\frac{1}{2g} tgw A_M^2 S_{II}^0 \quad (20)$$

a po dosazení z (2), (4) a (18) za podmínky $g_p = 1$ získáme vztahy

$$\langle \delta y' \rangle = \frac{y}{8c_0^2(1-g)} \quad (21)$$

a pro střední hodnotu příčné paprskové aberace v předmětové rovině

$$\langle \delta y \rangle = \frac{y}{8c_0^2(1-g)} \quad (22)$$

Vyjádříme-li rovnice $\langle \delta y' \rangle$ a $\langle \delta y \rangle$ v závislosti na velikosti odečítá-
ného úseku na měřické lati y získáme rovnice (21), (22) ve tvarech

$$\langle \delta y' \rangle = \frac{p}{8c_0^2(1-\frac{y}{p})} \quad (23)$$

$$\langle \delta y \rangle = \frac{y}{8c_0^2(1-\frac{y}{p})} \quad (24)$$

Společný vliv příčné paprskové aberace a změny polohy analak-
tického bodu na přesnost určení měřené délky nitkovým dálkomě-
rem pak získáme rozšířením vztahu (15)

$$dl = x + x_0 - k(y + \delta y) \quad (25)$$

Roznásobením a dosazením za δy a k ze vztahů (8) a (24) dostaneme

$$dl = x + x_0 - ky - \frac{f'y}{8c_0^2(p-y)} \quad (26)$$

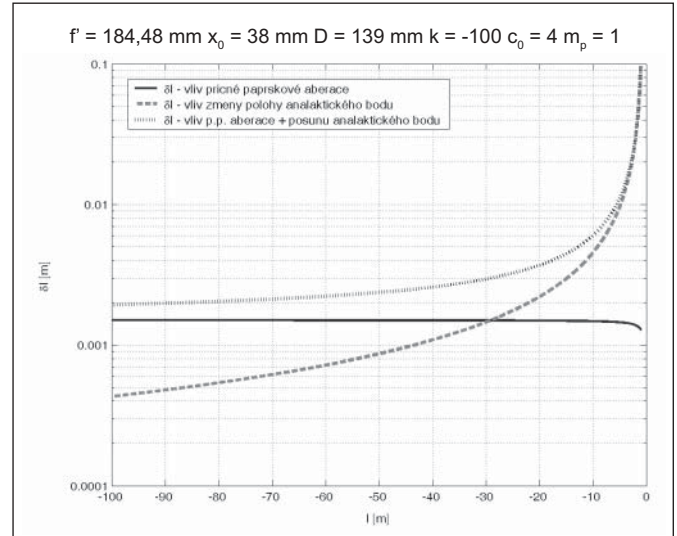
kde první tři členy $x + x_0 - ky$ vyjadřují chybu z vlivu posunu ana-
laktického bodu a čtvrtý člen $-\frac{f'y}{8c_0^2(p-y)}$ chybu z příčné paprs-
kové aberace. Pomocí přibližného vyjádření příčné paprskové abe-
race z (16) můžeme výsledný vztah psát ve tvaru

$$dl \approx \frac{f_1'^6 f'^3 p}{f_2'^2 (f_1'^2 - f'^2)^3} - \frac{f'y}{8c_0^2(p-y)} \quad (27)$$

nebo v závislosti na příčném zvětšení g

$$dl \approx \frac{f_1'^6 f'^3}{f_2'^2 (f_1'^2 - f'^2)^3} - \frac{f'g}{8c_0^2(1-g)} \quad (28)$$

Pro velmi přesná měření na vzdálenost několika metrů nelze
tyto zjednodušené vzorce použít a je nezbytné užít přesného vyjá-
dření (26). Grafické znázornění jednotlivých typů chyb je uvede-
no na obr. 8.



Obr. 8 Vliv příčné paprskové aberace a posuvu analaktického bodu
na přesnost určení délky nitkovým dálkoměrem

ZÁVĚR

V představované práci byla provedena podrobná analýza vlast-
ností optických soustav nitkových dálkoměrů s vnitřní fokusací
a ukázán vliv změny polohy analaktického bodu a příčné paprskové
aberace na přesnost měření těchto soustav. Metoda měření délek nit-
kovým dálkoměrem se v současné době používá již méně, ale zkou-
maný jev má nezanedbatelný význam v moderních optoelektronic-
kých systémech pro velmi přesná měření s využitím CCD, kde jej
musíme vzít v úvahu. Jeho vliv se také projeví u geodetických pří-
strojů s nepřesně rektifikovaným záměrným nitkovým křížem, kdy
při měření úhlu mezi velmi blízkým a vzdáleným cílem (excentric-
ké stanovisko) dojde k zdánlivé změně polohy záměrného kříže, a tím
k chybnému cílení. Z uvedených důvodů je nutno s tímto jevem
počítat a příslušným způsobem jej korigovat.

*This research was supported by grant 103/02/0357 from Grant
Agency of the Czech Republic.*

Literatura

- [1] A. Mikš, Aplikovaná optika 10 (Geometrická a vlnová opti-
ka). 1. vyd. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000. 259 s.
- [2] Novák, J.: Five-step phase-shifting algorithms with unknown
values of phase shift. Optik. 2003, Vol. 114, No. 2, s. 63-68.
- [3] Novák, J.: New Phase Shifting Algorithms Insensitive to Li-
near Phase Shift Errors. Acta Polytechnica, Vol.42, No.4, 2002,
p. 51-56.
- [4] Novák, J.: Vícekrokové algoritmy nezávislé na lineární chy-
bě fázového posuvu. Jemná mechanika a optika. 2002, roč. 47,
č. 11-12, s. 348-352.
- [5] Novák, J.: Computer Analysis of Interference Fields Using
Matlab. In: MATLAB 2002. Prague: HUMUSOFT, 2002,
p. 406-410.

- [6] Novák, J.: Analýza a vyhodnocování interferenčních struktur. In: MATLAB 2001 - Sborník příspěvků 9. ročníku konference. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2001, díl 1, s. 318-322.
- [7] Mikš, A.: Geometricko-optická teorie vlivu změny zobrazování podmínek na přesnost měření optickými přístroji v průmyslu. In: Jemná mechanika a optika. 1997, roč. 42, č. 4, s. 123-127.
- [8] Mikš, A.: Interferometrické metody vyhodnocování sférických ploch v optice. In: Jemná mechanika a optika. 2001, roč. 46, č. 1, s. 29-35.
- [9] Mikš, A.: Kontrola centricity optických členů pomocí rozptylové funkce. In: Jemná mechanika a optika. 2001, roč. 46, č. 3, s. 94-96. ISSN 0447-6441.
- [10] Wild, Neue Nivellierinstrumente, Zeitschrift für Instrumentenkunde, **29** (1909), s.329-344.
- [11] Wild, Der neue Theodolit. Schweiz Zeischr. f. Vermw. u. Kulturt. **23** (1925), s.103-105.
- [12] O. Eggert, Ein Beitrag zur Theorie des Fernrohrs mit Fokussierlinse. Zeitschrift für Vermessungswesen, **23** (1929), s. 833-841.
- [13] H. Schulz, Der anallaktische Punkt beim Fernrohr mit innerer Einstelllinse, **56** (1936), s. 357-360.
- [14] R. Roelofs, Fadendistanzmesser mit Innenfokussierung. Zeitschrift für Instrumentenkunde, **61** (1941), s. 137-1947.
- [15] B. Havelka, Dálkoměrný dalekohled s vnitřním zaostřováním, Fysika v technice, roč. 1 (1946), č.9, str. 257-265.
- [16] S. V. Jelisejev, Geodezičeskije instrumenty a pribory, Nedra, Moskva 1973.
- [17] F. Deumlich, Instrumentenkunde der vermessungstechnik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1967.
- [18] E. Kepřt, Konstrukce geodetických strojů, Donátův fond při škole technické Dr. Edvarda Beneše v Brně, Brno 1951.
- [19] W.Uhink, Betrachtungen über Fernrohre mit Entfernungmeßfäden. Zeitschrift für Instrumentenkunde, **52**, s. 435-442.
- [20] K. Rektorys, Přehled užití matematiky I, II, Prometheus, Praha 1995.

Vítězslav Obr, katedra vyšší geodézie, Fakulta stavební, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 16629 Praha 6, Česká Republika
e-mail: arry@panda2.fsv.cvut.cz

Peter NEMEČEK, Slovenský metrologický ústav, Bratislava
Rastislav NEMEČEK, Bratislava

Realizácia stupnice spektrálneho žiarivého toku na báze kremíkových fotodiód

Stupnica spektrálneho žiarivého toku je základom metrologie optických veličín. Kremíkové fotodiódy v tzv. TRAP konfigurácii sú primárnym etalónom spektrálneho žiarivého toku v spektrálnej oblasti 300 nm až 920 nm. Ich základnou metrologickou charakteristikou je kvantová účinnosť, ktorá sa skladá z vonkajšej a vnútornej kvantovej účinnosti. Experimentálna procedúra pre vytvorenie vhodného modelu kvantových účinností je predmetom tohoto príspevku.

Kľúčové slová: metrologia, spektorradiometria, fotodióda, TRAP detektor

ÚVOD

Stupnica spektrálneho žiarivého toku je realizovateľná dvoma spôsobmi. Pri prvom spôsobe je základom realizácie, t.j. etalónom, zdroj žiarenia. Tento zdroj generuje pole žiarenia, ktorého spektrálna intenzita je plne popísateľná na základe merania nerádiometrických veličín. Takými etalónmi je model čierneho telesa [1] a synchrotrón [2]. Prvý z nich bol používaný ako etalón pre jednotku svietivosti (čo je v podstate spektorradiometrická veličina) až do roku 1979, kedy bola táto jednotka novo definovaná. Model čierneho telesa je stále používaný ako etalón pre realizáciu teplotnej stupnice pre teploty vyššie ako 962 °C. Druhý spôsob realizácie takejto stupnice je založený na využití interakcie optického žiarenia s hmotou, kedy intenzitu tohoto žiarenia odvodzujeme z merateľnej a kvantifikovanej reakcie hmotného objektu (detektoru) na toto žiarenie. Najstarší princíp takejto realizácie stupnice žiarivého toku predstavuje absolútny rádiometer s elektrickou kalibráciou. Tento rádiometer pracuje ako komparátor tepelného účinku neznámeho výkonu optického žiarenia absorbovaného v detektore s tepelným účinkom známeho elektrického výkonu ktorý je potrebný na realizáciu rovnakého teplotného stavu detektora. Kryogénny rádiometer stelesňujúci tento princíp predstavuje v súčasnosti najpresnejší prostriedok pre realizáciu stupnice žiarivého toku [3]. Štandardné neistoty stupnic žiarivého toku realizovaných kryogénnymi rádiometrami sa pohybujú v ráde stotín per-

centa. Absolútne rádiometre s elektrickou kalibráciou sú obecné konštruované ako neselektívne, t.j. realizujú stupnicu žiarivého toku nezávisle, resp. s minimálnou závislosťou na vlnovej dĺžke žiarenia. Neselektivita je dosahovaná použitím neselektívnych absorpčných materiálov, napr. zlatých černí, ktoré sa prípadne ešte v kombinujú s dutinovým tvarom absorpčnej plochy, ktorá svojím tvarom podporuje absorpciu zvyškového žiarenia prvotne odrazeného od absorpčnej vrstvy. Menej presný variant takéhoto rádiometra predstavuje absolútny rádiometer s elektrickou kalibráciou používajúci pre detekciu teplotného stavu pyroelektrický detektor opatrený absorpčnou vrstvou zlatej černe. Neistota spojená s realizáciou stupnice žiarivého toku s týmto rádiometrom je v rozsahu 0,3 % až 1 % a vyplýva hlavne z neekvivalencie optického a elektrického ohrevu.

Spektorradiometre typu „TRAP“

Technologický pokrok vo výrobe polovodičových štruktúr kremíkových fotodiód viedol k možnosti realizácie spektorradiometrickej stupnice žiarivého toku v spektrálnom rozsahu 300 nm až 920 nm. Realizácia je založená na využití relácie medzi počtom elektrónov N_e , určených z meraného elektrického prúdu I [A] ako $N_e = I / e$, kde e je elementárny náboj, a neznámym počtom fotónov N_f so známou frekvenciou ν [s^{-1}], z ktorého počtu možno odvo-

diť spektrálny žiarivý tok $\Phi(\nu) = N_f \cdot h \cdot \nu$, kde h je Planckova konštanta. Ak teda poznáme kvantovú účinnosť $\varepsilon(\lambda)$ prevodu fotónu na merateľný elektrický náboj, potom pre spektrálny žiarivý tok platí:

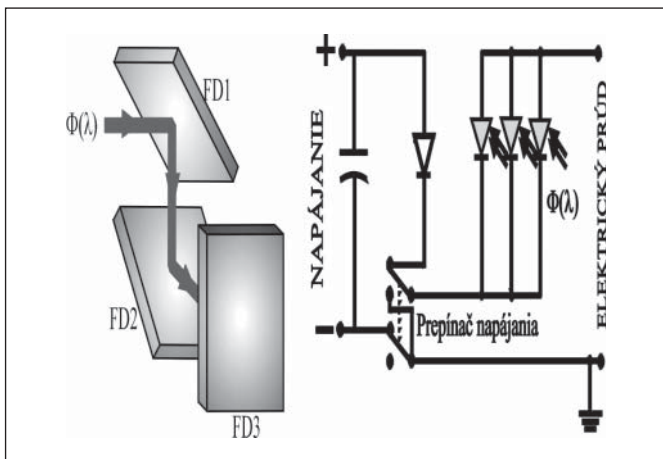
$$\Phi(\nu) = N_f \cdot h \cdot \nu = \frac{N_e}{\varepsilon} \cdot h \cdot \nu = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{I}{e} \cdot h \cdot \nu, \quad (1)$$

čo je možné prepísať do tvaru pre vlnové dĺžky λ :

$$\Phi(\lambda) = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{I}{e} \cdot h \cdot \nu = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{I}{e} \cdot \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (2)$$

kde c je rýchlosť svetla v danom prostredí s indexom lomu $n(\lambda)$, t.j. $c(\lambda) = c_0/n(\lambda)$ kde c_0 je rýchlosť svetla vo vákuu. Pokiaľ uvažujeme, že kombinovaná štandardná neistota merania prúdu je menšia ako 0,1 % a neistota realizácie stupnice vlnových dĺžok v prípade monochromátoru je na úrovni 0,2 nm, čo pre najmenšiu uvažovanú vlnovú dĺžku 250 nm predstavuje neistotu toku na úrovni taktiež menšej ako 0,1 %, potom hlavným zdrojom neistoty realizácie stupnice je hodnota kvantovej účinnosti.

Kvantová účinnosť má niekoľko zložiek. Najväčšou zložkou ktorá redukuje prevod fotónov na nosiče náboja je tzv. vonkajšia kvantová účinnosť ε vyjadrujúca straty fotónov v dôsledku ich odrazu od povrchu fotodiódy. Prostriedkom pre významné zvýšenie tejto kvantovej účinnosti je antireflexná úprava povrchu fotodiódy a usporiadanie niekoľkých fotodiód do tzv. TRAP konfigurácie. TRAP konfigurácia (obr. 1) predstavuje sériové optické, resp. paralelné elektrické zapojenie fotodiód. Teda toky na jednotlivé fotodiódy sa redukovujú v dôsledku efektívnej odraznosti $\rho(\lambda)$ sústavy fotodiód a vyvolávajú celkový prúd úmerný koeficientu $(1-\rho(\lambda))$.



Obr. 1 Geometrická a elektrická schéma TRAP detektoru z troch fotodiód s možnosťou napájania v závernom smere

Vnútrná kvantová účinnosť ε_i vyjadruje straty nosičov náboja v dôsledku rekombinácie. Tieto straty sú výsledkom niekoľkých samostatných rekombinačných procesov ktoré sú spojené so štruktúrou energetických prechodov vo fotodióde. Najvýraznejšie sa prejavujú rekombinácie v dlhovej oblasti spektra, kedy fotón je absorbovaný za hranicou vyprázdnenej zóny a nim generovaný nosič náboja nedosiahne vodivostnú zónu. Tieto rekombinačné straty sa redukovujú rozširovaním vyprázdnenej zóny. Vhodné nastavenie šírky tejto zóny možno dosiahnuť buď už v technologickom procese štruktúrovania fotodiódy, alebo aplikovaním vhodného záporného predpätia až v procese merania. Ďalšie straty nosičov náboja v dôsledku rekombinácie nastávajú v procese absorpcie krátkovlnných fotónov v blízkosti čelného rozhrania fotodiódy, kedy nosiče náboja rekombinujú na rozhraní polovodiča a pasívnej vrstvy na jeho povrchu. Týmto stratám sa čiastočne zabraňuje vytvorením ďalšieho opačne polarizovaného prechodu v blízkosti tohoto rozhrania. Tento prechod odpudzuje minoritné nosiče náboja od rozhrania do vyprázdnenej zóny. Posledným rekombinačným procesom je tzv. Augerova

rekombinácia, pri ktorej je prebytočná kinetická energia po rekombinácii odovzdaná elektrónu. Tento proces je však nevýznamný a jeho príspevok k redukcii nosičov náboja je možné zanedbať. Okrem týchto javov ktoré všetky znižujú kvantovú účinnosť, v spektrálnej oblasti vlnových dĺžok $\lambda \leq 400$ nm sa uplatňuje fotonásobičový efekt, ktorý kvantovú účinnosť významne zvyšuje.

Na základe uvedených javov môžeme vytvoriť model kvantovej účinnosti TRAP detektoru skladajúceho sa z troch fotodiód v tvare:

$$\varepsilon = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_e = \varepsilon_i \cdot [1 - \rho(\lambda)] = \varepsilon_i \cdot \left\{ 1 - \rho_0(\lambda) \cdot [\rho_{45S}(\lambda) \cdot \rho_{45P}(\lambda)]^2 \right\} \quad (3)$$

kde $\rho_0(\lambda)$ je spektrálna odraznosť pre kolmý dopad žiarenia, $\rho_{45S}(\lambda)$ resp. $\rho_{45P}(\lambda)$ je spektrálna odraznosť pre S resp. P polarizáciu a dopad pod 45° uhlom. Pokiaľ uvažujeme, že interná kvantová účinnosť je určená len rekombináciou na rozhraní Si-SiO₂ a rekombináciou v zadnej časti diódy, vyjadrených účinnosťami ε_0 a ε_R , potom pre vnútornú kvantovú účinnosť podľa [4] platí:

$$\varepsilon_i(\lambda) = \frac{\varepsilon_R(\lambda) \cdot \varepsilon_0(\lambda)}{\varepsilon_R(\lambda) + \varepsilon_0(\lambda) - \varepsilon_R(\lambda) \varepsilon_0(\lambda)} \quad (4)$$

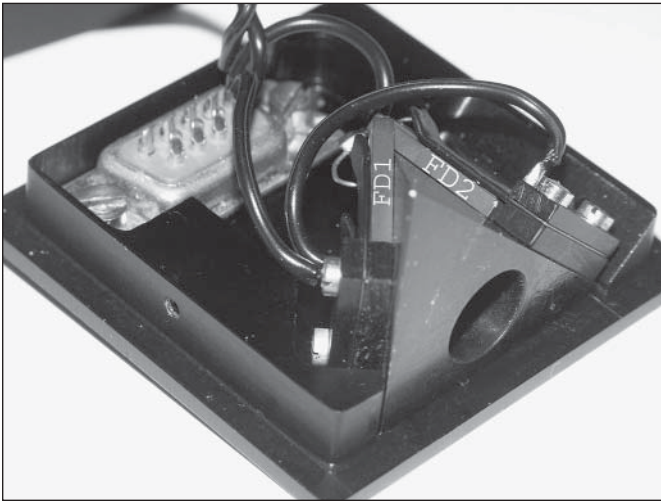
Experimentálne vytvorenie modelu kvantovej účinnosti teda vyžaduje meranie odrazností pre určenie vonkajšej kvantovej účinnosti a merania rekombinačných úbytkov ktoré popisujú vnútornú kvantovú účinnosť.

EXPERIMENTÁLNE PROSTRIEDKY A MODEL EXPERIMENTU

V Slovenskom metrologickom ústave je stupnica žiarivého toku realizovaná pomocou TRAP spektorrádiometra typu QED 200 od firmy United Detector Technology, U.S.A. a pyroelektrického absolútneho rádiometra s elektrickou kalibráciou Rs-5900 od firmy Laser Precision U.S.A.. Spektorrádiometer QED 200 plní funkciu primárneho etalónu žiarivého toku a intenzity ožarovania v spektrálnom obore 400 nm až 720 nm. Rádiometer Rs-5900 je nadviazaný na tento rádiometer v uvedenom spektrálnom obore a umožňuje extrapolovať stupnice v rozsahu 300 nm až 12 000 nm. Ovšem v striktno oficiálnom metrologickom ponímaní, ktoré je založené na medzinárodných porovnávacích meraniach, je jeho oficiálny rozsah obmedzený len na spektrálnu oblasť 300 nm až 1800 nm.

S cieľom ďalšieho rozširovania a spresňovania stupnice žiarivého toku bol v spolupráci s firmou Kvant Bratislava realizovaný spektorrádiometer typu TRAP s tromi fotodiódami. Detektor bol realizovaný ako stavebnica skladajúca sa z dvojice ortogonálne orientovaných fotodiód (označených ako KQ) a samostatnej fotodiódy (označenej ako FD), s možnosťou optického a elektrického pripojenia tejto fotodiódy k zostave KQ. Detektor bol osadený tromi bezokienkovými fotodiódami Hamamatsu S1337. Táto zostava umožnila optimalizovať meracie postupy pre vytvorenie modelu kvantovej účinnosti.

Meranie bolo vykonané v aparátúre pre meranie spektrálnej responzivity detektorov [5] s využitím dvojitého mriežkového monochromátora DTM 300 so spektrálnou pološírkou 2,5 nm. Výstupný zväzok bol na výstupe monochromátora obmedzený kruhovou apertúrou o priemere 4 mm a jeho zbiehavosť po prechode optickou sústavou bola 7° (plný uhol). Sústava detektorov bola umiestnená do optického zväzku tak, že obraz tejto výstupnej apertúry sa vytváral v rovine tretej fotodiódy. Dvojica fotodiód KQ osadená na nosník, kalibrovanej na 45° uhol (obr. 2) bola zapúzdená a ako celok bola umiestnená na univerzálny optický polohovací stôl s piatimi stupňami voľnosti. Týmto sa umožnilo najustovať túto dvojicu fotodiód do optimálnej polohy voči optickému zväzku. Pri justáži bol použitý mikroskop s veľkou pracovnou vzdialenosťou, ktorým bolo možné pozorovať polohu optického zväzku v jednotlivých rovinách sústavy. Do podobného stôlika bola umiestnená aj tretia fotodióda FD, ktorej justáž do optimálnej polohy sa riadila signálom sústavy KQ. Meranie prúdu na jednotlivých častiach bolo vykonané ampérmetrami Keithley typu 6517 a typu 6458.



Obr. 2 TRAP detektor použitý pre uvedené merania

Popísaná zostava umožnila vykonať merania pri konštantnom spektrálnom toku $\Phi(\lambda)$ v týchto konfiguráciách s nasledovnými signálmi:

1. Fotodióda FD je umiestnená do obrazovej roviny optickej sústavy. Pre meraný prúd platí:

$$I_{FD1} = (1 - \rho_0(\lambda)) \cdot \varepsilon_i(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \quad (5)$$

2. Sústava KQ je umiestnená do optického zväzku, tak že obraz výstupnej apertúry sa vytvára v rovine umiestnenia fotodiódy FD. Prúd tejto otvorenej sústavy je:

$$I_{KQ}^{open} = (1 - \rho_{KQ}(\lambda)) \cdot \varepsilon_i(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \quad (6)$$

3. Sústava KQ v predchádzajúcej konfigurácii je uzavretá fotodiódou FD. Prúdy jednotlivých zložiek sú:

$$I_{KQ}^{close} = (1 - \rho_{KQ}(\lambda)) \cdot (1 + \rho_{KQ}(\lambda) \rho_0(\lambda)) \cdot \varepsilon_i(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \quad (7)$$

$$I_{FD2} = \rho_{KQ}(\lambda) \cdot (1 - \rho_0(\lambda)) \cdot \varepsilon_i(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \quad (8)$$

kde je pre zjednodušenie použitá odraznosť dvojice ortogonálnych fotodiód KQ $\rho_{KQ} = \rho_{45S}(\lambda) \rho_{45P}(\lambda)$.

Z takto nameraných signálov môžeme určiť spektrálne charakteristiky charakterizujúce TRAP detektor. Pomer signálov (prúdov) fotodiódy FD, popísaných vzťahmi (5) a (8), určuje odraznosť sústavy KQ

$$\rho_{KQ}(\lambda) = \frac{I_{FD2}}{I_{FD1}} \quad (9)$$

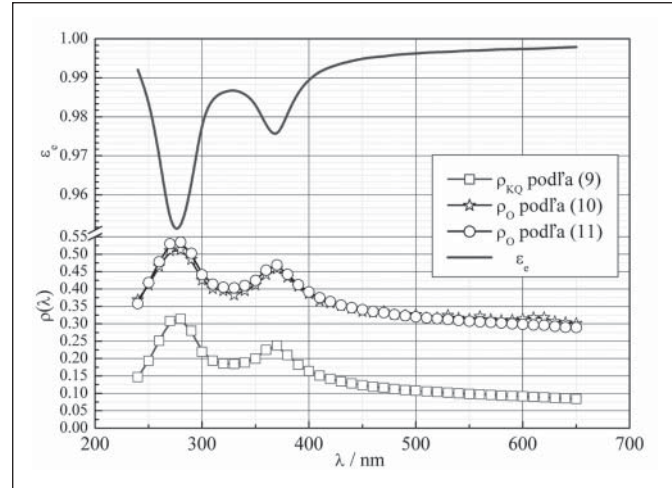
a z pomeru prúdov pre otvorenú (6) a uzavretú (7) sústavu KQ vyplýva odraznosť pre kolmý dopad:

$$\rho_0(\lambda) = \frac{1}{\rho_{KQ}(\lambda)} \cdot \left(\frac{I_{KQ}^{close}}{I_{KQ}^{open}} - 1 \right) = \frac{I_{FD1}}{I_{FD2}} \cdot \left(\frac{I_{KQ}^{close}}{I_{KQ}^{open}} - 1 \right) \quad (10)$$

Pre výpočet odraznosti tretej fotodiódy FD je možné použiť tiež vzťah medzi signálom dvojice fotodiód KQ (7) a signálom tejto fotodiódy (8) v tvare:

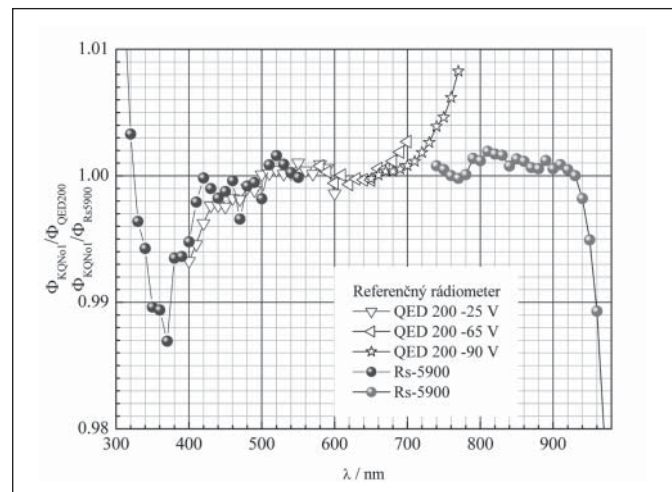
$$\rho_0(\lambda) = \frac{1 - \rho_{KQ}(\lambda) \cdot \left(1 + \frac{I_{KQ}^{close}}{I_{FD2}} \right)}{\rho_{KQ}(\lambda) \cdot \left(\rho_{KQ}(\lambda) - 1 - \frac{I_{KQ}^{close}}{I_{FD2}} \right)} = \frac{1 - \frac{I_{FD1}}{I_{FD2}} \cdot \left(1 + \frac{I_{KQ}^{close}}{I_{FD2}} \right)}{\frac{I_{FD1}}{I_{FD2}} \cdot \left(\frac{I_{FD1}}{I_{FD2}} - 1 - \frac{I_{KQ}^{close}}{I_{FD2}} \right)} \quad (11)$$

Výsledky meraní spektrálnych odrazností jednotlivých častí TRAP detektoru a vonkajšej kvantovej účinnosti sú na obr. 3, kde je tak tiež vidieť rozdiel v hodnotách spektrálnej odraznosti vypočítaných podľa vzťahu (10) a podľa vzťahu (11). Tento rozdiel v hodnotách kolmej spektrálnej odraznosti vzniká v dôsledku zanedbania rozptýleného žiarenia v uzavretej sústave v bilančných rovniciach (7) a (8), ale má však minimálny vplyv na hodnotu vonkajšej kvantovej účinnosti, ako je to ilustrované na obr. 6.



Obr. 3 Spektrálna odraznosť dvojice fotodiód KQ a fotodiódy FD a vonkajšia kvantová účinnosť TRAP detektoru KQNo2

Verifikáciu takto získaného modelu vonkajšej kvantovej účinnosti sa vykonala porovnaním s TRAP detektorom QED200. Jedná sa o detektor zložený z troch ortogonálne usporiadaných kremíkových fotodiód s plochou 300 mm² a s numerickou apertúrou $f/3.0$. Na vstupe sú dve premenné apertúry s plochou 50 mm² a 100 mm². Aby sa znížili straty odrazom, fotodiódy sú opatrené antireflexnou vrstvou. Tieto fotodiódy prejavujú vysoké rekombinačné straty v hĺbke fotodiódy, a preto pre žiarenie s vlnovou dĺžkou v rozsahu 550 nm až 760 nm sa vyžaduje aplikácia záporného predpätia od -10 V do -90 V. Na základe údajov pre tento rádiometer [6] a na základe našich meraní možno predpokladať, že jeho celková kvantová účinnosť v rozsahu 400 nm až 720 nm je $\varepsilon_{QED}(\lambda) = (0,9985 \pm 0,0005)$. Pre spektrálnu oblasť 240 nm až 400 nm a 740 nm až



Obr. 4 Porovnanie rádiometra KQNo2 s rádiometrom QED 200 a pyroelektrickým rádiometrom Rs-5900. Pre rádiometer QED 200 boli použité záverné napätia vyznačené v legende a na porovnaní je vidieť ich vplyv na vnútornú účinnosť

1050 nm, kde vnútorná kvantová účinnosť rádiometra QED 200 je nedostatočná, bol pre verifikačné merania použitý pyroelektrický absolútny rádiometer Rs-5900, ktorého spektrálna selektivita v danom rozsahu je menšia ako 0,2 % [7]. Tento rádiometer bol okalibrovaný v použitej spektrometrickej aparátúre za pomoci rádiometra QED200 v spektrálnom rozsahu 550 až 700 nm. Výsledky verifikácie v tvare pomerov spektrálnych žiarivých tokov sú na obr. 4.

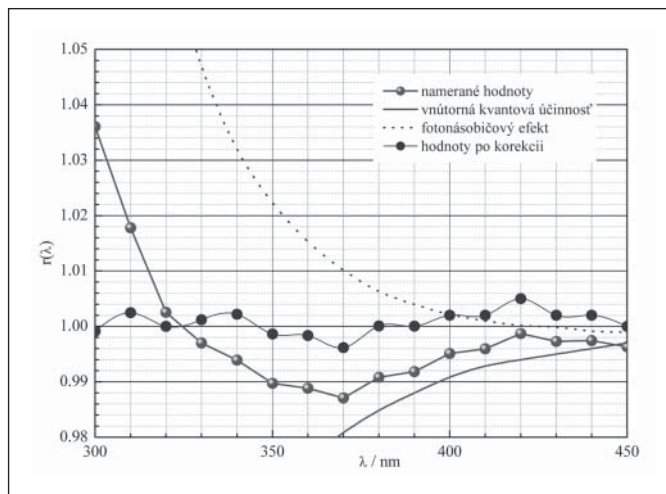
Z uvedených výsledkov vyplýva, že TRAP detektor zložený z fotodiódy FD a dvojice fotodiód KQ (označený ako KQNo1) vykazuje v meraných spektrálnych oblastiach 250 nm až 450 nm a 920 nm až 970 nm významné odchýlky od ideálnej spektrálnej responzivity, a to aj po korekcii na vonkajšiu kvantovú účinnosť. V detaile spektrálnej charakteristiky v rozsahu 250 nm až 450 nm je možné identifikovať pokles spektrálnej responzivity spôsobený dominantným poklesom vnútornej kvantovej účinnosti ϵ_i a jej vzostup spôsobený prevládajúcim fotonásobičovým efektom popísaným účinnostným koeficientom $\eta(\lambda)$. Vhodným matematickým modelom pre popis oboch javov (ad hoc) sú spektrálne závislosti v tvare:

$$\epsilon_i(\lambda) = A + a \cdot \exp\left(-\frac{\lambda}{b}\right) \quad (12)$$

a

$$\eta(\lambda) = \left[B + c \cdot \exp\left(-\frac{\lambda}{d}\right) \right]^{-1} \quad (13)$$

kde A a B sú limitné hodnoty pre oba javy. Exponenciálny tvar v oboch popisoch rešpektuje fyzikálny jav absorpcie žiarenia. Koeficienty pre oba popisy sa získali interpoláciou nameraných hodnôt metódou najmenších štvorcov v rozsahu 290 nm až 440 nm a pri zavedení predpokladu, že $A = 1,0015$ a $B = 1,000$. Výsledky merania a ich interpolácia sú na obr. 5.

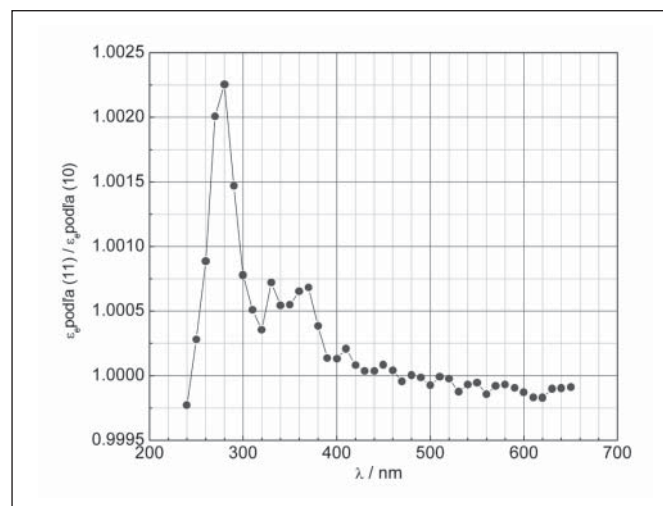


Obr. 5 Relatívna spektrálna responzivita TRAP detektoru KQNo1 voči rádiometru Rs5900 pred a po korekcii modelom vnútornej kvantovej účinnosti a fotonásobičového efektu

ZÁVER

Meraním na sústave TRAP detektoru skladajúcej sa z dvojice ortogonálnych fotodiód a doplnenej oddeliteľnou treťou fotodiódou bol vytvorený model vonkajšej kvantovej účinnosti. Tento spôsob predstavuje alternatívu vytvorenia modelu na základe jed-

notlivých meraní spektrálnych odrazností fotodiódy v oboch polarizačných smeroch a v oboch geometriách, t.j. pre uhol dopadu 45° a 0° , kde hlavne meranie odraznosti pre kolmý dopad predstavuje pomerne komplikovaný experiment. Takto vytvorený model vonkajšej kvantovej účinnosti v spektrálnej oblasti 450 nm až 900 nm je charakterizovaný štandardnou neistotou 0,05 %. V spektrálnej oblasti 300 nm až 450 nm resp. 900 nm až 950 nm bol tento model doplnený na základe merania s neselektívnym pyroelektrickým rádiometrom o vplyv vnútornej kvantovej účinnosti a vplyv fotonásobičového efektu. Toto doplnenie umožňuje korigovať výsledky merania spektrálneho žiarivého toku v uvedenom spektrálnom rozsahu s použitým etalónovým rádiometrom typu TRAP so štandardnou neistotou 0,2 %.



Obr. 6 Pomer vonkajších kvantových účinností vypočítaných s použitím spektrálnej odraznosti podľa vzťahu (10) resp. podľa vzťahu (11)

Literatúra

- [1] Sapritsky, V.I.: Black-body radiometry, Metrologia, **32**, 1996, č. 6, s. 411-418
- [2] Ulm, G.: Radiometry with synchrotron radiation, Metrologia, **40**, 2003, č. 1, s.101-S106
- [3] Gentile, T. R., Houston, J. M., Hardis, J. E., Cromer, C. L., and Parr., A. C.: National Institute of Standards and Technology high-accuracy cryogenic radiometer, Applied Optics, **35**, 1996, č. 7, s. 1056 - 1068
- [4] Zalewski, E. F., Geist, J.: Silicon photodiode absolute spectral response self-calibration, Applied Optics, **19**, 1980, č. 8, s. 1214-1216
- [5] Nemeček, P., Nemeček, R.: Kalibrácia optických spektrometrov, Jemná mechanika a optika, **47**, 2002, č. 3, s. 74 - 78
- [6] Zalewski, E. F., Duda, C. R.: Silicon photodiode device with 100 % external quantum efficiency, Applied Optics, **22**, 1983, č. 18, s. 2867 - 2873
- [7] Doyle, W. M., McInthosh, B. C.: Implementation of a system of optical calibration based on pyroelectric radiometry, Optical Engineering, **15**, 1976, č. 6, s.541 - 548

Automat Kassandra na třídění valivých ložisek s jemnými vadami

Článek pojednává o vyhodnocení signálu vibrací valivých ložisek pro výstupní kontrolu jejich jakosti ve výrobě se zaměřením na jemné a náhodné vady těchto ložisek. Měření se opírá o německou normu DIN 5426-1 (Juli 1995), americkou normu ANSI/AFBMA Standard 13 1987 a je přihlédnuto k doporučení nově vznikajících norem ISO. V článku se popisuje použití signálového procesoru k filtraci signálu a identifikaci počtu vznikajících špiček v signálu. Signálový procesor je napojen na průmyslový počítač PLC. Zvláštní pozornost je v článku věnována programování signálového procesoru. Uvedené poznatky byly odzkoušeny v automatu, který třídí ložiska do třech jakostních tříd ve výrobním závodě valivých ložisek.

1. ÚVOD

V hromadné výrobě valivých ložisek je automatická výstupní kontrola samozřejmostí. I když technologie valivých ložisek je na vysoké úrovni včetně kontroly, může konečná montáž ložiskových součástí, namazání trvalou náplní plastického maziva a následné zakrytování významně ovlivnit výslednou jakost valivého ložiska. Takto připravená ložiska jsou dodávána např. do domácích elektrospotřebičů atp. Pak i nečistoty malých rozměrů s bezvýznamným vlivem na životnost ložiska mohou způsobit nespokojenost zákazníka s konečným výrobkem, protože jemné nečistoty se projevují u velmi tichého ložiska nepravidelným zvukem – subjektivně vnímaným jako „praskání“. Je paradoxní, že celkově zvýšený, pravidelný, ložiskový šum větších amplitud (s vyšší střední hodnotou) je lidským uchem přijímán příznivěji než občasné „praskání“ ložiska s nízkými amplitudami. Problém tedy spočívá v nepravidelnosti chodu valivého ložiska, v určitém rozsahu nezávisle na absolutní velikosti ložiskového šumu. Zvyšováním jakosti povrchu ložiskových součástí se zvyrazňuje vliv těchto jemných nečistot, a tak se zvyšují nároky na technologii praní, manipulaci atp.

Podle doporučení norem DIN, ANSI/AFBMA a připravovaných norem ISO jsou měřeny vibrace valivého ložiska za podmínek, které tyto normy určují. Velikost středních hodnot ložiskového šumu a špičkových hodnot („praskání“) vibrací není normami předepsána. Stanovení jakostních mezí pro tyto parametry je tudíž záležitostí dohody mezi výrobcem a odběratelem. Pro běžné i speciální odběratele zajišťují výrobci jakost valivých ložisek interními předpisy, kde jsou jakostní meze stanoveny s ohledem na rozdílné požadavky.

V článku popisovaný automat Kassandra splňuje normalizované podmínky včetně ISO (jeden z autorů je členem skupiny, která normy tvoří) a je konstruován na přání zákazníka právě s ohledem na zjištění jemných nepravidelností chodu a následné vytřídění ložiska. Avšak tříděním se musí dosáhnout určitý kompromis mezi ještě vyhovujícím ložiskem (přijatelná nepravidelnost chodu) a počtem vyřazených ložisek, aby se dosáhlo vysoké produkce pro tohoto náročného zákazníka. Pro výrobce je to zajímavý úkol, protože lze optimálním odhadem jakostních mezí dosáhnout požadované jakosti pro daného odběratele bez nároku na další investice do technologie.

Automat vznikl za významné podpory firmy MESING, spol. s r.o., Brno a je dílčí částí systému kontroly a řízení jakosti pro ložiskové podniky firmy AQUASTYL SLOVAKIA.

2. POPIS AUTOMATU

V koncepci automatu byl kladen důraz na pečlivou izolaci měření od okolních vibračních zdrojů výrobní linky, měřících míst navzájem a minizáběhu ložiska. Izolace se dosáhlo použitím „seismické hmoty“ a pryžových prvků. Automat se skládá ze 4 vřeteníků: 2 vřeteníky pro měření a 2 vřeteníky pro minizáběh, vždy při zatížení ložiska v axiálním směru v obou smyslech.

V automatu byl poprvé použit tzv. minizáběh ložiska během 1 pracovního cyklu. Krátkodobým záběhem se mazivo v ložisku

stejně rozloží, a tak se při měření vyloučí „praskání“, které není způsobeno nečistotami, ale nedostatečným promícháním maziva po montáži ložiska.

Ložiska vstupují do automatu z mezizásobníku, který je částí výrobní linky. Indukčností snímačem zjištěné ložisko na vstupu automatu odstartuje automatický cyklus:

- ložisko je nasunuto na podávací lištu
- z lišty je ložisko přemístěno na vřeteno minizáběhu a roztočeno na otáčky 3000 za minutu při axiálním směru zatížení v jednom smyslu
- přemístěním ložiska na lištu a na další vřeteno se minizáběh opakuje v druhém smyslu axiálního zatížení
- pomocí lišty je ložisko nasunuto na měřicí vřeteník a při otáčkách 1800 za minutu a axiálním zatížení jsou změřeny vibrace a uloženy do paměti průmyslového počítače
- na dalším vřeteníku se měření opakuje při zatížení v opačném smyslu po přemístění lištou na tento vřeteník
- nejvyšší naměřené vibrace se porovnávají s předem zadanými mezemi v počítači pro příslušnou jakostní třídu
- ložisko je vytříděno do 1 ze 3 jakostních tříd: nejlepší ložiska (1. třída) jsou vysunuta na pás výrobní linky a po zabalení expedována, ostatní ložiska jsou vysunuta na palety a jsou expedována nebo opravována podle interních předpisů výrobce.

Pro jednoduchost, odolnost a nízkou hmotnost se ke snímání vibrací používá snímač zrychlení. Avšak vzhledem ke sledovanému frekvenčnímu pásmu (cca 50 Hz – 10 kHz) se signál převádí integrací na vibrace v rychlosti. Výkon signálu může být velmi nízký, a tak se užívá jednotek mikrometr/sec. Snímač musí být dobře uložen, vyosení snímače do 3° je povoleno jako maximum. Přítlak snímače na ložisko má být poněkud větší, než je setrvačná síla vibrujícího ložiska, aby nedocházelo k odsakování snímače od ložiska nebo k přílišnému zatlumení velkým přítlakem. Dále je třeba zamezit kontaktním rezonancím mezi kulovým dotykem snímače a vnějším kroužkem ložiska. Např.: je-li poloměr koule 1 mm, síla 5 N a hmotnost 10 g, pak kontaktní rezonance je 4 kHz, což je nepřijatelné vzhledem ke sledovanému frekvenčnímu pásmu. Frekvenční charakteristika snímače musí být plochá od 50 Hz do 10 kHz.

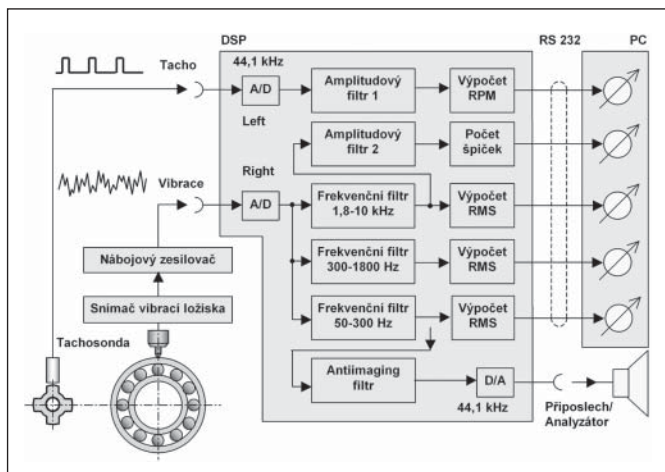
Vřeteník definuje polohu a otáčky ložiska při měření. Skládá se z vlastního vřeteníku, podstavce, základové desky, spojky a elektromotoru. Používá se kluzné uložení vřetena s velmi přesným provedením, zvláště axiálních ložisek. Nejdůležitějším parametrem vřeteníku je klidný chod bez značného oteplení v dlouhodobém provozu. Házení vřeteníku je povoleno do 3-5 mikrometrů (podle směru měření). Axiální přítlak na vřeteník /ložisko/ musí být v přísné toleranci z hlediska vyosení: do 3 úhlových minut. Velikost síly může být v toleranci až 10 %.

Vibrace se vyhodnocují ve třech frekvenčních pásmech efektivní hodnotou signálu (RMS – Root Mean Square) a špičkovými hodnotami, které lze charakterizovat amplitudou a počtem za časovou jednotku. Všechny uvedené veličiny jsou posuzovány z hlediska překročení mezí pro tři jakostní třídy. Tyto třídy jsou

dále rozděleny na devět podtříd, aby se histogramem mohl znázornit vývoj jakosti v jednotlivých třídách (např. jestli se nezvětšuje četnost podtříd, která sousedí s jakostní mezí). Pro nejběžnější velikosti ložisek jsou normami předepsány dílčí frekvenční pásma, a to 50 až 300 Hz, 300 Hz až 1800 Hz a 1k8 Hz až 10 kHz. Popisovaný automat je vybaven nářadím na jednořadá kuličková ložiska velikosti 6202, avšak může být rychle přestaven na blízké velikosti do rozměru 6305 výměnou nářadí.

3. VYHODNOCENÍ VIBRACÍ LOŽISEK NA ÚROVNI SIGNÁLOVÉHO PROCESORU

Jak již bylo uvedeno, hodnocení vibrací spočívá ve výpočtu efektivních hodnot z normou předepsaných frekvenčních pásem signálu rychlosti a detekce špiček. Vlastnosti pásmových filtrů předepisuje německá norma DIN 5426-1 (Juli 1995) a americká norma ANSI/AFBMA Standard 13: 1987. Tolerance frekvenční charakteristiky téměř vylučují použití analogových filtrů. Podobně nelze jednoduše vyhodnocovat analogově přítomnost špiček v analogovém signálu. Proto bylo rozhodnuto realizovat filtr číslicový. Vhodným prostředkem je signálový procesor (DSP). Funkční schéma vyhodnocovacího zařízení je uvedeno na obr. 1.

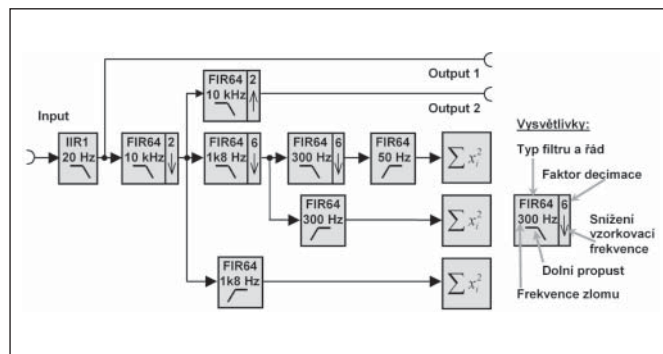


Obr. 1 Funkční schéma zařízení k vyhodnocení vibrací ložisek

Vzhledem k návaznosti na již vyrobené diagnostické přístroje byl vybrán signálový procesor ADSP 2181 s pevnou řádovou čárkou vyráběný firmou Analog Devices z USA. Procesor je 16bitový a jeho operační rychlost je 33 MHz. V provedení kit obsahuje také codec s dvoukanalovým (Left/Right) A/D a D/A převodníkem. Převodníky jsou až 16bitové a maximální vzorkovací frekvence je až 48 kHz. Z důvodu přechodového pásma antialiasingového filtru převodníku A/D byl zvolen rozsah do 20 kHz, což znamená, že vzorkovací frekvence je 44,1 kHz. Před převodníkem je v codecu analogový zesilovač s nastavitelným ziskem až 22,5 dB. Signálový procesor může komunikovat s průmyslovým počítačem (PLC) prostřednictvím sériového spojení RS 232. Obvod UART je emulován podprogramem DSP. Na desce kitu je také paměť typu ROM, do které lze umístit program, který se při připojení napájecího napětí automaticky zavade do paměti programu DSP.

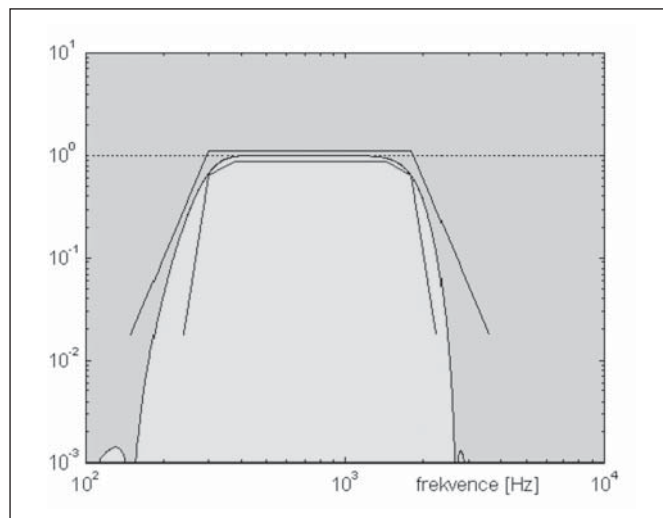
Pro měření vibrací je použit snímač zrychlení. K převodu na rychlost je zapotřebí integrace. Jako integrátor byl použit filtr prvního řádu s frekvencí zlomu 20 Hz. Tato frekvence zlomu je dostatečně vzdálená od začátku nejnižšího frekvenčního pásma (50 Hz) a zbytečně nezesiluje stejnosměrný drift snímače zrychlení a A/D převodníku. Použitý filtr je tedy s nekonečnou impulsní odezvou (IIR – Infinity Impulse Response). Řád je označen zkratkou IIR 1. Rozhodujícím prvkem měřicího řetězce jsou pásmové filtry. K jejich realizaci byly zvoleny filtry s konečnou odezvou (FIR – Finite Impulse Response) jednotného řádu 64. Pásmové filtry jsou složeny z horní a dolní propusti. Nejlépe se kontroluje průběh

frekvenční charakteristiky filtru, jestliže frekvence zlomu není blízká nulové frekvenci, ale je aspoň desetinou vzorkovací frekvence. Pásmové filtry byly proto realizovány jako tzv. multirate filtry, tj. filtry s několika vzorkovacími frekvencemi. Nejprve je třeba snížit vzorkovací frekvenci na polovinu hodnoty 44,1 kHz, tj. 22,05 kHz. Antialiasingový filtr před decimací byl koncipován tak, aby určoval horní hranu pásmového filtru 1,8 kHz a 10 kHz, samozřejmě, že koeficienty filtru jsou dosazeny v závislosti na tom, zda se filtruje podle americké nebo německé normy. Spodní hranu filtru 1,8 kHz a 10 kHz určuje horní propust s frekvencí zlomu 1,8 kHz. Spodní hrana filtru 300 až 1800 Hz je šestinou frekvence zlomu 1,8 kHz. Pro středofrekvenční pásmovou propust je vzorkovací frekvence 22,05 kHz snížena šestkrát. Antialiasingový filtr před decimací je horní propust s frekvencí zlomu 1,8 kHz. Stejně řešení je použito pro nízkofrekvenční pásmo 3000 až 1800 Hz. U výstupních signálů popsaných filtrů je třeba vyhodnotit efektivní hodnotu. Protože měření je startováno a ukončováno z průmyslového počítače, je v intervalu vzorkování vytvářen jen součet čtverců vzorku a průběžně je počítán jejich počet pro každý výstup pásmového filtru. Blokové schéma pásmových filtrů a integrátoru je na obr. 2. Pro příposlech ve formě analogového výstupu DSP je volen frekvenční rozsah do 22,05 kHz a do 10 kHz. U pásma do 10 kHz je třeba zvýšit vzorkovací frekvenci z 22,05 kHz na 44,1 kHz a signál tvarovače nultého řádu (vkládají se vzorky se stejnou hodnotou) upravit anti-aliasingovým filtrem.

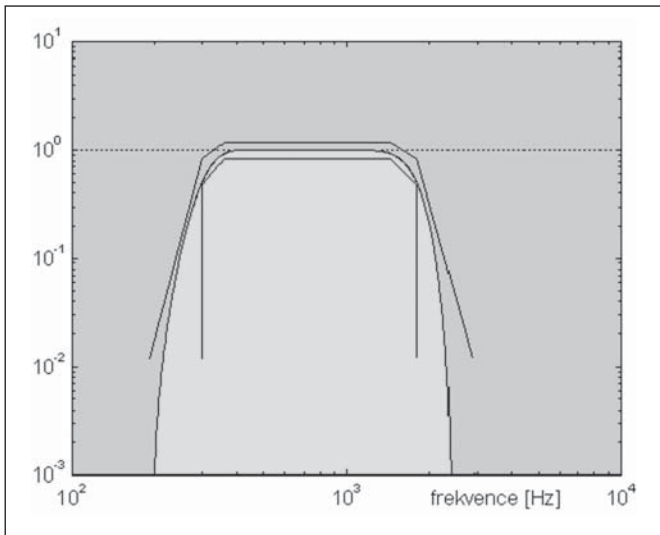


Obr. 2 Blokové schéma multirate pásmových filtrů a integrátoru

Signálový procesor pracuje s pevnou řádovou čárkou, tj. se znaménkovým bitem a 15 bity samotného čísla. Některé operace (integrace) jsou zpřesněny na dvojnásobnou přesnost. Zvláštní péče byla proto věnována návrhu FIR filtrů tak, aby i koeficienty ulože-



Obr. 3 Frekvenční charakteristika pásmového filtru s tolerančními mezemi podle německé normy DIN 5426-1



Obr. 4 Frekvenční charakteristika pásmového filtru s tolerančními mezemi podle americké normy ANSI/AFBMA 13-1987

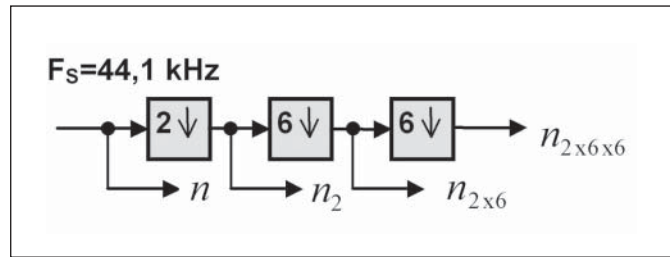
né v paměti s uvedenou přesností daly frekvenční charakteristiku v rámci povolených tolerančních mezí. Výsledek návrhu je dokumentován amplitudovou frekvenční charakteristikou na obr. 3 a 4. Protože po další decimaci s faktorem 6 je u filtru 50 až 300 Hz shodný poměr k aktuální vzorkovací frekvenci s filtrem 300 až 1,8 kHz, je také frekvenční charakteristika shodná. Horní propust nad 1,8 kHz určuje spodní mezní frekvenci pásmového filtru 1,8 až 10 kHz.

Při přijetí povelu z průmyslového počítače (PLC) k ukončení a vyhodnocení měření je vyhodnocena efektivní hodnota signálu jako podíl odmocniny součtu čtverců vzorků a odmocniny počtu příslušných vzorků.

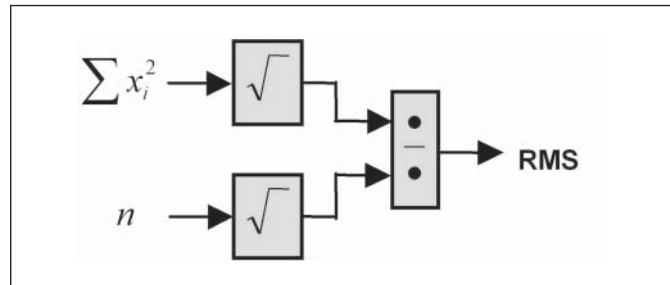
Ke stanovení počtu špiček nebo frekvence otáček je třeba amplitudového filtru. Jeho řešení spočívá ve stanovení počtu přechodů vybrané hladiny signálu. Princip vyplývá z popisu na obr. 7.

4. VYHODNOCENÍ VIBRAČÍ LOŽISEK NA ÚROVNI PLC

Funkce signálového procesoru v zařízení pro kontrolu jakosti ložisek byly popsány v předcházející kapitole. Signálový procesor komunikuje prostřednictvím sériového spojení s nadřazeným průmyslovým počítačem (PLC – Programable Logic Controller). Komunikační protokol je velmi jednoduchý. Počítač posílá jen jeden příkaz a čeká na jeho odezvu, která spočívá v potvrzení přijetí příkazu nebo vyslání žádaného objemu naměřených dat. Jejich zpracování je naprogramováno v prostředí průmyslového počítače.



Obr. 5 Výpočet počtu vzorků

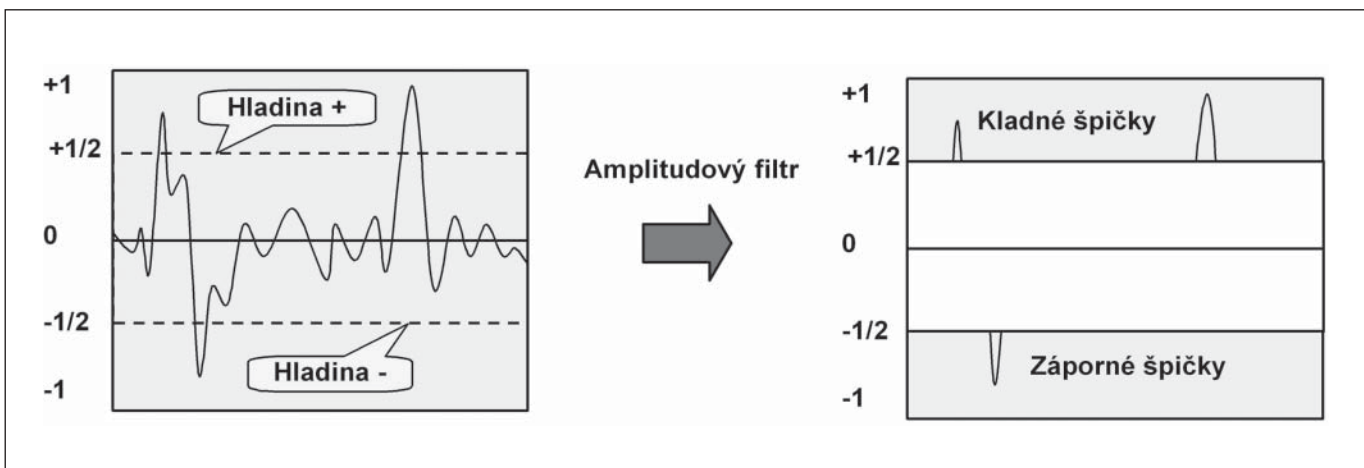


Obr. 6 Výpočet efektivní hodnoty

Základní úlohou je ovládání spouštění a zastavování měření DSP včetně kontroly nastaveného měřicího rozsahu A/D a jeho cejchování. Výstup integrátoru musí být rovněž pod kontrolou pro využití rozsahu aritmetických operací v pevné řádové čárce. Naměřené výsledky se porovnávají s přednastavenými mezemi a začleňují do tolerančních pásem. Veškeré nastavení podmínek měření v signálovém procesoru a PLC je ukládáno do databáze včetně naměřených dat. Pro řízení a konečné vyhodnocení měření byl použit průmyslový počítač a displej s klávesnicí firmy FESTO.

5. TŘÍDĚNÍ LOŽISEK

V případech, kdy jsou jakostní třídy v prostoru parametrů oddělitelné (velikost prostoru podle počtu parametrů), lze využít získaných údajů měřením a expertním odhadem pro zařazení hodnoceného ložiska do jakostní třídy, a tak vytvořit vzorové množiny (trénovací množiny). Tyto množiny se použijí pro odvození rozhodovacího pravidla „klasifikátor“ – tzv. fáze učení. Obtížnost při určování tříd a parametrů se promítne pouze do fáze učení. Po naučení klasifikátor (automat) třídí ložiska na základě rychle zjištěných hodnot parametrů bez zásahu obsluhy. Učení a rozhodování klasifikátoru je možné jednoduše znázornit na příkladu třídění do dvou tříd pomocí diskriminačních funkcí za těchto předpokladů:



Obr. 7 Amplitudový filtr

- vektory středních hodnot obou tříd nejsou shodné
- v každé třídě je základní soubor normálně rozdělen
- ztráty vzniklé chybným přiřazením jsou jednotkové
- riziko chybné klasifikace je hodnoceno tzv. kriteriem minimální chyby.

Pak je možné sestavit rozhodovací pravidlo klasifikátoru z rozdílu diskriminačních funkcí:

$$P_A p_A(x) - P_B p_B(x)$$

Kde

- o třídě rozhoduje znaménko rozdílu: + třída A, - třída B
- P je apriorní pravděpodobnost výskytu příslušné třídy (odhaduje se na základě zkušeností s jakostí výroby a po delší době třídění s novými mezemi bez reklamací se zpřesňuje pomocí relativních četností tříd)
- p je podmíněná hustota pravděpodobnosti výskytu x v příslušné třídě (odvozuje se ve fázi určení klasifikátoru z trénovací množiny)
- x je vektor parametrů hodnoceného ložiska

Měřením vybraných vzorků ložisek pro trénovací množinu se zjistilo, že daný úkol, zjištění jemných náhodných vad, řeší nejlépe špičkové hodnoty získané amplitudovým filtrem a také nejvyšší frekvenční pásmo 1,8 až 10 kHz, které souvisí s ložiskovým šumem vyvolaným větším množstvím špičkových hodnot. Ostatní normalizovaná frekvenční pásma se uplatňují pouze při výskytu ojedinělých hrubších vad. Jak bylo zmíněno v úvodu, je nutné zjistit minimální amplitudu špiček relativně ke střední hodnotě signálu (RMS). Proto se zavádí další parametr, kterým je HLADINA jako násobek RMS. Počet špiček překračující za jednu sekundu tuto hladinu pak definuje parametr nazvaný „Špičky“. Z měření expertně vybraných vzorků ložisek vyplynulo, že je třeba zavést tři „špičkové“ parametry:

1. Dolní špičky – počet hodnot signálu překračující spodní hladinu
2. Horní špičky – počet hodnot signálu překračující některou z horních hladin
3. Max. špička – signál, který překročí nebo dosáhne maximální hladinu.

Dolní špičky identifikují relativně málo slyšitelné vady, ale s častým nepravidelným výskytem. Horní špičky zachycují vady méně časté, ale slyšitelné. Současně se připouští malý počet těchto špiček, který bývá někdy způsoben dokončením minizáběhu maziva. Max. špička je nepřijatelná, i když je ojedinělá. Tato vada se může projevit později jako hrubá nečistota atp.

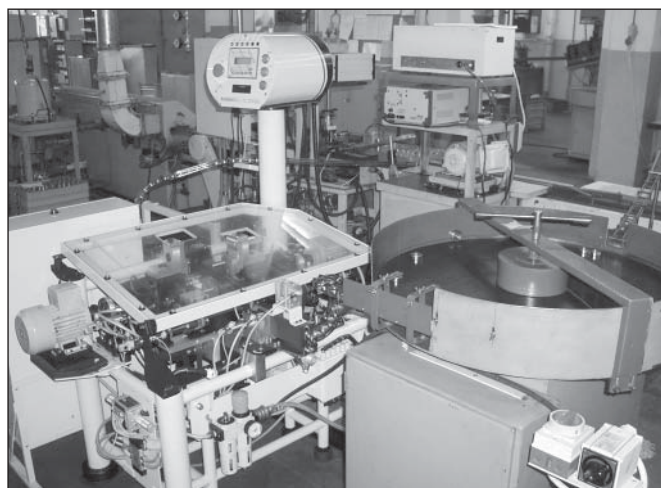
6. ZÁVĚR

Z článku vyplývá, že pro identifikaci jemných náhodných vad valivých ložisek je potřeba rozšířit vyhodnocování podle normalizovaných třech frekvenčních pásem o analýzu impulzního šumu v signálu vibrací (určení počtu špičkových hodnot, které překračují zadané hladiny). I když pracnost odvození jakostních mezí s počtem parametrů narůstá, při třídění po odladění se postupuje podle jednoduchých pravidel.

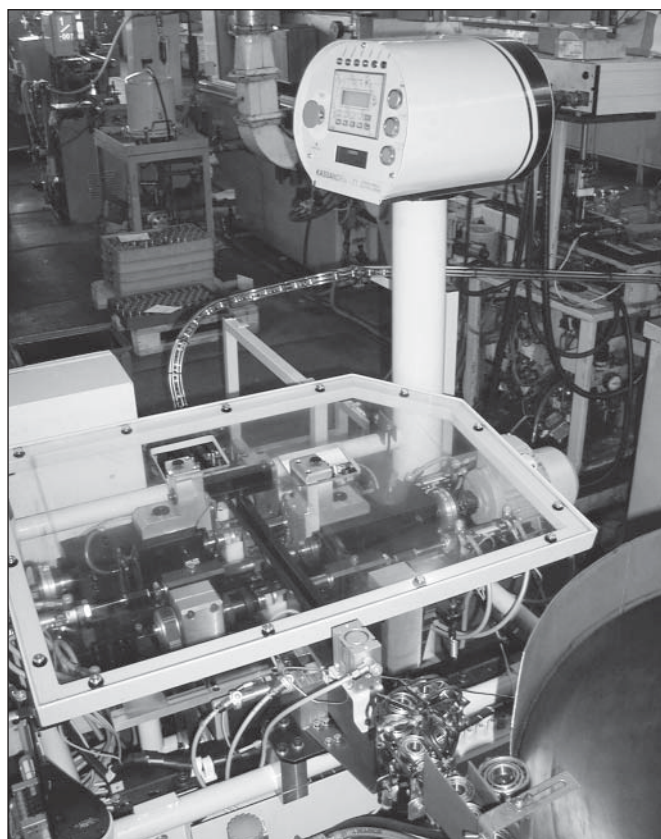
Ukazuje se výhodnost použití 2 kanálového signálového procesoru firmy Analog Devices pro hlavní zpracování signálu vibrací integrací a frekvenční a amplitudovou filtrací před konečným rozhodováním a řízením průmyslovým počítačem. Po nastavení frekvence otáček se druhý kanál využívá na současné měření na druhém vřeteníku automatu. Kompletním číslicovým zpracováním signálu (včetně integrace) se zvýšila stabilita systému v dlouhodobém provozu. Dále se zjednodušilo odladění amplitudových filtrů pro splnění speciálních požadavků výrobců valivých ložisek na třídění neobvyklých, jemných a náhodných vad při současném zachování vysoké produkce valivých ložisek.

V článku uvedené poznatky byly odzkoušeny během dvouletého provozu v automatu na třídění valivých ložisek do třech jakostních tříd a devíti podtříd.

Ing. Jaromír Ber, CSc., Diagnostika strojů, Mariánské nám. 1, 617 00 Brno 17, tel./fax: 545 129 424, e-mail: jber@volny.cz
 prof. Ing. Jiří Tůma, CSc., VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra ATR, tř. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: 596 993 482, fax: 591 234 567, e-mail: jiri.tuma@vsb.cz



Obr. 8 Automat Cassandra ve výrobní lince valivých ložisek



Obr. 9 Automat Cassandra – detail

Literatura

- [1] American National Standard, AFBMA Standard 13-1987, Rolling Bearing Vibration and Noise (Methods of Monitoring), American National Standards Institute, Inc.
- [2] Deutsche norm, DIN 5426-1, Wälzlager, Laufgeräusche von Wälzlagern, Teil 1: Verfahren zur Messung des Körperschalls.
- [3] Tůma, J. – Ber, J.: Příspěvek o diagnostice. In: Sborník mezinárodní konference "Diago 2002", Ostrava 2002, s. 12 – 13, ISBN 80-1234-567-8.
- [4] Kotek, Z. aj.: Adaptivní a učící se systémy, Praha, SNTL, ALFA 1980, s. 372.

Jednoduché měření geomagnetického pole

Sledování intenzity geomagnetického pole nám umožňuje získat další cenné údaje o Zemi, ale i informace o tom co se děje v jejím okolí, jelikož geomagnetické pole je ovlivňováno i z kosmického prostoru. Cílem práce bylo změřeni velikosti a směru vektoru magnetické indukce geomagnetického pole pomocí co nejjednodušších, běžně dostupných prostředků.

ÚVOD

Sluneční aktivita společně s geomagnetickou aktivitou ovlivňuje počasí na naší planetě Zemi. V poslední době se geomagnetické aktivity přičítá i vliv na obyvatelstvo, zejména co se týče psychiky. Pravidelné měření charakteristických veličin geomagnetického pole umožňuje vytvoření modelu, pomocí kterého bude možné nejen zpřesnit předpovídání počasí, ale i zjišťovat změny, které se dějí pod zemským povrchem, a tak předpovídat zemětřesení, sopečné i jiné geofyzikální jevy apod.

V současnosti nejpoužívanějšími typy zařízení pro měření geomagnetického pole jsou protonové magnetometry a "fluxgate" magnetometry. Protonové magnetometry jsou použitelné pouze pro absolutní měření (tj. lze s nimi měřit pouze velikost a nikoliv směr) magnetického pole. Pro měření, kde potřebujeme znát i směr, jsou vhodné "fluxgate" magnetometry. Přesnost obou těchto zařízení (přibližně 0,1 nT) je však vykoupena jejich složitostí (a tím i vysokou cenou).

Naše níže uvedené měření vlastností magnetického pole je podstatně jednodušší, ale o něco méně přesné. Jeho principem je zjištění směru vektoru magnetické indukce magnetického pole vzniklého superpozicí geomagnetického pole a na něj kolmého referenčního pole.

STŘELKA

Ideální kompasová střílka pohyblivá ve všech směrech ukazuje směr vektoru magnetické indukce procházející daným místem měření. Reálná střílka je vlastně velmi lehký magnet, který je umístěn v těžišti na závěsu (např. hrotu), jehož tření se snažíme minimalizovat pro dosažení co nejrychlejší a nejcitlivější odezvy magnetky při případné změně směru vektoru magnetické indukce.

Pro zjednodušení experimentální soustavy se běžně nepoužívá střílka pohyblivá ve všech směrech (např. na kloubovém závěsu), ale dvě střílky pohyblivé pouze každá v jedné rovině, přičemž jejich roviny pohybu jsou navzájem kolmé. To nám umožňuje změřit horizontální a vertikální složku vektoru magnetické indukce, jejichž vektorovým součtem lze získat vektor magnetické indukce.

VELIKOST MAGNETICKÉ INDUKCE

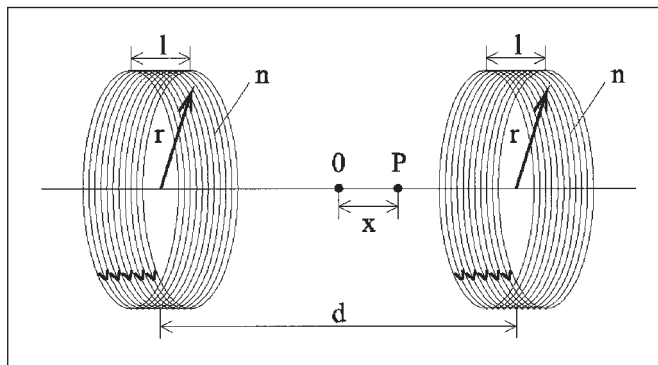
Pomocí magnetické střílky můžeme velmi snadno zjistit směr vektoru magnetické indukce, avšak velikost tohoto vektoru musíme zjistit poněkud komplikovanějším způsobem. Známe-li směr vektoru magnetické indukce (získáme jej např. pomocí střílky kompasu), tak lze pomocí měření síly působící na střílku (při vychýlení z rovnovážné polohy) získat velikost magnetické indukce v daném místě. Přímé měření síly není vhodné pro měření slabých polí z důvodu působení pouze slabých sil, které jsou na hranici měřitelnosti.

Pro měření je výhodnější vytvořit homogenní referenční magnetické pole, které má odlišný směr od pole měřeného a u kterého známe velikost magnetické indukce. Pomocí změřeni směru výsledného vektoru magnetické indukce (měřené pole se s referenčním polem skládá) a ze znalosti směru původního magnetického pole lze zpětně vypočítat intenzitu magnetického pole v daném místě.

Pro co nejjednodušší měření a snadný výpočet je výhodné použít zdroje magnetického pole o regulovatelné hodnotě magnetické indukce, jejíž vektor je kolmý na vektor původní magnetické indukce v měřeném místě. Jejich absolutní hodnoty magnetické indukce v dané rovině totiž budou stejné, dosáhneme-li regulací intenzity referenčního magnetického pole, aby výsledný vektor magnetické indukce svíral s vektory magnetické indukce referenčního i měřeného pole stejný úhel (tj. v našem případě úhel 45°).

GENERÁTORY REFERENČNÍHO POLE - EXPERIMENTÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ

Jelikož referenční pole musí být homogenní a jeho siločáry by měly být alespoň v úseku, kde se nachází střílka, aproximovatelné přímkami a jelikož dále musí být splněna podmínka regulace magnetické indukce, tak generátorem referenčního pole může být pouze dostatečně dlouhý solenoid nebo dvojice Helmholtzových cívek. V našem případě jsou výhodnější Helmholtzovy cívkové systémy, protože vychylku magnetky lze pozorovat bez použití dodatečné optické soustavy (což by v případě použití solenoidu, u kterého není přes vinutí vidět na střílku, bylo nevyhnutelné). Helmholtzovy cívkové splňují obě výše uvedené podmínky s dostatečnou přesností a schéma jejich uspořádání je na obr. 1.



Obr. 1 Schéma uspořádání Helmholtzových cívek

Pro výpočet hodnoty magnetické indukce použijeme vztah uvedený např. v práci [1]. Tento vztah platí za předpokladu, že je počet závitů cívek shodný; délkové rozměry cívek l jsou zanedbatelné vůči ostatním rozměrům a cívkové jsou zapojeny sériově tak, aby se jejich magnetické pole sčítalo.

Použijeme-li označení rozměrů Helmholtzových cívek dle obr. 1, vyplývá pak pro magnetickou indukci pole v bodě P ve vzdálenosti x od středu O mezi cívkami na ose Helmholtzových cívek vztah ve tvaru

$$B_x = \frac{nI r^2 \mu}{2} \left\{ \frac{1}{\left[r^2 + \left(\frac{d+x}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left[r^2 + \left(\frac{d-x}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\}, \quad (1)$$

kde hodnoty parametrů jsou následující:

r poloměr cívek
 d vzdálenost cívek
 n počet závitů Helmholtzovy cívk
 I elektrický proud procházející cívkami
 μ absolutní permeabilita prostředí ($1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H.m}^{-1}$).

Vztah (1) lze dále zjednodušit na tvar (2), poněvadž je magnetka umístěna uprostřed mezi cívkami - tj. v bodě O, kde vzdálenost $x=0$.

$$B_x = \frac{nI r^2 \mu}{\left(r^2 + \frac{d^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

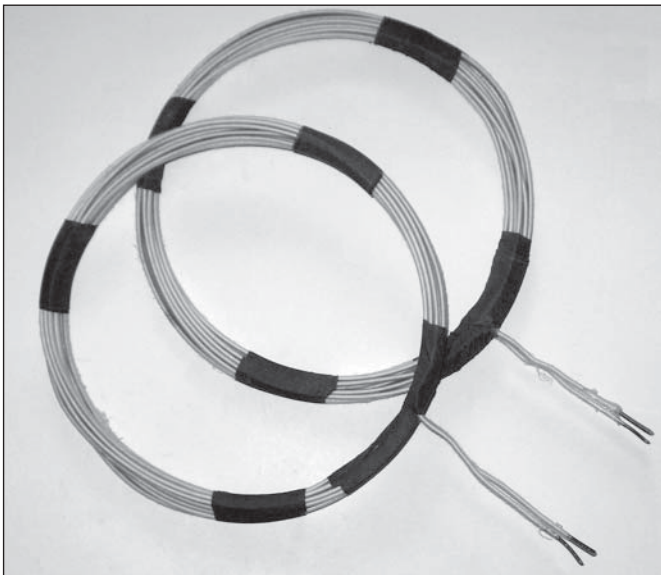
VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro měření jsme použili Helmholtzovy cívky o následujících parametrech

$R = 0,1 \text{ m}$
 $d = 0,14 \text{ m}$
 $n = 10$ závitů

Pro 45° výchylku magnetky v horizontální rovině, jsme naměřili průměrný proud:

$I = 0,404 \text{ A}$



Obr. 2 Použité Helmholtzovy cívky

Po dosažení výše uvedených konkrétních hodnot do vztahu (2) dostáváme

$$B_x = \frac{10 \cdot 0,404 \cdot 0,1^2 \cdot 1,257 \cdot 10^{-6}}{\left(0,1^2 + \frac{0,14^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

a výpočet podle vztahu (3) dává hodnotu $B_x = 27,92 \mu\text{T}$.

Vypočtená hodnota magnetické indukce horizontální složky geomagnetického pole je tedy 27,92 μT . Vertikální složka nebyla měřena, neboť použitá vertikální magnetka nebyla dostatečně citlivá.

ZÁVĚR

Naměřená hodnota $27,92 \mu\text{T}$ odpovídá běžně uváděné hodnotě $20,26 \mu\text{T}$ v rámci přesnosti měření. Relativní odchylka 38% z měřené hodnoty je vzhledem k nižší přesnosti použité magnetické stříčky s velkým třením na hrotu poměrně malá. Pro přesnější měření by bylo třeba zmenšit toto tření např. pomocí lepšího hrotu. Dalším zlepšením by mohla být změna konstrukce Helmholtzových cívek pro dosažení větší mechanické stability a odstranění rušivých vlivů feromagnetických materiálů.

Přesnost tohoto zařízení sice dnes nedosahuje ani zdaleka přesnosti v praxi používaných zařízení, ale jednoduchost této aparatury umožňuje orientačně měřit geomagnetické pole i ve velmi provizorních podmínkách s dostatečnou průkazností.

Měření vertikální složky je experimentálně podstatně obtížnější. Problémem je hlavně výroba dostatečně citlivé vertikální magnetky. Bez sekundárního magnetického pole totiž musí ukazovat směr vertikální složky geomagnetického pole - tj. v našich zeměpisných podmínkách, lehce šikmo vzhůru. Tento stav je velmi obtížné odlišit od prosté mechanické nevyváženosti magnetky. Z toho důvodu není tato metoda vhodná pro měření vertikální složky.

Podrobnější teorii k této problematice mohou zájemci najít například v pracích [2-5].

Tato studentská práce byla prezentována na soutěži „Turnaj mladých fyziků“ v roce 2004.

Literatura

- [1] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., *Feynmanovy přednášky z fyziky - 2. díl*, Fragment, Praha, 2002.
- [2] Sedlák, B., Štoll, I., *Elektřina a magnetismus*, Academia, Praha, 2002
- [3] Hajko, V. a kol., *Fyzika v příkladech*, Alfa, Bratislava, 1983.
- [4] Kolektiv, *University laboratory experiments-Physics*, Goettingen, 1944
- [5] Libra, M. a kol., *Fyzika v příkladech*, Nakladatelství R. Hájek, Ústí nad Labem, 2003

František Sedlák, Gymnázium Elišky Krásnohorské, Ohradní 55, Praha 4, e-mail: frased@seznam.cz

Cena HERMES AWARD na veletrhu HANNOVER MESSE 2005

Veletrh HANNOVER MESSE 2005 (11. – 15. dubna) skončil s vynikajícím výsledkem. Ačkoliv byl veletrh o jeden den kratší, přijelo do Hannoveru více odborných návštěvníků z celého světa než v minulém roce. Přes 205 000 návštěvníků (vloni 172 535) se informovalo během pěti veletržních dnů ve 24 halách na 205 100 m² výstavní plochy o 6 090 vystavovatelích zastupujících 65 národů.

V loňském roce byla poprvé udělena jedna z nejvyšších dotovaných cen za technologie pro hospodářství HERMES AWARD, dotovaná 100 000 eur. V letošním roce získala tuto cenu („Oskar za inovace v průmyslu“) firma ifm electronic GmbH z Essenu – vy-

znamenán byl optický dálkový senzor s technologií PMD (fotonový kombinovaný detektor). Mezi prvních pět se vedle ifm electronic dostaly ABB Ltd z Curychu, Bayer Technology Services z Leverkusenu, Harting Mitronics AG z Espelkampu a Phoenix Contact z Blombergu / Lippe. Všichni vystavovali na veletrhu HANNOVER MESSE 2005 vynikající inovace z oblastí automatizační techniky a senzoriky.

Příští rok se bude veletrh HANNOVER MESSE 2006 konat od pondělí 24. dubna do pátku 28. dubna 2006.

(iev)

Temperature field development modelling in laser material surface treatment

Technologies of the laser surface treatment are performed to improving the local properties of material as are corrosion and wear resistance. Desired modifications in a substrate are among others based on micro-structural changes which are caused by laser beam induced temperature field variations in material. There is introduced a numerical model of the dynamic temperature field inside of a treated layer in this article. Numerical simulations calculated by the finite element software SYSWELD are confronted with an experiment. The real surface structure was prepared by the laser cladding technology on low-carbon commercial steel with a Ni-based alloyed powder using power CO₂ laser.

Keywords: modelling, temperature field, laser surface treatment.

1. INTRODUCTION

Experimental investigations of laser beam effects on materials began to appear soon after the first demonstration of the laser. Laser beams can deliver, concentrated pure energy to almost any material, and they do so exactly where, when, and in the quantity desired [1].

In the investigation of laser material processing it is necessary to have an understanding of how such physical interactions affect the result of a certain process. These interactions are related to the process variables. The investigation of the relationship between process variables, thermal effects, physical interactions and the initial and final states of the material can be performed both experimentally and theoretically using models [2,3,13]. Deduction about the cooling rates can only be made from examining the microstructure on the cross-section of the processed material. This is where the modelling of the thermal processes can be valuable to the understanding of laser material treatment [4,13].

2. LASER SURFACE TREATMENT

The industrial applications of lasers in material surface treatment are based on heat effects of electromagnetic field absorption.

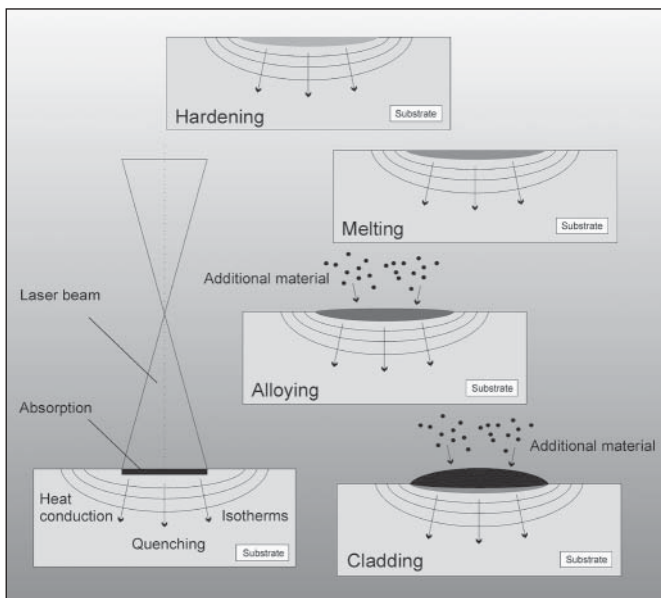


Fig. 1 The most common technologies of laser surface treatment

Part of energy diffuses to the surface layer of treated material and very quickly is transformed to heat energy which is led to the cold bulk. The working principles of the most common laser surface treatments are summarised in figure 1. Those technologies are performed to improving the local surface properties of treated material as are corrosion and wear resistance. They are distinguished with respect to the surface temperature and to the addition of material. The effects of laser melting and laser hardening are based on microstructural changes in the surface layer. Furthermore, laser alloying [4,5] and cladding are two laser techniques that can enhance surface properties by changing the material composition in the surface.

The laser cladding [6-9] generates a surface layer that hardly contains elements of the substrate. Just enough mixing is allowed to achieve a strong bonding. Hence, the properties of produced clad layer depend mainly on the applied coating material. Only a very thin layer of the substrate has to be melted.

3. MODELLING WITH SYSWELD

The status of modelling has changed dramatically with easy access to computers. SYSWELD is a finite element software [10,11] that simulates all usual heat treatment processes like welding, bulk hardening, surface hardening and tempering. For a simulation, analysis must take into account following phenomena: material properties, thermal exchange with outside media, exchange coefficient, heat sources, etc.

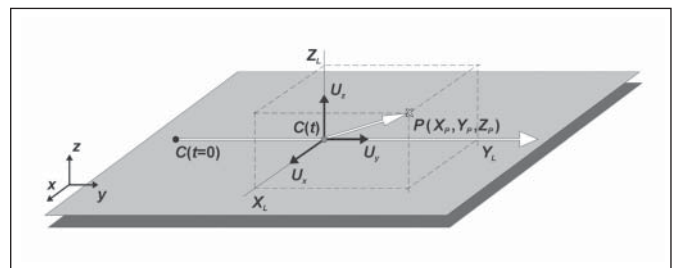


Fig. 2 Trajectory of the heat source movement

Thermo-physical characteristics are declared in material properties section. It concerns conductivity, density specific heat or enthalpy. Thermal exchange involved in simulation concerns lost by convection and radiation on all the part in contact with outside media. Such

thermal lost can be explained [11] with a heat exchange coefficient which depends on temperature, but also on material emissivity.

From finite element point of view, a heat source is modelled by volume density of energy Q_R applied to elements, which move along the treating trajectory (figure 2).

$$Q_R(P) = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

SYSWELD offers the capability to introduce Q_R as „Fortran“ function [11] which depends on current location of point P and time. The function contains a mathematical description of energy distribution and trajectory. Current position is $P (X_p, Y_p, Z_p)$. The center of heat source at time $t = 0$ s is at the point $C_0 (X_0, Y_0, Z_0)$ (figure 2 and figure 3). Velocity of moving heat source is v and maximal intensity of energy Q_0 . In the case of linear trajectory along y axis, $v = Uy$.

$$C(t) = v \cdot t + C_0 \quad (2)$$

Different shapes of energy distribution are proposed in the SYSWELD. The predefined Gaussian and conical heat sources are suitable for simulations of high density laser processes (figure 3).

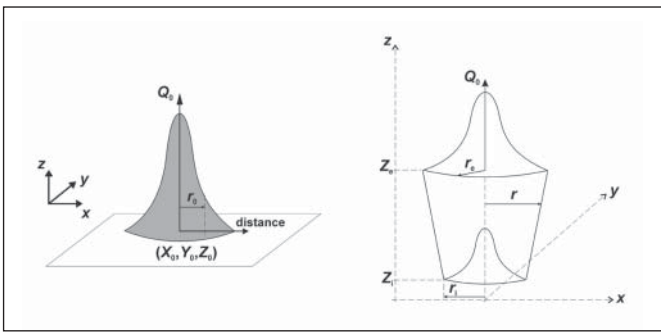


Fig. 3 Pre-defined energy distribution in Gaussian and conical heat sources suitable for the laser beam simulations

Process parameters (energy, efficiency coefficient, etc.) are included in definition of heat source. A pre-defined function is written in simplified „Fortran“, and used for automatic definition of a mobile heat source. Pre-defined functions can also be used for stationary computation (mobile reference frame [11]), in which case the correct position of the source at the time of computation must be checked. Pre-defined heat sources take the form (3).

$$Q_R = Q_0 \cdot e^{-\frac{r^2}{r_0^2}} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

In the case of Gaussian source, r_0 is the characteristic radius of the Gaussian curve. The conical source determines r_0 by (5),

$$r_0 = r_e - \frac{(r_e - r_i) \cdot (z_e - z_i)}{z_e - z_i} \quad (5)$$

where r_e is the characteristic radius in plan $z = Z_e$ and r_i is the characteristic radius in plan $z = Z_i$.

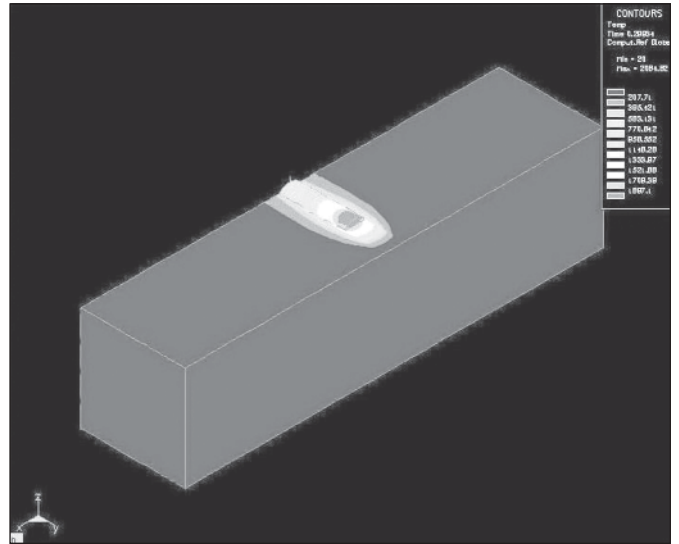


Fig. 5 Temperature field distribution on the surface of treated material at the time 0,3 s. Velocity of moving laser beam: 20 mm.s⁻¹, maximal source intensity: 500 W.mm⁻³ (calculated by SYSWELD)

4. DYNAMICS OF THE TEMPERATURE FIELD

Finite element calculations by SYSWELD led to set of diagrams. Each of them represents temperature field on the surface at the given time. Material surface is located in the x, y plane and the temperature (°C) is a corresponding colour. There are shown two laser beam induced temperature profiles in figure 4 and figure 5.

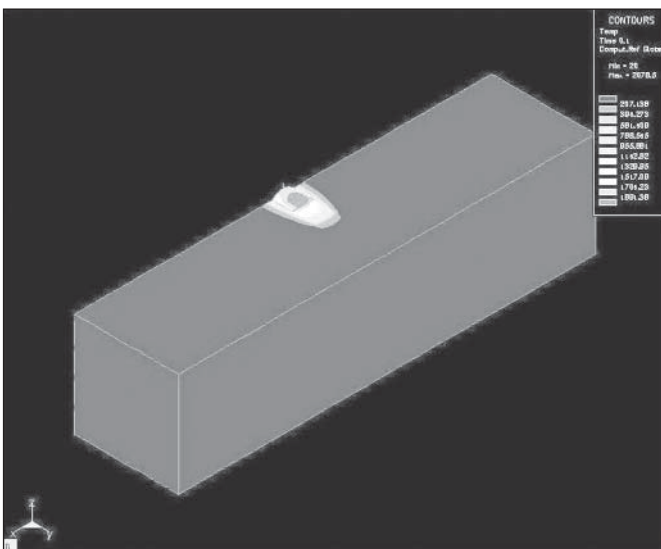


Fig. 4 Temperature field distribution on the surface of treated material at the time 0,1 s. Velocity of moving laser beam: 20 mm.s⁻¹, maximal source intensity: 500 W.mm⁻³ (calculated by SYSWELD)

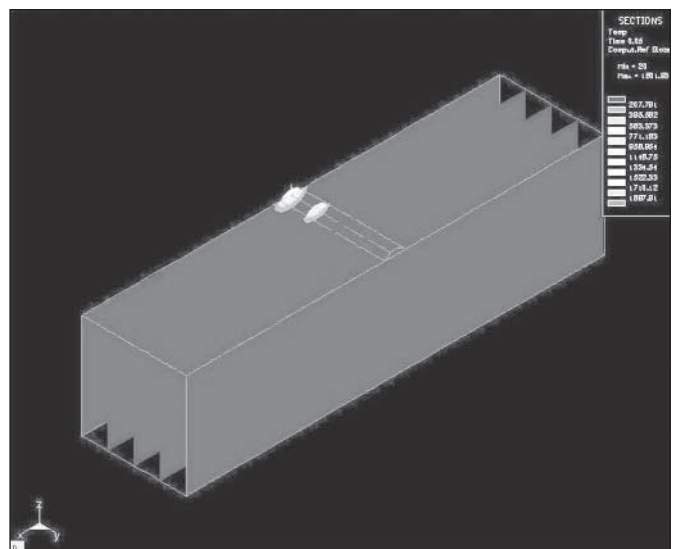


Fig. 6 Temperature field in the cross-sections of the material at the time 0,05 s. Velocity of moving laser beam: 20 mm.s⁻¹, maximal source intensity: 500 W.mm⁻³ (calculated by SYSWELD)

The second set of figures (look at the *fig. 6 – fig. 9*) demonstrates the temperature distribution against the material depth in the cross-sections. From modelling results it is possible to assume where and when the material starts to warm or melt.

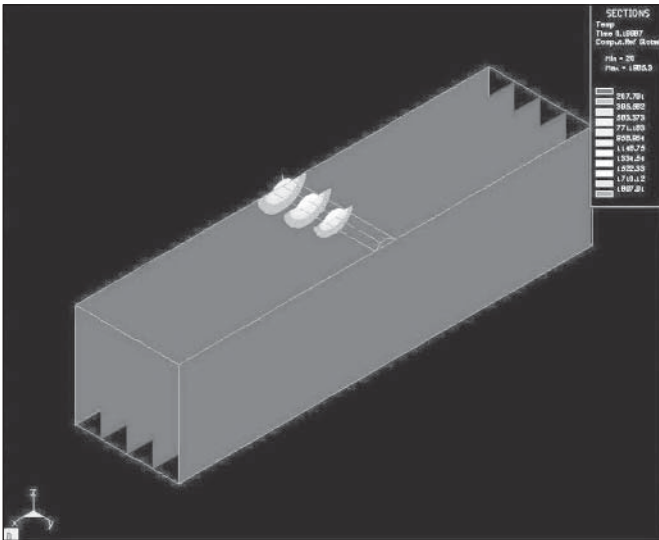


Fig. 7 Temperature field in the cross-sections at the time 0,2 s

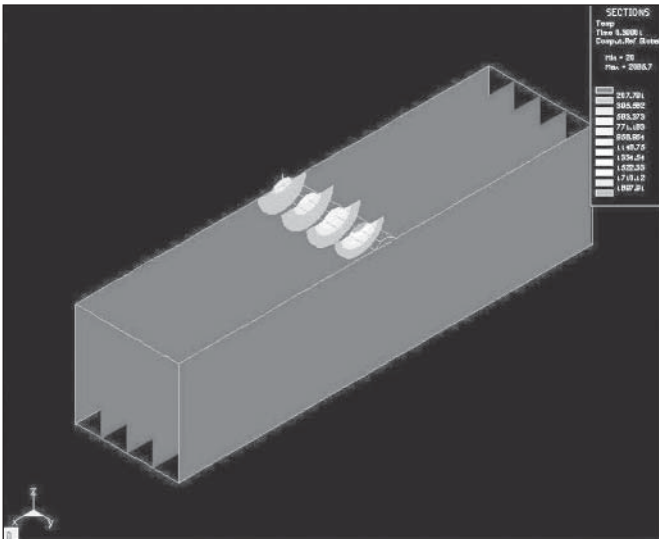


Fig. 8 Temperature field in the cross-sections at the time 0,4 s

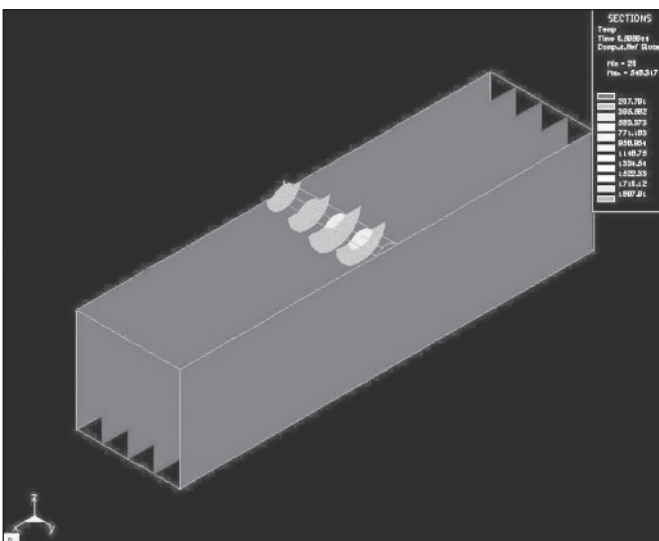


Fig. 9 Temperature field in the cross-sections at the time 0,6 s

5. REAL SURFACE STRUCTURE

The real structures were produced by the laser cladding technology using industrial fast-flow power CO₂ laser. The mode structure of the laser beam was a combination of two modes TEM 01* and TEM 10 and focal length of the focusing optics was 150 mm.

Substrate is steel ČSN 41 1373 (C_{max} 0,17 %; P_{max} 0,045 %; S_{max} 0,045 %; N_{max} 0,007 %). Additional material is powder with trade mark “K50” (Ni 80 %; Cr + Si 20 %; grain size less than 100 μm).



Fig. 10 Structure in the cross-section of laser surface treated layer on steel ČSN 41 1373 (1 - the clad layer, 2 - transition zone, 3 - heat affected zone of base material, 4 - non-affected base material)

Many layers were produced with different combinations of process parameters [7,8]. Following process parameters were selected: laser power 2000 W; beam diameter on the surface of substrate 2,5 – 4,6 mm; speed of specimen movement 6,7 – 26,7 mm.s⁻¹ and powder feeding 110 – 367 mg.s⁻¹.

The structure presented in the *figure 10* was prepared with parameters: diameter of the beam 3,6 mm, speed 13,3 mm.s⁻¹ and powder feeding 367 mg.s⁻¹. There are distinguished base material, clad layer, heat affected zone and a quite thin transition zone in the structure. The non-affected base material is a sub-eutectoid mild steel with the ferrite-pearlite structure. The whole clad layer appears to be homogenous without defects. There is a dendritic structure [12] with some different grain size in the mentioned clad layer. A finer dendritic structure with some smaller grains is in the top area of the clad.

6. CONCLUSION

Optical energy is an ideal form of energy for surface treatment. The advantages offered by the laser are the highly localised clean nature of the process. In order to reduce material cost common cheaper steel can be treated only at exposed surface.

General purpose of the mathematical modelling is an understanding of the process mechanisms for the design of experiment, parametric understanding for control purposes, analyse the precise process mechanisms with a view to prediction and process improvement and the pursuit of knowledge.

There is introduced model of the temperature field induced in material by laser beam based on finite element method in this article. This modelling declares some differences in comparison with numerical modelling by finite difference method published earlier e.g. [13].

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by the Academy of Sciences of the Czech Republic under the project no. IBS1010353.

References

- [1] von Allmen, M., Blatter, A. Laser-beam interactions with materials. 2nd ed. Berlin: Springer, 1995.
- [2] Černý, R. Řešení transportních jevů na počítači. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997.
- [3] Černý, R. Fyzika - transportní jevy. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993.
- [4] Steen, W. M. Laser material processing. 1st ed. London: Springer-Verlag, 1991.
- [5] Stranyánek, M., Hrabovský, M. FEM in the laser surface alloying process. In ACTA UNIV. PALACKI. OLOMUC., FAC. RER. NAT., PHYSICA, vol. 42 – 43, 2003 – 2004, p. 175 – 183.
- [6] Schneider, M. Laser cladding. Ph.D. Thesis. University of Twente. Enschede: Print Partners Ipskamp, 1998.
- [7] Stranyánek, M. Powder cladding of low-carbon steel by CO₂ laser. Research report no. 209/SLO/2000. Joint Laboratory of Optics of Palacky University & Institute of Physics of AS CR. Olomouc: JLO, 2000.
- [8] Stranyánek, M., Chmelíčková, H. Laser cladding on a carbon steel by continual beam with modelling of the temperature field. Proc. SPIE Vol. 5445. 9th International Symposium on Microwave and Optical technology 2003, 2004, p. 368 – 371.
- [9] Weerasinghe, V. M. Laser cladding of flat plates. Ph.D. Thesis. University of London. London: John Percy Research Group, 1984.
- [10] Boitout, F., Dry, D., et al. Presentation of an engineering simulation solution for heat treatment. In [CD-ROM] SYSWELD V2004: ESI group, 2004.
- [11] ESI gr. Thermo-metallurgical analysis. In [CD-ROM] SYSWELD V2004: ESI group, 2004.
- [12] Stranyánek, M. Studie struktur vrstev vytvořených laserem, mikroanalýza. Research report no. 243/SLO/2003. Joint Laboratory of Optics of Palacky University & Institute of Physics of AS CR. Olomouc: JLO, 2003.
- [13] Sharp, M. C. Mathematical modelling of continuous wave CO₂ laser processing of materials. Ph.D. Thesis. University of London. London: John Percy Research Group, 1986.

Mgr. Martin Stranyánek, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 631 573, e-mail: stranyanek@optnw.upol.cz
Mgr. Martina Havelková, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 631 506, e-mail: havelkova@optnw.upol.cz
RNDr. Hana Chmelíčková, Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 631 516, e-mail: chmelickova@optnw.upol.cz
Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 631 501, e-mail: hrabovsky@optnw.upol.cz

Pavol HORŇÁK, FEI STU Bratislava, Slovenská republika

Základné spôsoby merania jasu

Ukázalo sa, že meranie jasu býva často improvizované. Preto personál v skúšobni musí namerané prípadne vypočítané hodnoty jasu overiť či sú pravdepodobné. Pritom treba dbať, aby meranie jasu prebehlo za normalizovaných podmienok.

Jas je rozhodujúci najmä pri výpočte, návrhu a projekte osvetľovacieho zariadenia. Pri meraní jasu postupujeme dvoma spôsobmi:

Nepriamy spôsob merania jasu

Pri nepriamom meraní zisťujeme nejakú svetelnotechnickú veličinu jednoznačne viazanú na jas, z ktorej výpočtom určíme jas. Jas nejakého zdroja určíme zo svietivosti. Pri tejto metóde vychádzame z definície jasu. Volíme malú plošku s rovnomerne rozdeleným jasom, a tým aj svietivosti. Zmeriame svietivosť tejto plošky v kolmom smere I a jej plochu A . Z nameraných hodnôt vypočítame jas podľa vzťahu

$$L = \frac{I}{A}$$

Uvedené určenie jasu je viazané na konkrétny povrch, ktorého jas určujeme. Nehodí sa však pre svetelné zdroje bez určitého svietiaceho povrchu (napr. žiariaca vrstva plynov a pár), alebo ak je zdroj neprístupný a nemôžeme určiť jeho plošný rozmer a polohu k smeru lúčov (napr. obloha). Pre tieto prípady môžeme jas vyjadriť z osvetlenia v danom mieste od časti zdroja v rozsahu priestorového uhla Ω

$$L = \frac{I}{A \cos \alpha} = \frac{I}{r^2 \Omega} = \frac{E_N}{\Omega}$$

kde A je svietiaci ploška,

α - uhol medzi normálou a spojnicou k osvetľovanému miestu,
 r - dĺžka spojnice medzi svietiacou ploškou a osvetľovaným miestom,

Ω - priestorový uhol, pod ktorým vidíme svietiacu plošku z osvetleného miesta.

V tomto prípade je jas určený ako osvetlenie plochy kolmej na smer lúča (tzv. normálne osvetlenie E_N) k priestorovému uhlu, pod ktorým vidíme z osvetleného miesta svietiacu plošku. Hodnota osvetlenia sa stanoví luxmetrom s mechanickým alebo optickým nastavením, ktorý obmedzuje prijímací priestorový uhol fotónky na rozozretie niekoľkých stupňov v kolmom smere na jej citlivú plošku.

Priamy spôsob merania jasu

Pri bežných meraniach sa porovnáva jas meranej plošky s niektorým etalónom jasu. Podľa konštrukcie sa jasomery delia na fyzikálne a vizuálne. V súčasnosti fyzikálne meranie jasu naprosto prevláda nad vizuálnym meraním.

Na zacielenie na objekty merania jasu sa používajú vhodné objektívy. Pri priamom meraní jasu sa meria normálne osvetlenie pri rôznom prijímacom priestorovom uhle fotónky. Jasomery sú vybavené dostatočným počtom predstaviteľných clón na rozozretie niekoľkých stupňov alebo minút (3°, 1°, 20').

Charakteristické údaje jednotlivých typov luxmetrov s nástavcom, jasomerom a etalónom jasú sú uvedené v katalógoch výrobcov. V tomto článku sú uvedené len princípy merania jasú.

Literatúra

[1] Horňák, P.: Ako objektívne zisťovať skutkový stav? EE - časopis pre elektrotechniku a energetiku. (Mimoriadne číslo – vydanie ku konferencii s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika a informatika 2004), október 2004

- [2] Horňák, P.: Svetelné normály. Jemná mechanika a optika, 2004, č. 6
[3] Horňák, P.: Fotometrické integrátory. Jemná mechanika a optika. 2004, č. 6
[4] Horňák, P.: Meranie rovinatej osvetlenosti pri rôznych experimentoch. Jemná mechanika a optika. 2004, č. 7-8
[5] Horňák, P.: Orientačné porovnanie rôznych goniofotometrov. Elektrotechnika v praxi. 2004, červenec/srpen
[6] DIN 67 510 Teil 1: Messung und Kennzeichnung beim Hersteller
[7] Katalógové listy meračích prístrojov (www.lmt.de, www.prc-krochmann.de, www.technoteam.de)
[8] Horňák, P.: Meranie svetla a farieb. Bratislava 1971

Prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc., Katedra elektroenergetiky FEI STU Bratislava, ul. A. Gwarkovej 11, 851 04 Bratislava, Slovenská republika, tel./fax: 00421-33-6474506, mobil: 00421-905455534, e-mail: prometheus@stonline.sk

Výpůjční řád knihovny SPIE/CS

- 1) Členům SPIE/CS jsou publikace půjčovány zdarma, studentům za poplatek 10,- Kč/ks, ostatním zájemcům je účtováno za půjčení 100,- Kč. (členové SPIE/CS mají přednost)
- 2) Požadovanou publikaci si každý zájemce vyzvedne v knihovně SPIE/CS osobně nebo po dohodě mu bude zaslána na dobírku.
- 3) Cena dobírky pro členy SPIE/CS je 60,- Kč = (poštovné + balné)
- 4) Cena dobírky pro nečleny je 100,- Kč + 60,- Kč = (půjčovné + poštovné + balné)
- 5) Cena dobírky pro studenty je 10,- Kč + 60,- Kč = (půjčovné + poštovné + balné)
- 6) Vracení publikace je na náklady zapůjčitele. Při poškození nebo ztrátě viník uhradí v plné výši buď opravu nebo pořízení nové publikace včetně nákladů s tím spojených.
- 7) Zápůjční doba je 1 měsíc
- 8) Podmínky členství ve SPIE/CS Vám zodpoví p. Šárka Hronková, sekretářka vedoucího SLO UP a FZÚ AV ČR v Olomouci na tel.: 585 631 502, e-mail: hronkova@optnw.upol.cz

Adresa knihovny SPIE/CS:

SLO UP a FZÚ AV ČR

Elena Kučerová, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc

tel.: 0420 585 631 504, e-mail: kucerova@optnw.upol.cz

Přírůstky knihovny SPIE/CS

- | | | | |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0988 | International Optical Design Conference 1998 (8-12 June 1998, Kona, Hawaii)
Vol. 3482 | 0996 | Interferometry '99, Applications (20-23 September 1999, Pułtusk, Poland)
Vol. 3745 |
| 0989 | Optika '98, 5 th Congress on Modern Optics (14-17 September 1998, Budapest, Hungary)
Vol. 3573 | 0997 | Optical Manufacturing and Testing III (20-23 July 1999, Denver, Colorado)
Vol. 3782 |
| 0990 | Diffraction and Holographic Technologies, Systems, and Spatial Light Modulators VI (27-29 January 1999, San Jose, California)
Vol. 3633 | 0998 | Laser Metrology and Inspection (14-15 June 1999, Munich, Germany)
Vol. 3823 |
| 0991 | Practical Holography XIII (25 January 1999, San Jose, California)
Vol. 3637 | 0999 | Microsystems Metrology and Inspection (15-16 June 1999, Munich, Germany)
Vol. 3825 |
| 0992 | Holographic Materials V (26 January 1999, San Jose, California)
Vol. 3638 | 1000 | Sixth International Conference on Education and Training in Optics and Photonics (28-30 July 1999, Cancún, Mexico)
Vol. 3831 |
| 0993 | Saratov Fall Meeting '98: Light Scattering Technologies for Mechanics, Biomedicine, and Material Science (6-9 October 1998, Saratov, Russia)
Vol. 3726 | 1001 | Fourth International Conference on Correlation Optics (11-14 May 1999, Chernivtsy, Ukraine)
Vol. 3904 |
| 0994 | Design and Engineering of Optical Systems II (25-27 May 1999, Berlin, Germany)
Vol. 3737 | 1002 | Laser-Tissue Interaction XI: Photochemical, Photothermal, and Photomechanical (22-27 January 2000, San Jose, USA)
Vol. 3914 |
| 0995 | Interferometry '99, Techniques and Technologies (20-23 September 1999, Pułtusk, Poland)
Vol. 3744 | 1003 | Coherence Domain Optical Methods in Biomedical Science and Clinical Applications IV (24-26 January 2000, San Jose, California)
Vol. 3915 |

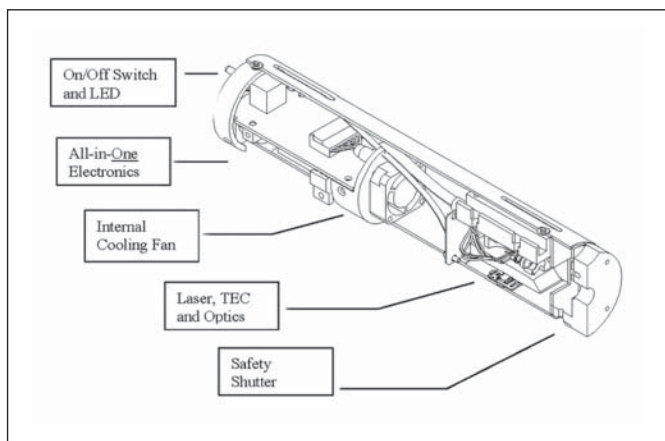
Laserové diodové moduly – novinky

Vzhledem k blížící se mezinárodní výstavě LASER 2005 v červnu tohoto roku bychom rádi představili trendy a novinky v oboru laserů pro vědecké a komerční aplikace především v oblasti laserových diodových modulů. Tento typ laserů prodělal během posledních let největší rozvoj a zdá se, že tento trend bude ještě pokračovat. Doba, kdy se laserové diodové moduly nabízely jen v červené nebo NIR oblasti spektra, už odezněla, dnes je trend hledat další zajímavé vlnové délky především v UV a modré oblasti spektra jako adekvátní náhradu běžných plynových laserů (HeCd, dusíkových či argonových laserů). Tyto byly ještě donedávna jedinými zdroji vlnových délek v této oblasti.

Rádi bychom se zde tedy soustředili na oblast laserových diodových modulů a pevnolátkových diodami buzených laserů (DPSS) pro UV až modrou oblast spektra.

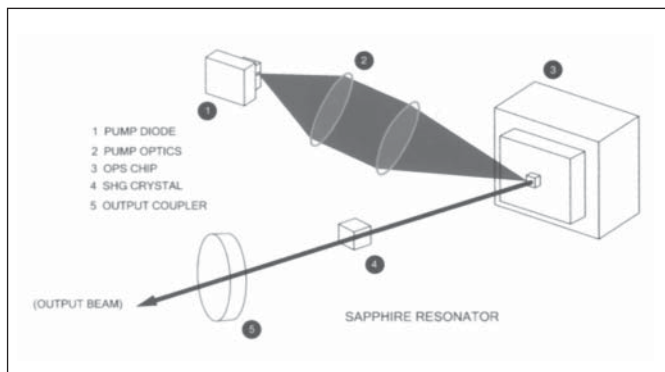
Díky novým technologiím jsou aktuálně už k dispozici tyto vlnové délky: 375 nm, 405 nm, 430 nm, 440 nm, 442 nm, 457 nm, 460 nm, 473 nm, 488 nm, 490 nm a samozřejmě dále, ale to už se dostáváme do zelené oblasti spektra. Použité technologie k dosažení těchto vlnových délek jsou různé a každý výrobce si je tají.

Obecně se využívá buď laserových diod, které emitují přímo na dané vlnové délce, kdy se dioda zpravidla teplotně stabilizuje a svazek opticky upravuje, aby dosáhl potřebné kvality. Tato technologie se dnes používá pro vlnové délky 375 nm, 405 nm a 440 nm.



Obr. 1

Další technologií, která se používá, je revoluční technologie VECSEL (vertical external cavity surface emitting laser), resp. opticky čerpaná laserová dioda VECSEL. Na rozdíl od konvenční VECSEL, kde je laserová emise čerpaná elektricky, zde bývá použito optické čerpání jinou laserovou diodou. Výhodou je pak především možnost dosáhnout vyšší optický výkon v požadovaném



Obr. 2

modu a s vynikající kvalitou svazku. Laserové diody VECSEL díky externímu výstupnímu zrcadlu rezonátoru umožňují vložit do vlastní kavity rezonátoru krystal pro generaci druhé harmonické frekvence, případně další optické členy pro úpravu svazku. Takto lze pak např. dosáhnout vlnových délek 488 nm či 460 nm, které by byly jinou technologií těžko dosažitelné.

Z dalších používaných technologií to jsou už DPSS lasery, kde se používá druhé harmonické frekvence buď od specifické čáry vanadu nebo čáry Nd:YAG krystalu. Takto lze pak dosáhnout vlnových délek jako 430 nm, 442 nm, 457 nm, 473 nm či 490 nm.

Dosahované výkony na čarách v UV, fialové či modré oblasti spektra jsou od několika mW až po stovky mW v závislosti na vlnové délce. Zatímco např. na 375 nm se dosahuje jen 8 mW, na 405 nm už třeba 50 mW, na 457 nm lze dosáhnout až 300 mW, na 488 nm 200 mW. Na ostatních vlnových délkách se dosahuje zhruba 10 až 15 mW. Právě neustálé zvyšování výkonu na některých vlnových délkách je trend, který lze očekávat do budoucna. Důvod je jasný. Plnohodnotná náhrada za složité plynové lasery, které vyžadují pro svůj provoz vyšší energetické vstupy a svým principem nedokážou nabídnout takovou stabilitu a parametry svazku jako právě zmiňované DPSS lasery či laserové diodové moduly.

Přejdeme-li z obecné roviny povídání ke konkrétním produktům, tak příkladem bychom rádi představili nový produkt firmy Coherent, laserové diodové moduly řady CUBE™.



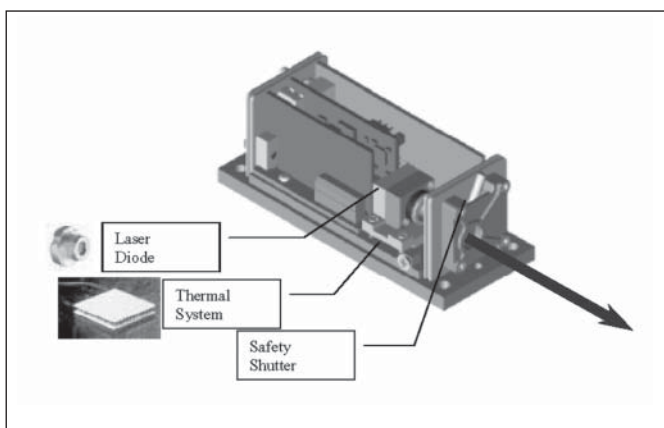
Obr. 3

Lasery řady CUBE™ jsou kompaktní diodové moduly, které vznikly kombinací úspěšných laserových diodových modulů řady RADIUS™ a DPSS laserů řady COMPASS™. Od laserů řady Compass převzaly mechanický design a provedení vlastní konfigurace (kompaktní miniaturní hlava s možnou chladicí položkou pro odvod tepla a se separátní řídicí jednotkou a napájecím zdrojem), od laserů Radius pak vlastní princip (termoelektricky chlazená LD s následnou úpravou svazku a kompletní elektronikou ve vlastní hlavě).

Přidanou hodnotou je zde možnost modulace, celá řada provozních módů, porty RS232 a USB a dále analogový vstup/výstup. Systém je navržen jako uživatelsky snadno sestavitelný a komfortní z hlediska obsluhy.

Vlastní laserová hlava zahrnuje příslušnou laserovou diodu, termoelektrické chlazení s dvojitou teplotní sondou (pro vlastní LD a pro podložku), optiku pro úpravu svazku, která je umístěna na teplotně stabilizované podložce, a kompletní řídicí elektroniku. Součástí hlavy je fotodioda pro monitorování výstupního výkonu a tím zajištění potřebné stability a dále mechanická závěrka, aby laser splňoval příslušné bezpečnostní normy.

Lasery CUBE™ je možné provozovat jak v kontinuálním režimu, tak i v pulsním. Modulaci je možné provádět přes digitální port až do 150 MHz či přes analogový port na externí ovládací



Obr. 4

jednotce až do 350 kHz. Pomocí RS232 nebo USB portu lze laser ovládat pohodlně přes PC. Součástí dodávky je i software, který uživateli umožňuje komfortní ovládání laseru. Je možné nastavovat a řídit základní parametry laseru, sledovat provozní hodnoty, zadávat příkazy pro přímou komunikaci.

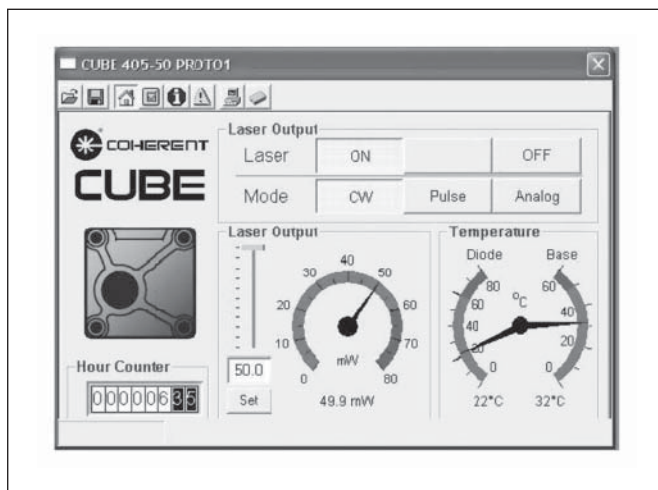
Laser CUBE je k dispozici na 5 vlnových délkách – 375 nm, 405 nm, 440 nm a dále pak 635 nm a 785 nm a to buď s kruhovým nebo eliptickým svazkem. Základní parametry jsou uvedeny v tabulce 1.

V základu systém zahrnuje laserovou hlavu, externí řídicí jednotku (dnes toto rozdělení vyžadují bezpečnostní předpisy), napájecí zdroj, příslušné kabely a software do PC. Jako příslušenství lze dokoupit chladicí podložku pro odvod tepla do okolí.

Lasery řady CUBE™ (375 nm, 405 nm, 440 nm, 635 nm, 785 nm) společně s modely RADIUS™, DPSS lasery řady AZURE™ (266 nm),

AVIA™ (355 nm), SAPPHIRE™ (460 nm a 488 nm) a COMPASS™ / VERDI™ (532 nm) tvoří ucelenou nabídku firmy Coherent pro pokrytí oblasti UV-VIS.

Závěrem se neubráníme srovnání s klasickými plynovými lasery. Je pravda, že DPSS a laserové diodové moduly v UV až modré oblasti nabízí zatím poměrně nízké výkony a cenově patří mezi dražší řešení, na druhou stranu jejich výhodou ční v nízkých energetických nárocích (nízký příkon, chlazení ventilátorem či odvodem tepla do okolí), miniaturních rozměrech, vyšší životnosti a hlavně v dosažení lepších některých parametrů laserových svazků. Budoucnost určitě přinese další vývoj v této oblasti a jedna z možností, jak se podívat, co nového trh nabízí, je právě výstava Laser 2005 zmiňovaná v úvodu.



Obr. 5

Tabulka 1

Model	CUBE 375	CUBE 405	CUBE 440	CUBE 635	CUBE 785
Vlnová délka [nm]	375 ± 5	405 ± 5	440 ± 5	635 +7/-2	785 ± 10
Výkon [mW] - Kruhový svazek	8	50	16	25	40
- Eliptický svazek	8	50	16	30	45
Velikost svazku [mm]	1	1	1	1	1
Kruhový / Eliptický svazek	1 x 3	1 x 3	1 x 3	1 x 3	1 x 3
Divergence [mrad]	1	1	1	1	1
Kruhový / Eliptický svazek	0,6 x 1,0	0,6 x 1,0	0,6 x 1,0	0,6 x 1,0	0,6 x 1,0
Prostorový mód	TEM ₀₀				
Stabilita polohy	< 6 μrad/°C				
Šum [20Hz - 10 MHz]	< 0,2 % RMS				
Šum [10 MHz - 500 MHz]	< 1 % RMS				
Polarizace	Lineární > 100:1, vertikální ±5°				
Rozměry laserové hlavy	100 x 40 x 40 mm				

Změny zdravotnických veletrhů MEFA a REHAPROTEX

Záříový termín, nový název i strategie cílená na střední Evropu

Od 13. – 16. září 2005 proběhne na brněnském výstavišti nový mezinárodní veletrh zdravotnické techniky, rehabilitace a zdraví HOSPIMedica. Ta naváže na kvalitu veletrhů MEFA a REHAPROTEX a přinese také letos aktuální informace o novinkách a trendech ve zdravotnictví, rehabilitaci a protetice. Nově se na brněnském výstavišti představí také nabídka produktů a služeb oboru wellness a zdravého životního stylu. Veletrh HOSPIMedica bude také fórem odborníků řady specializací z České republiky i zahraničí, setkání managementu nemocnic, sociálních pracovníků, zástupci orgánů státní správy a v neposlední řadě zdravotně postižených. Ti budou na brněnském výstavišti společně diskutovat o aktuálních otázkách, vyměňovat si zkušenosti s využíváním konkrétních technologií a léčebných postupů a hledat řešení společných problémů.

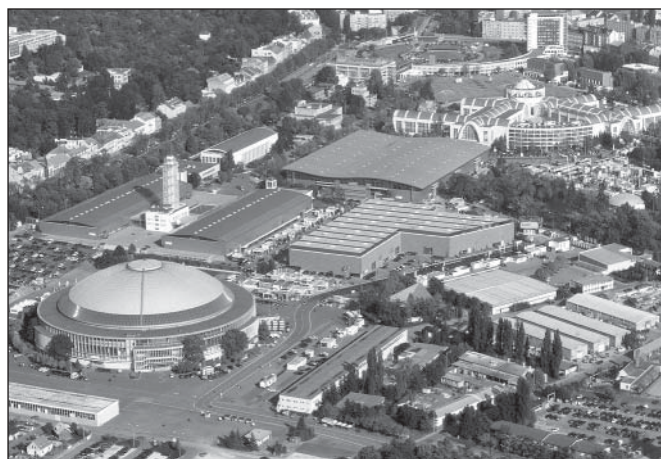


Brněnský veletrh HOSPIMedica se stal součástí řetězce prestižních zdravotnických veletrhů „med by Messe Düsseldorf“, které jsou členy „medica group“ a konají se pod společným logem na území tří kontinentů - v Evropě, Asii a Americe. Získal tak výraznou podporu světové zdravotnické jedničky – veletrhu MEDICA. Podpora Brna, kterou zavedením nového projektu Messe Düsseldorf deklaruje, není náhodná. Jihomoravská metropole, resp. její nový projekt, by měl být Mekkou zdravotnického oboru nejen pro nové členy Evropské unie v prostoru střední Evropy, ale také pro země východní Evropy, které jsou ve střednědobém výhledu potenciálními kandidáty na členství. „Na základě konzultací s týmem MEDICA Düsseldorf a našimi vystavovateli jsme se v této fázi přípravy veletrhu zaměřili na intenzivní a cílenou propagaci nového projektu nejen ve spádové oblasti zemí střední Evropy (Maďarsko, Polsko, Rakousko, Slovensko), ale i dále na východ a jih Evropy, kde existují trhy s výrazným odbytovým potenciálem (Rusko, Ukrajina, Bulharsko, Rumunsko), říká vedoucí manažerka projek-

tu Věra Menšíková. „Začlenění veletrhu HOSPIMedica Brno do řetězce „medica group“ přinese našim vystavovatelům řadu konkrétních výhod z pohledu finančních benefitů, marketingových a komunikačních aktivit. Společně jednáme i s odbornými zahraničními svazy a asociacemi především v Německu. Například v červnu bude veletrh HOSPIMedica Brno prezentován v Hamburku na German Healthcare Export Group pro 50 nejvýznamnějších zdravotnických firem. Díky společné komunikační kampani a podpoře od veletrhu MEDICA/REHACARE si slibujeme výrazné zlepšení struktury návštěvníků i vystavovatelů - jak co do odbornosti, tak zmíněné mezinárodnosti.“

V části „reha“, která je nejvýznamnější přehlídkou tohoto oboru ve střední Evropě, představí své novinky desítky výrobců kompenzačních, rehabilitačních a protetických pomůcek. Všichni zájemci zde naleznou prakticky vše, co tento zdravotnický obor u nás i ve světě v současnosti nabízí. „Na veletrhu představíme nejnovější kolekci rehabilitačních kočárků s variabilním modulárním příslušenstvím. Novinkami budou i mechanické a elektrické vozíky pro postižené. Návštěvníci se na našem stánku mohou seznámit s rozsáhlým a komplexním programem výrobků a služeb, které poskytujeme našim zákazníkům, říká Petr Kotík, generální ředitel společnosti Patron Bohemia. Již tradičně se uskuteční prezentace nestátních neziskových organizací pod názvem Pro Váš úsměv. Vedle chráněných dílen mohou návštěvníci shlédnout i speciální léčebné postupy včetně hipoterapie a canisterapie, ale třeba také balneologie.

Odborníci tvrdí, že budoucnost mezinárodních zdravotnických veletrhů je ve speciálních tématech soustředěných v jeden čas na jedno místo. Tou pravou příležitostí, která do Brna soustředí pozornost evropských specialistů, zdravotníků i široké veřejnosti, bude mezinárodní veletrh HOSPIMedica, který startuje v novém termínu od 13. do 16. září 2005.



Veletrhy Brno, a.s., Ing. Bohuslava Knopová, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: +420 541 152 818, fax: +420 541 153 063, e-mail: hospimedica@bvz.cz

14. medzinárodný seminár „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“

V dňoch 8. – 9. 3. 2005 sa v Plzni konal tradičný seminár, venovaný aktuálnym problémom meracej techniky. Ako aj v predošlých rokoch, aj teraz sa podujatie stretlo s veľkým záujmom metrologickej komunity (cca 130 účastníkov).

Program seminára bol skutočne „nabitý“ – odznelo celkovo 29 referátov, zameraných nielen na novinky meracej techniky, ale aj na niektoré metodické otázky vo sfére strojárskych meraní. Z prednesených príspevkov si dovoľíme uviesť niektoré stručnou charakteristikou ich obsahu:

V. GRIESS informoval prítomných o novinkách súradnicovej meracej techniky z produkcie fy C. ZEISS Jena. O súradnicových meradlách FARO referoval **D. DANĚK**; o parametroch tvrdomerov PROCEQ referoval **M. KOMPATSCHER**.

J. STANĚK oboznámil účastníkov seminára s novými metodami merania parametrov ozubení. Ďalej účastníkov zaujala prednáška významného poľského metrologa Prof. St. ADAMCZAKA, ktorá bola zameraná na problematiku metrologie v Poľsku. **J. SKOPAL** potom predniesol súbor aktuálnych informácií, týkajúci sa problematiky nových technických noriem z oblasti geometrickej špecifikácie výrobkov (GPS).

Príspevok o významovom slovníku metrologie, skúšobníctva a aplikovanej fyziky prezentoval **J. BĚŤÁK**. Ide o význačné terminologické dielo, ktoré v svetovej metrologickej literatúre nemá obdobu. Samozrejme, k obsahu možno mať viaceré pripomienky, ale v každom prípade treba vysloviť autorom uznanie za prácu, spojenú s vydaním tejto monografie!

Z ďalších referátov seminára možno spomenúť: **P. VORLÍČEK** sa zaoberal všeobecnými otázkami merania parametrov tvrdosti; **J. VLČEK** referoval o dynamickom chovaní strojov a aplikácii laserinterferometra ML 10 – **Z. NOVÁK** sa v svojom príspevku zaoberal prístrojmi firmy „Taylor Hobson“, ktoré sú v súčasnosti pravdepodobne najlepšimi meradlami na meranie parametrov drsnosti a vlnitosti.

Záverom možno konštatovať, že podujatie bolo odborne profilované veľmi aktuálne. Českej metrologickej spoločnosti treba vysloviť uznanie za veľmi zdarelé podujatie (ako z organizačnej, tak aj z odbornej stránky). Snáď jedna výhrada: asi by bolo účelné pri poriadaní týchto seminárov vymedziť viac času na diskusiu, pretože účastníci potrebujú aj niektoré veci, prednesené v príspevkoch, bližšie prediskutovať.

I. Brezina

Navštívte ELTEC v Norimberku



Euroregionálny odborný elektrotechnický veľtrh ELTEC je organizačne poňadaný každý rok v červnu veľtržní spoločností GHM – Gesellschaft für Handwerksmessen mbH, sídlíci na novom výstavišti v Mníchove, ve spolupráci s bavorskými elektrotechnickými svazmi a priemyslovými organizáciami. Koná sa v pravidelnom cykle striedavo v oboch najväčších bavorských veľtržných areáloch – Mníchove a Norimberku.

Letošní již 26. ročník veletrhu ELTEC 2005 se bude konat ve dnech 15. až 17. června 2005 na moderním, pro nás neďalekém a snadno dostupném norimberském výstavišti. Přes současný světový veletržní útlum obsadí výstavní haly 5, 6 a 7 s užžitnou plochou asi 30 000 m², na které představí své nejnovější výrobky a technologie téměř 500 přímých a mnoho dalších spoluvystavovatelů. Je očekáváno asi 30 000 odborných návštěvníků nejen z Německa, ale i ze sousedního Švýcarska, Rakouska, České republiky, severní Itálie a dalších evropských zemí.

Veletř jednoznačně dokládá, že je chápán jako uznávané fórum elektrotechnické branže. Představuje také vysokou kvalitu a výkonnost německého elektrotechnického průmyslu v oblasti technologičnosti konstrukcí nových výrobků, jejich výrobě, odbytu i praktickému využití. Asi polovina odborníků přichází z malých podniků, více než jedna pětina z průmyslu, další ze specializovaného obchodu, energetických závodů a projektových kanceláří.

Expozice veletrhu budou zaměřeny především na novou a zdokonalenou elektroinstalační systémovou techniku, technické zařízení budov, elektrické ekologické vytápění, ekonomický ohřev užitkové vody, klimatizační a větrací zařízení, průmyslovou osvětlovací techniku a svítidla, výrobky silnoproudé i slaboproudé elektrotechniky, průmyslovou automatizaci a řízení, transformátory, odpojovače a výkonové spínače, jističe, relé, spínací skříně, čidla, akumulátory, elektromotory, pohony, informační a komunikační techniku, měřicí, kontrolní, testovací a regulační přístroje, součástkovou základnu, přijímače, antény a satelitní přístroje, počítače a programy pro elektrotechniku, zpracování dat, vybavení elektrotechnických dílen, dílenské a instalační elektrické nářadí, montážní pomůcky a technologie, spojovací a elektroinstalační materiál, nové kabely

a vodiče pro silové, komunikační, signalizační a datové sítě, nejrozumnější inteligentní přístroje, displeje a obrazovky, zdroje a energetické hospodářství, solární technologie, protipožární signalizaci a ochranu, speciální podnikové a skladové hospodářství, služby, informace pro urbanisty a investory. V nabídce je také technika ochrany životního prostředí a likvidace elektrotechnického a elektronického šrotu, odborná literatura, normy, předpisy, prezentace zúčastněných elektrotechnických svazů a organizací.

Mezi vystavovateli budou především menší a střední výrobci, ale i největší známé elektrotechnické firmy, např. ABB, Busch-Jaeger, Dehn+Söhne, Gira, Kathrein, Menekes, Moeller, Obo Bettermann, Osram, Phoenix Contact, Rittal, Siedle, Siemens a některé další.

Doplňkem veletrhu bude zajímavý a pestrý doprovodný program s řadou přednášek a firemních dnů. Pod názvem TechnoCamp si elektrikářský dorost za spolupráce významných firem může prověřit svoji dovednost při řešení praktických úloh. Pro ně a další návštěvníky je určen Meisterclub. Ve stáncích E-Check budou renomovanými firmami prezentovány odborné informace o novinkách a marketingu v elektrotechnických oborech. Výměna zkušeností není hranicemi omezena. Kdo chce zůstat ve spojení s novým vývojem elektrotechniky a tím také ve spojení s trhem, měl by veletř ELTEC 2005 v Norimberku navštívit. Expozice budou přístupné denně od 9 do 17 hodin. Další a podrobnější informace o vystavovatelích, prezentovaných novinkách, doprovodném programu a dění na výstavišti lze najít na internetových stránkách www.eltec.info nebo www.nuernbergmesse.de.

Veletřní správy GHM i Nürnberg Messe mají zájem, aby na veletř ELTEC 2005 přišlo opět co nejvíce našich odborníků a zejména mladých návštěvníků. Jsou si vědomy velkých cenových rozdílů mezi nákupem vstupenek za eura u pokladen v zahraničí a obvyklým vstupným na našich výstavištích. Proto prostřednictvím jejich zástupce EXPO-Consult + Service s.r.o., Příkop 4, 604 45 Brno, tel.: 545 176 158, e-mail: info@expocs.cz, www.expocs.cz lze získat z předprodeje podstatně zlevněné katalogy a vstupenky za koruny, které ve dnech konání veletrhu platí také pro bezplatné jízdy norimberskou MHD na výstaviště a zpět. Je možné se také přihlásit k připravovaným autobusovým zájezdům.

(jpe)

Souřadnicová měřicí technika

Cílem mezinárodního semináře *Měřicí technika pro kontrolu jakosti* (Plzeň, 8. a 9. března 2005) bylo seznámit jeho posluchače s novými měřicími prostředky, které pomohou průmyslovým podnikům zabezpečit jakost vyráběných strojů a tím i zvýšit konkurenceschopnost těchto organizací. V tomto článku se z přístrojů, o kterých se na semináři jednalo, zaměříme na *třísouřadnicové měřicí stroje* (dále jen CMM - Coordinate Measuring Maschine). Jednak proto, že umožňují provádět složité a přesné rozměrové měření rychle a svým způsobem i ekonomicky. Dalším důvodem, proč věnujeme pozornost této přístrojové skupině, je její velmi rychlý technický i metrologický rozvoj. O tom se ostatně mohli přesvědčit všichni, kteří se uvedeného semináře a navazující výstavy měřicí, kontrolní a zkušební techniky zúčastnili. Získali totiž informace jak o vysoce přesných strojích, tak i o jednoduchých přístrojích, pro které kdosi navrhl výstižný název *souřadnicová posuvka*. U všech CMM, které v tomto článku popisujeme, převládá snaha co nejvíce omezit vlivy dílenského prostředí, pro které jsou tyto stroje určeny, na přesnost měření.

Jednou z novinek italské firmy DEA je CMM *DEA Global eXtra* (obr. 1). Stroj slouží pro kontrolu rozměrných objektů, zejména komponent karoserií automobilů. Předpokládá se nasazení stroje přímo v dílenských podmínkách. Měřicí rozsahy čtyřech modelů této řady leží v rozmezí 3300 mm x 2000 mm x 1500 mm až 4000 mm x 3000 mm x 1800 mm. Snadné manipulaci s kontrolovanými objekty přispívá nízko položený ocelový stůl, na který se kladou měřené objekty. Při konstrukci stroje bylo použito nekonvenčních materiálů, např. měřicí pinola stroje je zhotovena ze spěkaného karbidu křemíku, což zaručuje vysokou tuhost a lepší tepelné chování, než je běžné při použití konvenčních materiálů. Odměřovací systémy ve všech třech osách jsou vybaveny optickými měřítky s velkou rozlišitelností a jejichž součinitel teplotní délkové roztažnosti je certifikován. Snímání měřených prvků je založeno na multisenzorové technologii, která zahrnuje:

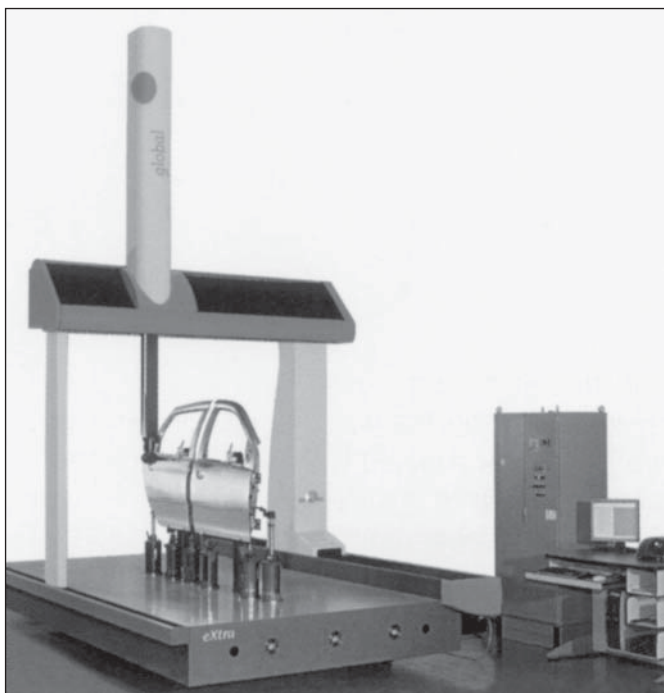
- snímání bodovými elektronickými měřicími sondami,
- skenování analogovou sondou,
- měření laserovou snímací hlavou,
- měření otočnou a výkyvnou hlavou na těžko přístupných místech kontrolovaného předmětu.

Stroje *DEA Global eXtra* jsou vybaveny zařízením pro lineární teplotní kompenzaci *ACTIV* (viz literatura [1]). Nepříznivé teplotní podmínky v dílenském provozu, ve kterém tyto CMM především pracují, vedou k vývoji a použití nových metod pro kompenzaci teplotních vlivů, např. technologie *CLIMA*. Měřené hodnoty se získávají ze sítě jedenácti teplotních senzorů (2 na každém optickém měřítku, 4 na měřicím stole, 1 na kontrolovaném předmětu). Tento systém slouží k lineární teplotní kompenzaci, tak i ke zjišťování geometrických deformací CMM. Proti předchozímu systému umožňuje nový systém *CLIMA* měření v intervalu od 16 °C do 26 °C (zvětšení proti systému *ACTIV* o 6 °C) a s gradientem 5 °C/24 h (zvětšení o 3 °C/24 h) při zachování potřebné přesnosti.

Stroj *DEA Global* a CMM všech výrobců sdružených v Hexagon Metrology jsou vybaveny měřicím a zkušebním softwarem PC-DMIS (výrobce Wilcox Associates Inc.). Pomocí zabudovaných grafických funkcí lze vytvářet různé měřicí a zkušební protokoly. Na základní software navazuje řada volitelných modulů, např.

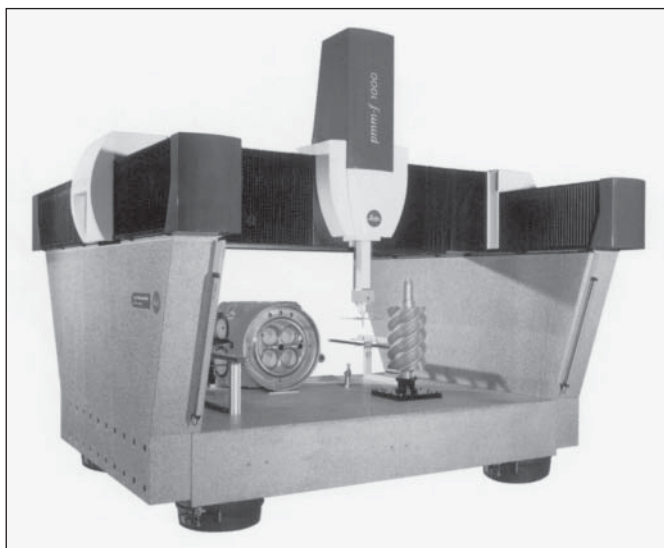
- modul pro sběr a správu naměřených dat v celém výrobním procesu, tj. od vývoje prototypu přes vlastní výrobu po kontrolu jakosti a metrologii,
 - dále pro lineární skenování a skenování obvodu (perimetru) atd.
- Ne všechny CMM jsou nasazeny přímo v dílenském prostředí, jak to ostatně ukazují četné příklady z odborné literatury. Ve [2] je popsán plně automatizovaný výrobní úsek jedné italské strojírenské firmy, jehož základ tvoří 5 čtyř- a pětiosých obráběcích center. Systém pracuje v téměř nepřetržitém provozu (20 h denně, 30 dní v měsíci). Kontrolu jakosti výroby zajišťují dva CMM, umístěné v měřicí laboratoři s monitorovanou teplotou. Jedním z těchto strojů je nový typ *DEA GLOBAL* s měřicími rozsahy $x = 1500$ mm, $y = 3300$ mm, $z = 1400$ mm. Oba stroje jsou přizpůsobeny automatickému provozu výrobního úseku, jsou např. vybaveny zásobníkem nástrojů pro jejich automatickou výměnu a měřicím softwarem PC-DMIS pro řízení a vyhodnocování měřicích operací. Všechny měřicí programy se vytvářejí v režimu off-line a v učicím režimu. Tak se vylučují všechny prostoje CMM, vztahující se k programování. Oba stroje pracují denně v desetihodinových směnách. Tím je umožněna soustavná kontrola jakosti výroby (stoprocentní u klíčových dílů, výběrová v rozsahu 5 až 10 % u sériově vyráběných součástí). Nasazením těchto CMM se vytvářejí předpoklady nejen pro velmi dobrou kvalitu výroby, ale nepřímo i pro dobrý stav výrobních zařízení a zabraňuje se, popř. předchází se vzniku negativních trendů při obrábění.

Použití nekonvenčních materiálů, popsané u CMM *DEA GLOBAL eXtra*, je běžné i u jiných výrobců CMM. Tak např. americká firma Brown & Sharpe používá u mostového CMM *ONE*, resp. u jeho měřicího stolu a pinoly hliníkovou slitinu s karbidem křemíku. Její součinitel teplotní délkové roztažnosti se blíží hodnotám typickým pro ocel. Jde navíc o materiál s nízkou hmotností, což přispívá ke snížení hmotnosti celého CMM, takže se mohou použít i méně výkonné motory, a vznikající teplo, které je jedním z hlavních zdrojů teplotních deformací stroje, je menší. Jinou zajímavostí je polymer použitý pro základové těleso CMM. Jeho tlumicí schopnosti jsou desítkrát lepší než u konvenčních materiálů. To se příznivě projevuje zejména v souvislosti s eliminací vysokých frekvencí chvění, které ovlivňují přesnost měření.



Obr. 1 Souřadnicový měřicí stroj DEA Global eXtra

Dalším z popisovaných CMM je **PMM-F** (obr. 2, výrobce Leitz, Německo). Stroj mostové konstrukce se vyznačuje velkými měřicími rozsahy, vysokou přesností a necitlivostí proti vlivům okolního prostředí. Používá se pro kontrolu rozměrných objektů zejména v letectví, ve strojírenství a automobilovém průmyslu. Typické měřicí rozsahy jsou $x = 3000$ mm, $y = 2000$ mm, $z = 1000$ mm. Posuvová rychlost dosahuje až 600 mm.s⁻¹, zrychlení max. $2,5$ m.s⁻². Optiko-elektronická měřítka ve všech třech osách jsou ze skleněné keramiky (*Zerodur*). Její součinitel teplotní délkové roztažnosti je téměř nulový. Konfigurace měřících sond umožňuje jejich automatickou výměnu bez následné recalibrace. Pomocí zvláštního softwaru lze kontrolovat téměř všechny složité geometrie, např. ozubení, odvalovací frézy, turbínové lopatky, globoidní šneky apod.



Obr. 2 Souřadnicový měřicí stroj Leitz PMM-F

I když popsané typy CMM jsou vhodné jak pro dílenské prostředí, tak i pro měřicí laboratoře, objevují se mezi CMM zajímavé nové typy určené především pro nasazení v dílně. Od předchozích typů se liší zejména jednoduchostí a snadností obsluhy, takže je mohou obsluhovat i výrobní zaměstnanci po několikahodinovém zaškolení. Jedním z takových CMM je **TESA MICRO-HITE 3D** (obr. 3), který tvoří přechodový článek mezi elektronickými dílenskými přístroji (výškoměry) a tříosými měřicími systémy. Obsluha přístroje je manuální, což je pro daný účel výhodné. Mohou se však použít i složitější metody, např. v reverzním inženýrství se data tvaru obrobku mohou digitalizovat do formátu CAD. Svými měřicími rozsahy ($x = 400$ mm, $y = 450$ mm, $z = 500$ mm) je přístroj vhodný pro kontrolu malých a středně velkých součástí. 22 aerostatických ložisek vytváří u přístroje vzduchový polštář, který umožňuje pohyby ve všech třech osách prakticky bez tření. K odměřování slouží optická měřítka s optoelektronickými snímači. Výrobce tohoto přístroje, švýcarská firma TESA, jej vybavila měřicími hlavami vlastní koncepce (obr. 4):

- měřicí hlavou **TESA STAR** s nastavitelnou měřicí silou (rubínový hrot nejmenšího doteku má průměr 0,5 mm),
- špičkovou snímáči otočnou a výkyvnou hlavou **TESA STAR-i** Tato výkyvná hlava představuje vlastně miniaturní souřadnicový měřicí systém.

Použitím přídatné CCD kamery s monitorem se může kontaktní měřicí systém změnit na bezdotykový optický. Zajímavým ergonomickým řešením je umístění ovládací myši na pinolu přístroje.

V tab. 1 uvádíme pro porovnání mezní dovolené chyby, resp. nejistoty měření popsaných CMM (mezní dovolené chyby jsou stanoveny v souladu s normou EN ISO 10360-2).



Obr. 3 Přístroj TESA MICRO-HITE 3D



Obr. 4 Měřicí hlavy TESA

Tabulka 1

Měřicí zařízení (CMM)	Mezní dovolená chyba
DEA Global eXtra	$(12 + 18.L/1000) \mu\text{m}$
PMM-F 30.20.10	$(1,9 + L/400) \mu\text{m}$
TESA MICRO-HITE 3D	$(3 + 3.L/1000) \mu\text{m}$

Poznámka: L .. měřená délka v milimetrech

Čeněk Nenáhlo, dipl. tech., Česká metrologická společnost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Jan HOŠEK, Ústav přístrojové a řídicí techniky, FS ČVUT, Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, Praha

Uchycení a justáž rozměrných funkčních částí optického zařízení

Práce se zabývá návrhem a realizací způsobu uchycení rozměrných funkčních optických částí experimentálního zařízení, umožňující jednotlivým částem hrubou justáž a zároveň aretaci v požadované pracovní poloze. Navržený způsob uchycení rozměrných optických částí přístroje umožňuje jejich justáž ve všech třech osách a rotaci okolo tří os. Vůle v posuvech se až na výjimku horizontálního posuvu a rotace okolo vertikály vymezuje vlastní hmotností jednotlivých justovaných částí.

1. ÚVOD

Velmi mnoho měřicích optických přístrojů se skládá ze dvou základních částí – zdroje záření a detektoru, mezi kterými se nachází vlastní měřená část, modifikující měřitelným způsobem procházející záření. Cílem justáže těchto dvou základních částí je ztožnit optickou osu vystupující ze zdroje záření s optickou osou detektoru záření, do kterého bude modifikovaný svazek vstupovat. V případě, že z konstrukčních nebo rozměrových důvodů nelze umístit jednotlivé části optického zařízení na společnou základnu nezbyvá než vyřešit jejich uchycení a justáž samostatně a nezávisle.

Tento článek se zabývá uchycením a justáží osvětlovací a detekční části optické aparatury pro měření kondenzace v rázové trubici popsané v článku [1], kde obě části mají relativně velké rozměry a hmotnost - osvětlovací část: 310 x 480 x 880 mm, hmotnost 25 kg, detekční část: 450 x 230 x 630 mm, hmotnost: 35 kg. Navíc všechny optické části tohoto zařízení musejí být vibračně oddělené od měřicího prostoru rázové trubice, aby nedocházelo k přenosu chvění do optického měřicího zařízení a tím k ovlivnění dat. Přes konkrétní aplikaci navrženého uchycení a justáže na zmíněném zařízení bude možné tento způsob uchycení aplikovat obecně na jakékoli jiné zařízení obdobných parametrů včetně modifikace počtu justážních pohybů.

2. KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Vzhledem k převážně vertikálním rozměrům obou justovaných optických částí zařízení byla základní deska obou částí navržena do vertikální polohy. Pro řešení uchycení takovéto samostatné optické části byl navržen třífodový asymetrický závěs. Výhodou tohoto navrženého závěsu je statická určitost, jednoznačnost a opakovatelnost polohy i po vyjmutí a jednoznačné směry reakcí od základny, které lze využít pro vymezení vůlí v justážních pohybech. Schéma principu navrženého třífodového asymetrického závěsu je na obrázku 1.

Závěs má tři styčné body se základnou, a to dva nad úrovní těžiště nesené části a jedno pod těžištěm. Rovina procházející těžištěm nesené části a kolmá na spojnicí dvou horních styčných bodů musí zároveň ležet mezi nimi. Aby bylo uložení v závěsu staticky určité jsou jednotlivé podpory uloženy do důlku – podpora A, do drážky směřující do osy důlku podpory B – podpora R_2 a vertikální plocha procházející podporami A a B – podpora N.

V tomto článku jsme se pokusili ukázat na některé druhy CMM a na možnosti jejich nasazení v průmyslu. Tato problematika je však mnohem širší a proto se k ní také vrátíme v některém z příštích čísel JMO.

Literatura

- [1] Nenáhlo Č.: Vliv teploty na výsledky měření. *Jemná mechanika a optika* 6/2004
- [2] Automation in höchstem Masse, Mess-Zirkel, Nummer 2, April 2004, Hexagon Metrology (www.hexagon.se).

Toto uložení důlek-drážka-plocha [2] zajistí i opakovatelnou polohu celé nesené součásti i při jejím vyjmutí.

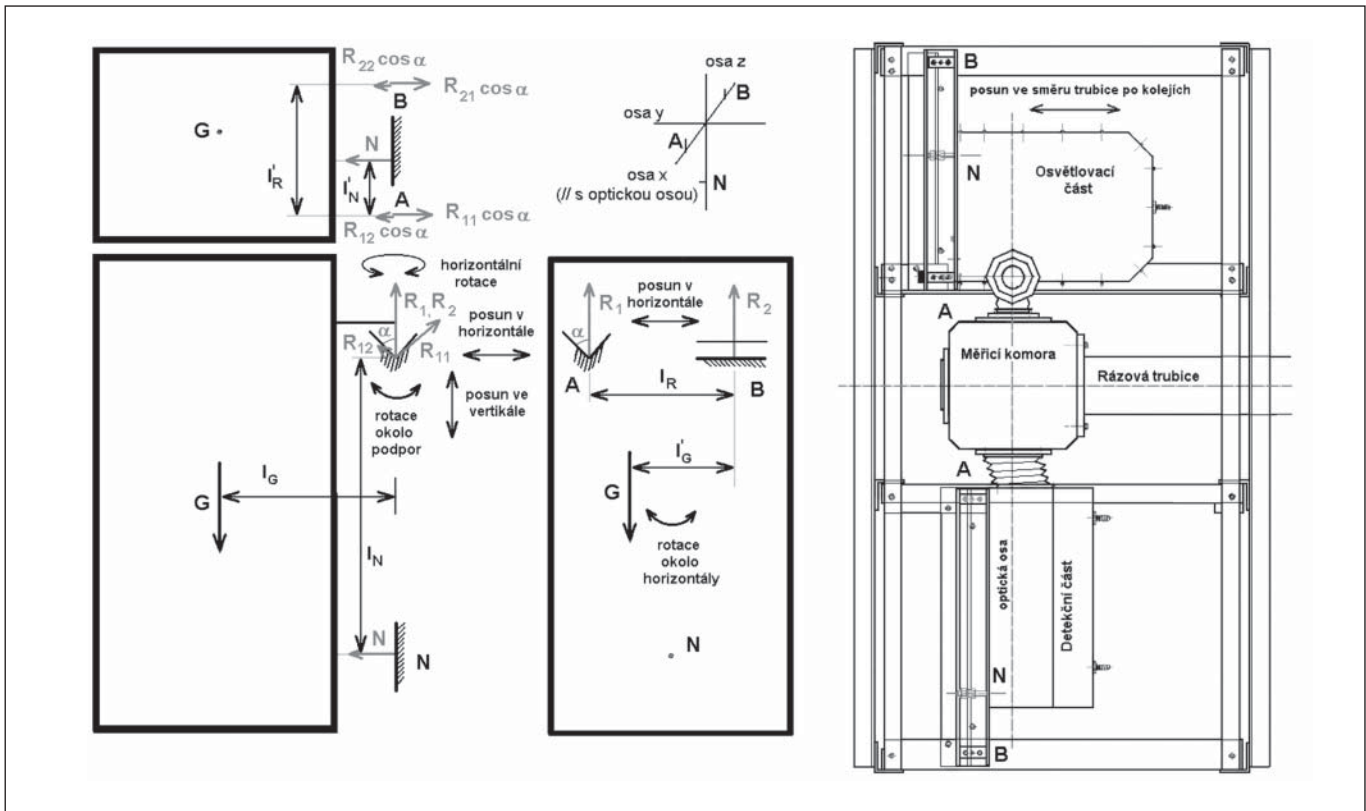
Tíha nesených částí se rozloží do reakcí v jednotlivých podporách podle vztahů:

$$\begin{aligned}
 x: & \quad N + \cos \alpha (R_{12} + R_{22}) = \cos \alpha (R_{11} + R_2) \\
 y: & \quad G = \sin \alpha (R_{11} + R_{12} + R_{21} + R_{22}) \\
 M_O: & \quad G \cdot l_G = N \cdot l_N \quad (1) \\
 M_A: & \quad N \cdot l_N' = l_R' \cos \alpha (R_{21} - R_{22}) \\
 M_B: & \quad G \cdot l_G' = l_R \sin \alpha (R_{11} + R_{12}),
 \end{aligned}$$

kde M_A je moment k podpoře A, M_B je moment k podpoře B, M_O je moment k spojnicí podpor A a B a α je vrcholový úhel důlku podpory A a drážky podpory B. V případě naklonění nesené části z vertikální polohy je nutné do rovnic zanést také úhly natočení a místo reakcí počítat jejich složky. Avšak pro malé úhly naklonění jsou změny ve velikostech reakcí malé a například pro návrh dostatečně únosných podpor postačí počítat dle rovnic (1). Směr reakcí zůstává stejný jako na obrázku 1 až do chvíle, kdy by těžiště nesené části prošlo vertikální rovinou pod spojnicí dvou horních podpor.

Toto uložení však nedovoluje žádný justážní pohyb nesené součásti, a proto je použitelné pouze u jediné části měřicí soustavy. Vůči té se pak musejí všechny zbylé části zjustovat. Proto je nutné navržený závěs vybavit požadovanými justážními pohyby. V případě, že se dílům podpor nesené části umožní pohyb ve směru reakcí R_1 , R_2 a N, například pomocí závitového spojení, získá nesená část tři stupně volnosti – posun v ose vertikály, rotace kolem spojnice dvou horních podpor a pomocí nastavení různé délky dílů horních dvou podpor i rotace kolem horizontály, jak je naznačeno na obrázku 1. Využití směru reakcí má za výhodu vymezení vůle v závětech a tím i bezvůlovou justáž těchto pohybů. Zbylé justážní pohyby lze získat tak, že obě dvě horní podpory – důlek a drážku umístíme na horizontální vedení připevněné k základu. Tím získáme oba posuvy v horizontálním směru a v případě nezávislého posunutí jednotlivých podpor ve vedení i horizontální rotaci kolem vertikální osy.

Při použití jemných závitů a kvalitního horizontálního vedení lze tímto způsobem justovat velmi přesně. Je však třeba si uvědo-



Obr. 1 Schéma uložení rozměrné optické části pomocí tříbodového asymetrického závěsu - vlevo, půdorys na celého optické zařízení - vpravo

mit, že posouvání podpor pomocí závitů nebo horizontálního vedení má za následek změnu polohy všech rotačních os. Nevýhodou jsou také malé rozsahy justážních pohybů, zejména rotací, které jsou dány délkou použitých vedení a závitových spojení a roztečí jednotlivých podpor l_N a l_R .

3. REALIZACE JUSTÁŽNÍHO UCHYCENÍ

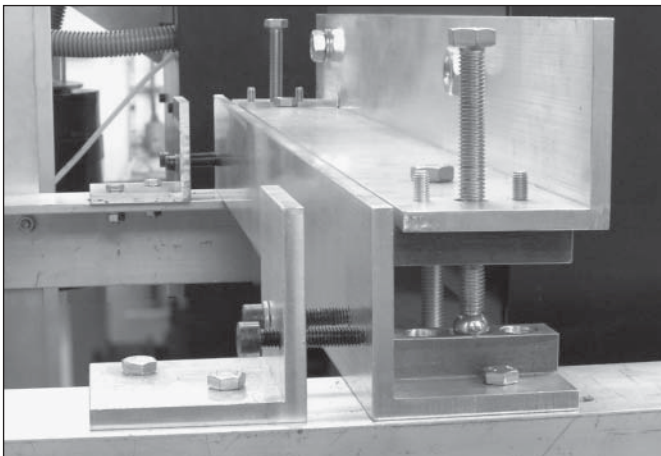
Uvedený způsob uchycení byl navržen pro uchycení osvětlovací a detekční části optické aparatury pro měření kondenzace v rázové trubici. Dále byl proveden rozbor nutných justážních pohybů jednotlivých částí zařízení, aby se počet justážních pohybů maximálně zredukoval. Celé měřicí zařízení se skládá ze tří částí: měřicí komory rázové trubice, osvětlovací části, která generuje málo divergentní svazek záření ruťové výbojky o průměru 20 mm a s ním paralelní laserový svazek a detekční části, do které vstupuje záření obou zdrojů po průchodu měřicí komorou k vyhodnocení. Optická osa zařízení je rovnoběžná se spojnicí podpor závěsu A-B, jak je vidět na obrázku 1 vpravo. Z důvodu vibroizolace optiky od rázové trubice jsou všechny optické části umístěny na samostatné příhradové konstrukci a musí být justovatelné vůči poloze oken měřicí komory. Protože poloha měřicí komory bude měnitelná v horizontální ose rázové trubice, bude příhradová konstrukce optiky posuvná po kolejničích paralelních s osou trubice. Po nastavení správné polohy svazku vystupujícího z osvětlovací části do průzoru měřicí komory bude konstrukce zaaretována přišroubováním ke kolejničím. Pro justáž optické osy zdroje a detektoru tedy musí být obě tyto části posuvné ve vertikálním směru. Protože kolmost optické osy vůči ose rázové trubice je dána směrem kolejnič a pro měření není podstatná a úhel ve vertikálním směru je nastavitelný justáží uvnitř osvětlovací soustavy, nevyžaduje již osvětlovací část jinou justáž než ve vertikálním směru. Naproti tomu detekční část musí být pro ztotožnění optické osy z konstrukčních a tolerančních důvodů justovatelná jak v rovině kolmé na optickou osu tak i ve všech třech rotačních osách. Nemusí se justovat jen ve směru optické osy, protože do detektoru vstupuje téměř rovnoběžný svazek. Velikost lineárních justážních pohybů obou

částí byla zvolena na ± 20 mm. Z toho a z geometrických vzdáleností podpěr detektoru: $l_N = 520$ mm a $l_R = 375$ mm vychází maximální možnost justáže úhlu okolo os y a z na $\pm 6^\circ$ a okolo osy x na $\pm 4,4^\circ$.

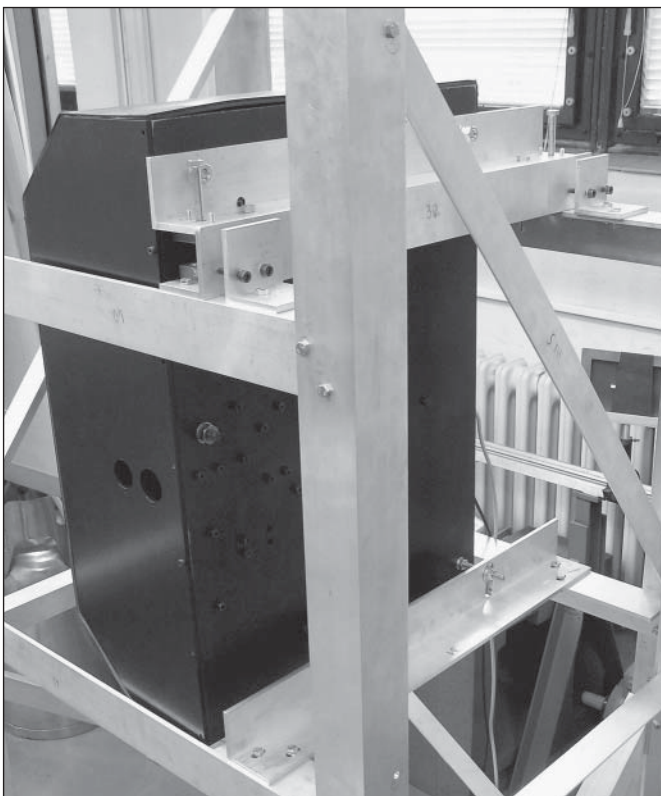
Protože správná poloha optické osy vůči průzorům komory bude při seřizování kontrolována vizuálně průchodem celého svazku a správná poloha optické osy detektoru vůči procházejícímu svazku bude určena maximální hodnotou výstupů jednotlivých fotodetektorů, tak nejsou kladeny požadavky na odměřování nastavení, ale pouze na snadnou manipulaci při nastavování. Jako vedení byly použity řezané závitů a jako posuvové členy běžné šrouby, které vyhoví přenášeným silám a momentům. Pro vertikální posuv byl zvolen šroub M8x80 se stoupáním 1,25 mm uloženém v závitě délky 12 mm. Vlastní dotek se základem – důlek, drážka, byl realizován pomocí kuliček $\varnothing 11,6$ mm, pro které byly v čelech šroubů vysoustruženy kuželové dosedací plochy. Aretace pohybu se provede přišroubováním pohybové části k základu průchozím šroubem a maticí. Horizontální pohyb byl realizován dvěma páry tlačných a tažných šroubů M6x40 se stoupáním 1 mm na krajích příhradové konstrukce. Pohled na realizaci jak horizontálního tak vertikálního justážního pohybu je vidět na obrázku 2. Poslední dotek na plochu nebyl realizován kuličkou s bodovým stykem, ale pro snadnou aretaci byl zvolen průchozí šroub M8x80 se stoupáním 1,25 mm na kterém požadovaný styk zajišťovala matice s podložkou a aretace se provádí z druhé strany další maticí. Šroub prochází vyfrézovanou oválnou drážkou umožňující jeho vertikální pohyb ± 25 mm. Příčný pohyb je realizován příčným posunem L profilu tvořícího základ. Realizace všech tří doteků je vidět na obrázku 3 a celá příhradová konstrukce zařízení na obrázku 4.

Protože požadavkem na justáž je pouze snadné dosažení optimální polohy a nikoli její odměřování, bylo provedeno měření sil nutných k vyvolání justážních pohybů. Ani jeden z posuvových šroubů není určen k ovládání přímo rukou, ale z nedostatku prostoru vždy vhodným klíčem. Proto byla měřena obvodová síla ve vzdálenosti, kde je možné klíč uchytit. Z měření vycházejí pro vyvolání pohybu následující síly:

Horizontální pohyb ve spodním doteku:	vzdálenost: 100 mm	síla: 0,5 N
Horizontální pohyb v horním doteku:	vzdálenost: 75 mm	síla: 0,55 N
Vertikální pohyb v horním doteku:	vzdálenost: 100 mm	síla: 1 N



Obr. 2 Detail justážního členu horního dotiku



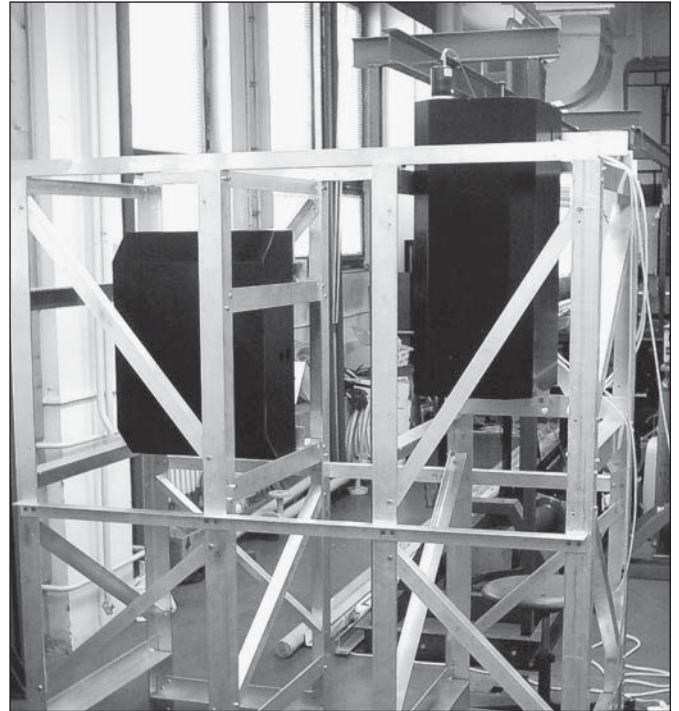
Obr. 3 Pohled na realizaci všech tří doteků detekční části zařízení

Protože doporučená překonávaná síla by měla být v rozsahu 0,5 – 5 N [3], je vidět že všechny pohyby jsou dobře ovladatelné. Vymezení vůle v závitech vlastní vahou zařízení dotváří velmi příjemný subjektivní pocit při justáži. Vyšší síla pro ovládání vertikálního pohybu horního doteku než jeho horizontálního pohybu je důsledkem namáhání vertikálního šroubu nejen osovou silou, ale také momentem od sil R_{ij} , $i, j \in 1, 2$, který v závitovém vedení vyvolává

zvýšené tření. V souvislosti s tím je nutné vhodně navrhnout úhel drážky a důlku α tak, aby výslednice sil $R_{11} + R_{12}$ a $R_{21} + R_{22}$ nevyvolaly vypadnutí nesené části z horních doteků. Protože bylo vyzkoušeno, že klíčem lze bezpečně nastavit 1/8 otáčky vychází z této hodnoty a ze stoupání jednotlivých ovládacích šroubů výpočtem určená bezpečná citlivost nastavení:

Pohyb v ose y: 0,125 mm	Rotace kolem osy x: 1' 26''
Pohyb v ose z: 0,156 mm	Rotace kolem osy y: 1' 2''
	Rotace kolem osy z: 1' 9''

Využití uvedené citlivosti je ovšem podmíněno dostatečnou tuhostí celého zařízení.



Obr. 4 Pohled na příhradovou konstrukci, která nese celé optické měřicí zařízení

5. ZÁVĚR

Byl proveden a realizován návrh uchycení a justáže rozměrných funkčních částí optického zařízení pomocí třibodového asymetrického závěsu. Tento závěs je staticky určitý se zaručením opakovatelnosti polohy a umožňuje justáž v šesti stupních volnosti nastavovaného tělesa. Navržený závěs je vhodný pro uchycení a justáž jakékoli samostatné části zařízení s možností volby počtu seřizovaných stupňů volnosti a modifikovatelné přesnosti a citlivosti justáže.

Práce byla podpořena grantem GA AV ČR A2076203.

Literatura

- [1] J. Hošek, K. Studenovský, J. Hrubý: „Konstrukce optické aparatury pro měření kondenzace v rázové trubici“, *Jemná mechanika a optika*, Vol 48, No 8-9/2003, 249-253.
- [2] M. Hansa: „Nejpřesnější mechanismy“, SNTL, 1964.
- [3] K. Studenovský: „Stolek y, z, r_y, r_z pro fotometrii a radiometrii“, *Jemná mechanika a optika*, Vol 49, No 5/2004, 146-150.
- [4] J. Hošek, J. Hrubý, K. Studenovský: „Optical Setup for Condensation Measurement with a Shock tube“, *Czech-Finish Aerosol Symposium*, Prague, May 23-26, 2002.

Pamětní medaile k 60. výročí ukončení II. světové války



Květen 1945 - rodiče Paula Rausnitze a jejich synové (zleva) Egon, Walter a Paul



Květen 2005 - Paul Rausnitz na Pražském hradě u příležitosti slavnostního shromáždění k 60. výročí ukončení druhé světové války

V květnových dnech si celý pokrokový svět připoměl 60. výročí ukončení II. světové války. Ve všech zemích proběhla vzpomínková schromáždění k uctění památky obětí války a setkání s válečnými veterány jimž vděčíme za naši existenci. 7. května 2005 byl prezidentem republiky, Václavem Klausem, předsedy Senátu, Poslanecké sněmovny a vlády České republiky pozván do Španělského sálu Pražského hradu i pan PAUL RAUSNITZ, který s bratry a rodiči v Svoobodově armádě bojoval na východní frontě a účastnil se našeho osvo-

bození. Pamětní medailí 60. výročí ukončení II. světové války byl poctěn i Ruskou federací, prezidentem Putinem.

Připomínáme tuto událost s obdivem a úctou, nejen pro minulost, ale především pro budoucnost, pro kterou člověk a vlastenec, pan Paul Rausnitz nikdy nesložil „zbraně“.

Do dalších let Vám, jako členu redakční rady přejeme hodně zdraví a sil k uskutečnění dalších cílů.

Redakce a redakční rada časopisu Jemná mechanika a optika

Rakouská Reed Exhibitions je úspěšná

V našem časopisu uvádíme kalendáře nejvýznamnějších technických odborných veletrhů, zajímavých pro mechaniky, optiky, zdravotníky, energetiky, elektrotechniky a ostatní čtenáře ze souvisejících oborů. Mezi zahraničními pořadateli jsou také veletržní společnosti Messe Wien a Messe Salzburg, které pořádají veletržní akce hojně navštěvované i našimi odborníky, např. odborný veletrh měřicích a zkušebních technik MESSTECHNIK AUSTRIA, veletrh strojů a výrobní techniky INTER-TOOL AUSTRIA, mezinárodní veletrhy BAUEN & ENERGIE a BAUEN + WOHNEN, odborný veletrh ochrany životního prostředí POLLUTEC EAST & CENTRAL EUROPE, veletrh elektrotechniky, energetiky, elektroniky, automatizace a pohonů VIET i mezinárodní odborné veletrhy AQUA-THERM INTERNATIONAL.

Tyto samostatné společnosti převzala veletržní správa Reed Exhibitions v Rakousku, která je součástí skupiny na světě největšího soukromého pořadatele veletrhů Reed Elsevier Group. Zaměstnává asi 36 000 pracovníků. Evropská společnost Reed Exhibitions s hlavním sídlem v Londýně má 2200 zaměstnanců, pořádá ročně 430 akcí za účasti 90 000 vystavovatelů a 4 mil. návštěvníků. Své pobočky má ve 32 zemích, je silně zastoupena ve Velké Británii, Francii, Itálii, Španělsku, Německu i Rakousku. Pobočky ve Vídni a Salcburku mají 250 zaměstnanců, ročně pořádají 45 akcí za účasti 9000 vystavovatelů (2250 ze zahraničí) a 500 000 návštěvníků (75 000 ze zahraničí). Obě jsou lídry na trhu v pořádání odborných veletrhů a obchodních akcí. Svou činnost konají nezávisle na svém sídle tam, kde je trh vyžaduje. Mezi nimi jsou také veletrhy AQUA-THERM INTERNATIONAL, pořádané v jejich licenci již v deseti evropských městech. U nás jsou to AQUA-THERM PRAHA a na Slovensku AQUA-THERM NITRA, organizované pražskou veletržní agenturou Progres Partners Advertising s.r.o. Nabývají stále většího rozsahu a významu, jsou přitažlivější nejen pro vystavovatele, ale i odbornou a laickou veřejnost.

Rakousko je jednou z nejbohatších zemí Evropské unie a je výhodou, že je v našem sousedství. V mnoha odvětvích je potencionálním trhem s rostoucími možnostmi zahraničního obchodu. Rakouské odbor-

né veletrhy jsou pro vystavovatele i návštěvníky velmi zajímavé. Jediným přínosem je také nedávno postavená veletržní infrastruktura na vídeňském výstavišti. Město Vídeň vybuďovalo jedno z nejmodernějších veletržních center Evropy, které nabízí optimální rámcové podmínky pro kvalitní průběh veletrhů. Také v Salcburku se do Veletržního centra velmi promyšleně investovalo. Má 15 výstavních hal na ploše 35 000 m², zcela novou víceúčelovou městskou halu a 3500 parkovacích míst.

Další a podrobnější informace o společnosti Reed Messe Wien GmbH lze najít na internetových stránkách www.messe.at a o společnosti Reed Messe Salzburg GmbH na www.reedexpo.at. Nejvýznamnějším partnerem v ČR pro technické odborné veletrhy je Progres Partners Advertising s.r.o., Opletalova 55, 110 00 Praha 1, tel.: 224 234 274, fax: 224 235 033, www.ppa.cz, e-mail: info@ppa.cz.

(jpe)



Vstupní foyer s věží před Kongresovým centrem a halou A na výstavišti ve Vídni

CONTENTS

Impact of optical systems on measurement accuracy

(V. Obr) 143

An optical system is a basic part of the most geodetic measuring instruments. Not only quality but also a type of the used design directly affects and determines limits of achievable measurement accuracy. The presented paper introduces two basic but so far neglected sources of measurement errors in geodesy which arise from optical image theory. The first one occurs from neglecting the influence of real optical system - i.e. the impact of lateral beam aberration. The second error is of design character. It is caused by using of the Wild telescope with inner beam focusation. This work analyses the impact of these two phenomena on the measurement accuracy and suggests the method of their compensation.

Realisation of the radiant flux scale by means of silicon photodiodes (P. Nemeček, R. Nemeček) 147

The scale of spectral radiant flux is the fundamental of the optical units metrology. As the primary standards for realisation this scale are silicon photodiodes in TRAP configuration used. These photodiodes are characterised by external and internal quantum efficiency. Method of experimental obtaining these is described in this article.

KASSANDRA, the Automatic Tester for Fine Sorting of Rolling Bearings (J. Ber, J. Tůma) 151

The paper deals with processing of vibration signals recorded during control quality test of the rolling bearings at the output of production lines. The main topic is focused on detecting the fine and random defects of the rolling bearings. The rolling bearing tests are based on the German standard designated by DIN 5426-1 (Juli 1995) and American one designated by ANSI/AFBMA Standard 13 1987 while draft of the ISO standard is taken into account. The paper describes the implementation of the digital signal processor (DSP) for signal filtration and detection peaks contaminating the vibration signal. The DSP is interfaced to the programmable logic controller (PLC). Special attention is focused on the software for DSP. All the algorithms for signal processing were successfully verified in the automated testing machine that is sorting rolling bearings into three groups according to their quality.

Simple measurement of geomagnetic field (F. Sedlák) 155

Monitoring the intensity of geomagnetic field allows us to obtain additional valuable data concerning Earth and also more information about activity in its neighbourhood, by reason that a geomagnetic field is also interacting with cosmic processes. The aim of this work is a measurement of the size and direction of magnetic induction vector by means of the most simple, commonly accessible devices.

HERMES AWARD in trade-fair HANNOVER MESSE 2005 (iev) 156

Basic methods for brightness measurement (P. Horňák) 160

It has been shown that a brightness measurement is often improvised. Therefore a test-room staff have to verify the measured or relevant computed data whether they are probable. In such a procedure it is necessary to keep the brightness measurement under normalised conditions.

Loan SPIE/CS library rules 161

Recent acquisitions of the SPIE/CS library 161

Laser diode modules - recent developments 162

Changes in medical fairs MEFA and REHAPROTEX

(B. Knopová) 164

14th international workshop "Measurement techniques for quality control" (I. Brezina) 165

Come to see ELTEC in Nürnberg (jpe) 165

Co-ordinate measuring technique (Č. Nenáhlo) 166

Mounting and Alignment of a Sizeable Optical Parts

(J. Hošek) 168

The article discuss a design and implementation of a mounting and alignment of functional optical parts of an experimental apparatus. Discussed mounting enable alignment of the carrying part in all degrees of freedom and locking it in exact position. The number of degrees of freedom used in the mounting and its alignment precision can be modified. The backlash of shifts is delimited by the mass of the supported part. The discussed mount was applied in real arrangement.

Commemorative medal for 60 anniversary

of WWII cease 171

Austrian Red Exhibition is successful (jpe) 171

ANOTACE

Modelování vývoje teplotního pole při laserovém povrchovém zpracování materiálu (M. Stranyánek, M. Havelková, H. Chmelíčková, M. Hrabovský) 157

Laserové povrchové zpracování lze užít k vylepšení lokálních vlastností materiálu jako jsou odolnost proti korozi a opotřebením. Dosažení žádaných modifikací v substrátu je, mimo jiné, založeno na mikro-strukturálních změnách, které jsou zapříčiněné časovými změnami teplotního pole v materiálu vyvolané interakcí s laserovým svazkem. V článku je uveden numerický model dynamického teplotního pole uvnitř laserem zpracované vrstvy. Simulace kalkulované softwarem SYSWELD založeném na metodě konečných prvků jsou konfrontovány s experimentem. Reálná povrchová struktura byla vytvořena technologií laserového povlakování na nízkouhlíkové oceli obvyklých vlastností s práškovým přídavným materiálem na bázi niklu pomocí výkonového CO₂ laseru.