

11-12
2006

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

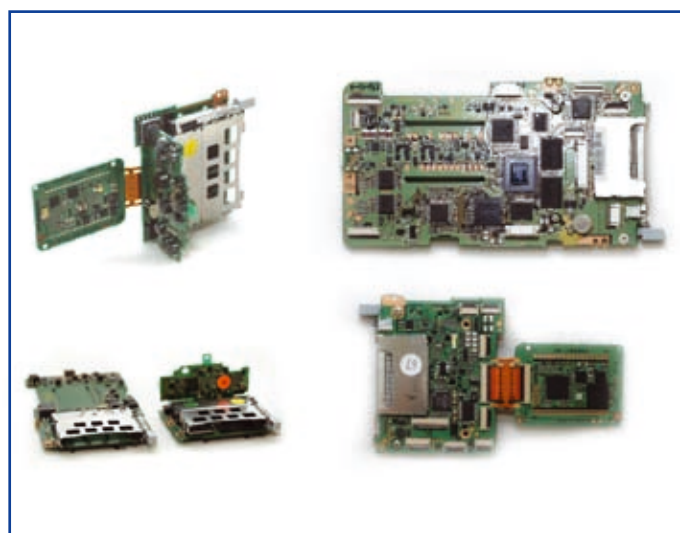
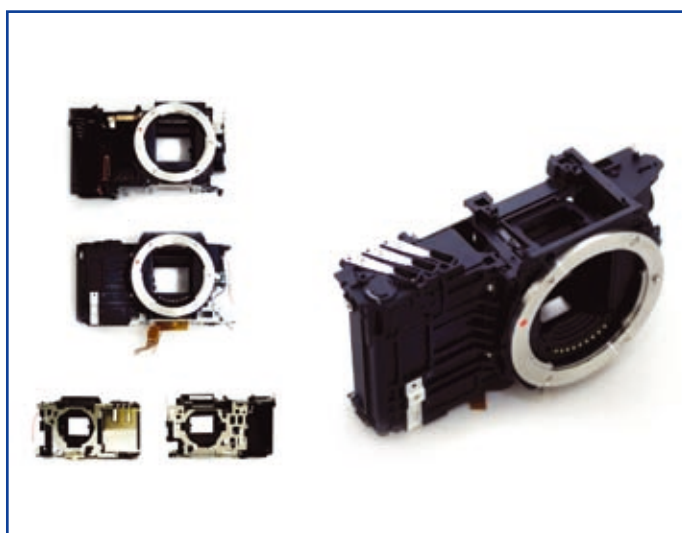
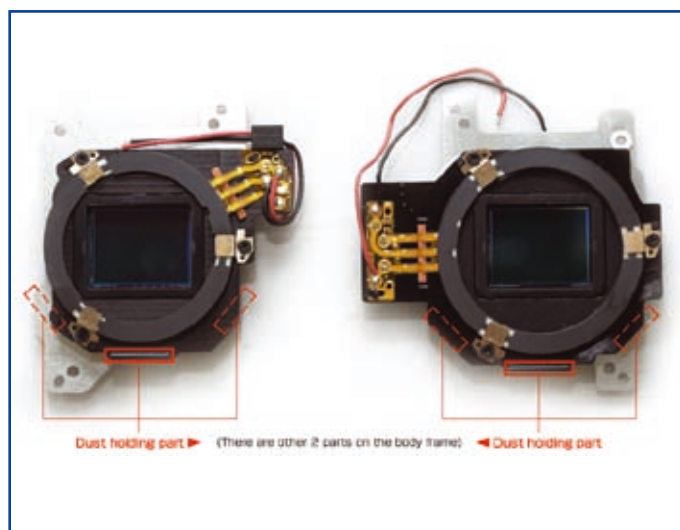
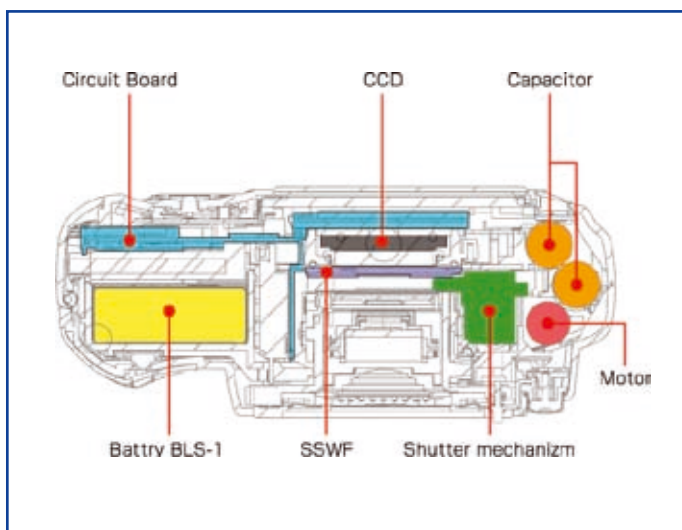
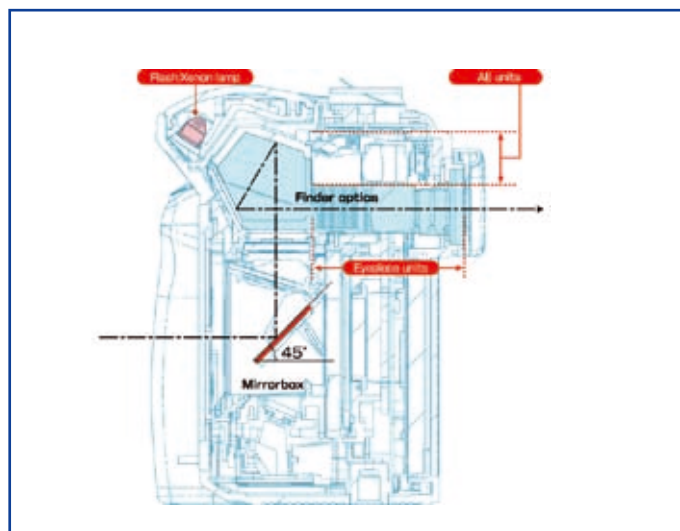
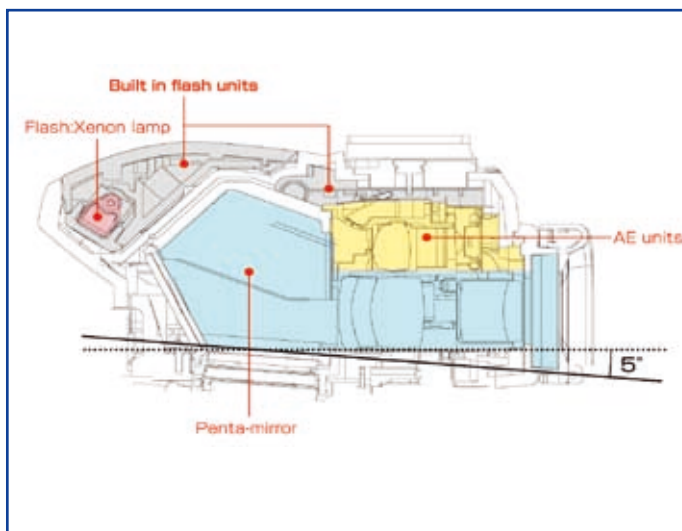
FINE MECHANICS AND OPTICS



**Olympus představuje nejmenší
a nejlehčí digitální zrcadlovku na světě**

Olympus E-400 - nová koncepce, špičková konstrukce, nové technologie

- to je nejmenší a nejlehčí digitální zrcadlovka na světě.



REDAKČNÍ RADA

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

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Predsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, doc. RNDr. Vojtěch KRÉSÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, 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, s.r.o., Přerov, prof. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Monika MÍCHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PÍŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDEŘÁKOVÁ, Ph.D., 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 University, U. K.; Paul RAUSNITZ, TCI New York, U. S. A.; Rodney J. SOUKUP, University of Nebraska-Lincoln, U. S. A.; M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.; Emil WOLF, University of Rochester, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky za spoluúčasti The International Society for Optical Engineering (SPIE/CS) v Nakladatelství 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: pelcova@optnw.upol.cz

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

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

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

Rozšiřuje vydavatel, Podniková prodejna Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

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

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

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

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2006

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 51 11 - 12/2006

OBSAH

Významné životní jubileum profesora Peřiny (Z. Hradil, Z. Bouchal)	295
XV. česko-polsko-slovenská konference o optice (M. Jedlička)	295
Srovnání simulace opotřebení kloubních implantátů s výsledky jeho měření pomocí optických 3D metod (D. Mandát, M. Pochmon, M. Hrabovský, T. Rössler)	297
Zlepšování vizuální čitelnosti rentgenogramů v elektronické formě (J. Sedláček)	299
Interferenčně modulovaný laserový svazek a jeho využití v moiré topografii (L. Bartoněk, J. Keprt)	302
Konference EOS Topical Meeting 2006 v Paříži (J. Pala)	307
Vliv zdvojení obrazu na funkci přenosu kontrastu optické soustavy (R. Melich, Z. Melich)	308
Měření spektra svític diody pomocí interferenční spektroskopie (P. Pavlíček, O. Hýbl)	312
Kompaktní optická pinzeta (M. Šerý, Z. Lošťák, M. Kalman, P. Jákl, P. Zemánek)	316
Optická identifikace topografie povrchu obrobeného abrazivním vodním paprskem (J. Valíček, S. Hloch)	320
Měřicí technika pro kontrolu jakosti	322
Analýza vztahu morfológie obrobeného povrchu a času rezání (M. Gombár)	323
Stanovenie významnosti technologických faktorov pri delení hliníka a nehrdzavejúcej ocele vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom (S. Hloch, J. Valíček)	326
Hydratační systém pro environmentální rastrovací elektronové mikroskopy (V. Neděla, J. Maxa)	329
Olympus E-400: nejmenší a nejlépejší digitální zrcadlovka na světě	332
Z technické knihovny (J. Novák)	334
SVÁTEK STROJÍRENSTVÍ V PRAZE - tentokrát v dubnu 2007	335

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

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

Cena čísla 80 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), 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 KRŠÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, 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, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Ing. Monika MÍČALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak 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 SENDEŘÁKOVÁ - 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.; 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, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

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

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

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2006

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 51 11 - 12/2006

CONTENTS

Considerable anniversary of Professor Jan Peřina (Z. Hradil, Z. Bouchal)	295
XVth Czech-Polish-Slovak Conference on Optics (M. Jedlička)	295
Comparison of simulations of total joint artificial wear with results of its measurement by the optical 3D methods (D. Mandát, M. Pochmon, M. Hrabovský, T. Rössler)	297
Visual clarity improvement of electronic radiograms (J. Sedláček).....	299
Interference modulated laser beam in moiré topography (L. Bartoněk, J. Kepřt)	302
Conference EOS Topical Meeting 2006 in Paris (J. Pala).....	307
An influence of double imaging on the optical transfer function (R. Melich, Z. Melich).....	308
Measurement of the spectrum of luminescent diode by means of interference spectroscopy (P. Pavlíček, O. Hýbl).....	312
Compact optical tweezers (M. Šerý, Z. Lošťák, M. Kalman, P. Ják, P. Zemánek)	316
Surface topography optical identification generated by abrasive waterjet (J. Valíček, S. Hloch).....	320
Measuring technique for quality control	322
Relationship analysis of tooled surface morphology and time cutting (M. Gombár)	323
Estimation of abrasive waterjet technology factors significance at the cutting of aluminum and stainless steel (S. Hloch, J. Valíček)	326
Hydration System for Environmental Scanning Electron Microscopes (V. Neděla, J. Maxa).....	329
Olympus E-400: The smallest digital reflex camera on the world	332
From technical library (J. Novák)	334
ENGINEERING FEAST IN PRAHA - this time in April 2007	335

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

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

Price for single copy: 80 Kč incl. VAT

Významné životní jubileum profesora Peřiny

Pan profesor Jan Peřina, jedna z nejvýraznějších postav české soudobé fyziky na mezinárodní úrovni, se letos dožívá významného životního jubilea sedmdesátí let. Jeho jméno je neodmyslitelně spjato s Olomoucí. Absolvoval zde Přírodovědeckou fakultu Univerzity Palackého se specializací Jemná mechanika a optika. Studium ukončil ve zkráceném termínu s vyznamenáním v roce 1964. Nastoupil na místo odborného pracovníka na katedře teoretické fyziky a po roce se stal vědeckým pracovníkem Laboratoře optiky Přírodovědecké fakulty UP, ze které v roce 1984 vznikla Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu ČSAV. V roce 1984 získal na Univerzitě Karlově v Praze hodnost doktora fyzikálně matematických věd. Po roce 1989 byl vedoucím Společné laboratoře optiky, v letech 1990–94 pak vedl katedru optiky. V roce 1990 se stal profesorem kvantové elektroniky a optiky. Za dobu působení v Olomouci se stal světově uznávaným odborníkem v teorii koherence světla, fotopulsní statistice v náhodných a nelineárních prostředích, je spoluobjevitelem vlastností neklasického světla a autoritou v kvantové, statistické a nelineární optice vůbec. Svým výzkumem významně přispěl k pochopení kvantového měření, Zenónova efektu a kvantové fáze. Díky jeho osobě byla i přes nelehké období v minulosti česká kvantová optika pozvednuta na špičkovou mezinárodní úroveň a Olomouc se stala centrem kvantové optiky. V minulosti se významně podílel na řešení státních badatelských úkolů základního výzkumu řízených tehdejší ČSAV a celá desetiletí vykonával všechny funkce od zodpovědného řešitele až po předsedu Rady stěžejního směru. Díky němu se pak v novém období pracoviště v Olomouci úspěšně zapojila do řady grantových projektů a rovněž také do významného projektu MŠMT Výzkumné centrum pro optiku.



Profesor Peřina je významným členem mnoha mezinárodních a národních organizací, mimo jiné je od roku 1984 voleným členem Americké optické společnosti OSA, v letech 1987-1990 byl viceprezidentem Mezinárodní komise pro optiku ICO a v roce 1995 byl zvolen členem Učené společnosti České republiky. Jeho mimořádné aktivity byly oceněny četnými cenami. Mezi nejvýznamnější z nich pak patří Rabiho cena za rok 1983, kterou obdržel na Columbijské univerzitě v New Yorku, USA, Cena města Olomouce za rok 2001 a státní vyznamenání „Medaile za zásluhy“ prvního stupně, udělená prezidentem republiky v roce 2002. Jeho jméno se objevuje v redakčních radách mezinárodních časopisů jako například Optics Letters, Acta Physica Polonica, Journal of Modern Optics, Quantum Optics, Progress in Optics, Czechoslovak Journal of Physics, Acta Physica Slovaca, Jemná mechanika a optika nebo Optica Applicata. Působil na zahraničních univerzitách ve Florencii, Edinburgu, Vratislavi, Jeně, Římě, New Yorku, Innsbrucku, Grazu a Vídni.

Stejně bohatá je i jeho publikační činnost. Profesor Peřina patří mezi nejvíce citované české vědce a jeho celoživotní dílo čítá kolem 300 původních vědeckých prací, 6 vědeckých monografií v deseti vydáních a 7 monografických kapitol.

Za svůj bohatý a mimořádně aktivní vědecký život vychoval a nadchnul pro fyziku celou řadu studentů a vědeckých pracovníků, pro které se stal příkladem vědecké osobnosti mezinárodní úrovně.

Jménem všech jeho spolupracovníků z katedry optiky a jménem všech jeho žáků mu přejeme k jeho jubileu mnoho zdraví a životního elánu, se kterým se i dnes velice aktivně zapojuje do vědeckopedagogické práce na katedře optiky.

*Zdeněk Hradil, Zdeněk Bouchal
Katedra optiky, PřF UP Olomouc*

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

Redakce a redakční rada časopisu Jemná mechanika a optika

XV. česko-polsko-slovenská konference o optice

Ve dnech 11. až 15. září 2006 uspořádala Česká a Slovenská společnost pro fotoniku (ČSSF) XV. česko-polsko-slovenskou konferenci o optice s názvem „Vlnové a kvantové aspekty současné optiky“. Konference se konala na Technické univerzitě v Liberci (TUL) a připravil ji sedmičlenný organizační výbor, jehož členy byli zástupci ČSSF, TUL a agentury Action-M, která se postarala o realizaci konference. Tyto konference, které tři spolu sousedící země pořádají v dvouletých intervalech (s jednou čtyřletou výjimkou) již mají svou tradici – kdysi to bývaly konference československo-polské. V České republice je dříve pořádala olomoucká Univerzita Palackého. Minulá konference v r. 2004 se konala na Slovensku v Nitře.

Na letošní konferenci se přihlásilo celkem 92 účastníků a k prezentaci se jich dostavilo 90. Z České republiky jich bylo 60, z Polska 19 a ze Slovenska 13. Konferenci zahájil její předseda doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc., úvodní slovo měl předseda ČSSF Ing. Miroslav Jedlička, CSc. a za libereckou univerzitu, založenou v r. 1953, účastníky konference pozdravil její prorektor prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Celkem bylo předneseno 44 přednášek (z toho 9 pozvaných) a vyvěšeno 29 posterů. Orální přednášky byly rozděleny do jednotlivých sekcí, které uváděly tyto pozvané příspěvky:

- Marek Jasiorsky (Chemická fakulta Technické univerzity Wrocław): Active Sol-Gel Materials;

- Miloslav Dušek (Univerzita Palackého Olomouc) a Norbert Lütkenhaus (Univerzita Waterloo, Kanada): Advances in Quantum Cryptography;
- Ivan Glesk (Univerzita Komenského Bratislava) a Paul R. Prucnal (Princeton University, USA): How Optics Has Changed Data Communications;
- Jiří Homola (Ústav radiotechnika a elektroniky AVČR): Surface Plasmon Resonance Biosensors;
- Pavel Zemánek, Tomáš Čížmár, Martin Siler, Veneranda Garces-Chavez, Kishan Dholakia (Ústav přístrojové techniky AV ČR, Brno a Univerzita Sv. Ondřeje, Skotsko): How to Use Laser Radiative and Evanescent Interference Fields to Control Movement of the Sub-Micron Objects;
- Pavel Veis, Peter Macko, Juraj Jašík (Univerzita Komenského Bratislava): Cavity Ring Down and Vacuum UV Spectroscopy and Their Applications for Radical Absolute Density Measurements in Plasma;
- Kamil Postava, Martin Foldyna, Jaromír Pištora (Technická univerzita Ostrava), Razvigor Ossikovski, Tatiana Novikova, Antonello De Martino (École Polytechnique, France): Optics of Nanogratings;
- Ivan Turek, Norbert Tarjanyi, Miroslav Dubravka (Univerzita v Žilině): Photorefractive Effect in LiNbO₃;
- Wojciech Wasilewski, Piotr Kolenderski, Konrad Banaszek (Univerzita Mikuláše Koperníka v Toruni), Andrzej Dragan, Piotr Wasylczyk, Czesław Radzewicz (Univerzita Varšava), Alexander Lvovsky (Univerzita v Calgary, Kanada): Quantum Information Processing with Down-Conversion Sources.

Programové komisi, kterou vedl předseda konference doc. M. Miler, se podařilo vhodně zařadit jednotlivé přednášky do bloků, které pozvané přednášky uváděly. Do tradice těchto konferencí patřila jazyková zvláštnost: ústní příspěvky mohly být přednášeny v češtině, polštině nebo slovenštině, pouze postery a abstrakta ve sborníku musela být v angličtině. Málokdo toho však využil a převážná většina přednášek byla v angličtině.

Konferenci sponzoroval užitečnými věcnými dárky generální ředitel MEOPTA-optika, s. r. o., Přerov.

Závěrečné hodnocení konference delegacemi optických komunit z jednotlivých účastněných zemí vyznělo velmi příznivě. Také vlastní organizace konference byla zdařilá, i když současné stavební aktivity v areálu liberecké univerzity donutily účastníky k poměrně značnému prodloužení cesty z místa ubytování ve studentských kolejích na Harcově do přednáškové posluchárny. Protože po celou dobu konference bylo pěkné počasí, považovali to mnozí za příjemnou procházku.

Do programu konference byl zařazen výlet na zámek Sychrov, prohlídka památné liberecké radnice a večere konaná v hotelu na vrcholku Ještědu s pohledem na osvětlený Liberec i krajinu příhraničních Čech, Německa a Polska okny restaurace.

Příští optická konference tří sousedních zemí se bude konat v druhém zářijovém týdnu roku 2008 ve Wroclavi v Polsku a bude ji pořádat Institut fyziky Wroclavské university. Sborník přednášek z letošní konference vydá americké nakladatelství SPIE, kde si ho zájemci mohou standardním způsobem objednat.

Ing. Miroslav Jedlička, CSc.

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

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

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

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

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

Pokyny k předávání příspěvku

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

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

Soubory je možno dodat na disketě, CD nebo na médiu ZIP 100 MB.

Ke každému příspěvku připojte seznam všech předávaných souborů a u každého souboru uveďte pomocí jakého software byl vytvořen.

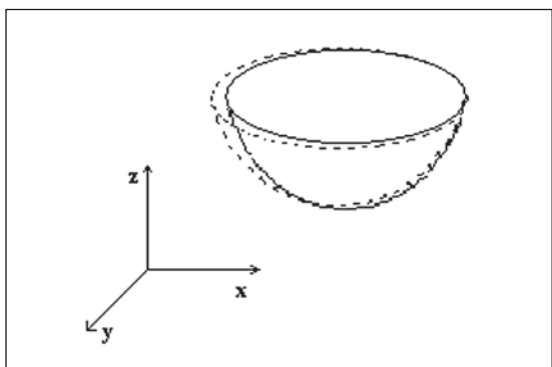
Příspěvky zasílejte na adresu: Redakce časopisu JMO, Kabelkova 1, 750 02 Přerov.

Srovnání simulace opotřebení kloubních implantátů s výsledky jeho měření pomocí optických 3D metod

Článek srovnává výsledky měření úbytku hmoty kloubního implantátu se simulací provedenou na základě znalostí mechanického opotřebení tohoto vzorku. Použité metody jsou 3D skenovací profilometrie a Fourierovská profilometrie. Tyto výsledky jsou konfrontovány s poslední použitou metodou – gravimetrií. V textu nejsou uvedeny chyby měření, ale pouze jednotlivé prvotní hodnoty výsledků měření, které jsou základem pro vytvoření metodiky ověření vhodnosti použití metod pro tento účel.

1. ÚVOD

Kyčelní náhrada se skládá ze dvou částí. První je umělohmotná jamka, do které dosedá kovová koule. Ta je uchycena pomocí kovového trnu do stehenní kosti. V místě styku koule a jamky dochází k mechanickému otěru, který způsobí úbytek materiálu a vytvoří sekundární vtisk koule do jamky. Měřeným objektem je náhrada kyčelního kloubu, která byla uměle poškozena pomocí nástroje. Simuloval se otěr jamky odpovídající posunu středu koule o 1 mm v osách x , z . Pomocí simulace byl spočítán objemový úbytek metodou Monte Carlo, dále byla jamka zvážena před mechanickým poškozením a po tomto zákroku. Z hodnot hustoty materiálu byl spočítán objemový úbytek. Jako poslední metody byly použity bezkontaktní optické metody. Byly použity metody analyzující projektovanou strukturu na měřený povrch. V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé metody a konfrontovány jejich výsledky.



Obr. 1 Simulované opotřebení jamky

2. POUŽITÉ OPTICKÉ METODY

2.1 3D skenovací profilometrie

Princip měření je založen na přepočtu změny posunu Δr polohy proužku vlivem změny polohy Δr testovaného povrchu vzhledem k uživatelsky definované referenční rovině určené kalibrací. Tato závislost je popsána mapovacím algoritmem [1.]:

$$\frac{1}{\Delta r} = a + \frac{b}{\Delta u},$$

kde parametry a a b jsou jednoznačně určeny polohou referenční roviny. Citlivost c sestavy je dána vztahem [2.]:

$$c = \frac{1}{a + b} = c_1 - c_2,$$

kde $c_1 = b^{-1}$, $c_2 = a \cdot b^{-1}$ a je závislá na geometrii měřicí sestavy, zejména na úhlu mezi směrem promítání laserové stopy a směrem pozorování. Parametry c_1 a c_2 jsou počítány regresní analýzou z dat získaných při kalibraci měřicí sestavy. Chyba měření se dá vyjádřit vztahem:

$$\delta(\Delta r) = |c_1 - 2c_2 \Delta u| \delta(\Delta u) + |\Delta u| \delta c_1 + (\Delta u)^2 \delta c_2.$$

Je závislá na parametrech soustavy a obvykle bývá cca 0,2 mm [3.]. Obecně platí, že větší citlivosti lze dosáhnout, pokud přesuneme snímací zařízení blíže ke zkoumanému předmětu nebo budeme zvětšovat úhel mezi osvitem a pozorováním. Výhodou této metody je lineární závislost odezvy vyhodnocovacího zařízení na změnu topografické výchyly. Výpočetní algoritmus je jednoduchý, nutnou součástí je prvotní kalibrace soustavy.

2.2 Fourierovská profilometrie

Metoda je založená na snímání periodické struktury projektované na povrch měřeného objektu a porovnáním s tvarem téže struktury zaznamenané na referenčním objektu. Pokud tuto strukturu (uvažujme mřížku se sinusovým průběhem intenzity) promítneme na rovinu rovnoběžnou s rovinou projektoru, dostaneme na kameře opět periodický průběh intenzity (sinusový průběh zatížený šumem). Pokud stejnou strukturu promítneme na předmět, jehož povrch nebude rovinný, dojde k deformaci této struktury (zahuštění, nebo zřídnutí proužků v závislosti na výškovém profilu předmětu). Rozložení intenzity této struktury lze popsat takto:

$$g(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[\Phi(x, y) + 2f_0 \pi x],$$

$$g_0(x, y) = a_0(x, y) + b_0(x, y) \cos[\Phi_0(x, y) + 2f_0 \pi x],$$

kde $g(x, y)$, resp. $g_0(x, y)$ je intenzita struktury na rovině, resp. na předmětu. Dojde tedy ke změně fáze v některých bodech.

Jednotlivé signály se upraví pomocí Fourierovy transformace (zde pro osu x):

$$G(f, y) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp(-2\pi i f x) dx,$$

$$\text{resp. } G_0(f, y) = \int_{-\infty}^{\infty} g_0(x, y) \exp(-2\pi i f x) dx.$$

Pro filtraci (odfiltrují se vysoké a parazitní frekvence) se provede zpětná Fourierova transformace a z těchto hodnot se vypočítají fáze referenčního a měřeného signálu v jednotlivých bodech pomocí vztahu:

$$\Phi(x, y) = \arctg \left[\frac{\hat{\text{Im}}[g(x, y)]}{\hat{\text{Re}}[g(x, y)]} \right],$$

$$\text{resp. } \Phi_0(x, y) = \arctg \left[\frac{\hat{\text{Im}}[g_0(x, y)]}{\hat{\text{Re}}[g_0(x, y)]} \right].$$

Můžeme tedy jednoduše vypočítat rozdíl fází obou signálů v každém bodě obrázku. Při výpočtu je nutné přepočítávat fázi. Jelikož podle tohoto výrazu by fáze byla v intervalu $\langle 0, \pi \rangle$, je nutné ji přepočítat. K tomuto slouží operace unwrapping. Po této úpravě můžeme převést změnu fáze na topografickou výchylku pomocí vztahu:

$$h(x, y) = \left[\frac{l_0 p_0 \left[\frac{\Delta\Phi(x, y)}{2\pi} \right]}{\left\{ p_0 \left[\frac{\Delta\Phi(x, y)}{2\pi} \right] - d \right\}} \right],$$

kde d je vzdálenost mezi kamerou a projektorem, p_0 je perioda a mřížky dělená výrazem $\cos\theta$, l_0 je vzdálenost referenční roviny od roviny pozorování.

3. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Pomocí metody Monte Carlo se vypočítá teoretický úbytek hmoty při daném způsobu odebrání materiálu pomocí nástroje. Přesnost této metody je závislá na kvalitě nástroje a odvrtávacího stroje (na jeho přesných posuvech). Metoda gravimetrie je zde uvedena jako doplňková metoda. Problém s výpočtem nastává v určení hustoty použitého materiálu. Výrobce uvádí interval hustot, v kterém by se měly pohybovat hustoty implantátů. Tyto hodnoty jsou v intervalu $\rho \in \langle 0,945 \div 0,968 \rangle$ $[g/cm^3]$.

Objem vypočítáme pomocí vztahu: $\Delta V = \frac{1}{\rho} (\Delta m)$.

Výstupem optických metod je soubor bodů povrchu a jejich prostorové souřadnice. Tím je dán topografický popis celé jamky. Odečtením vnitřních objemů jamky před opotřebením a po něm dostaneme výsledný objemový úbytek hmoty.

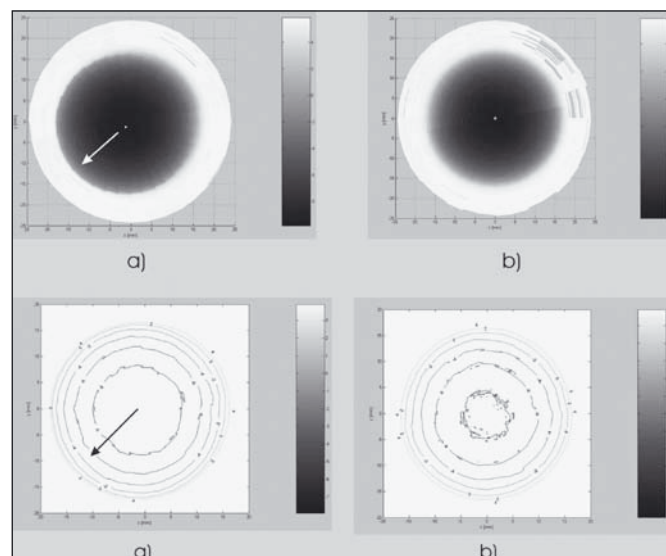
4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na následujících obrázcích jsou tvary jamek získaných pomocí topografických metod. Na obrázcích je patrný posun jejich středů. Poslední obrázky srovnávají tvar poškození pro jednotlivé metody.

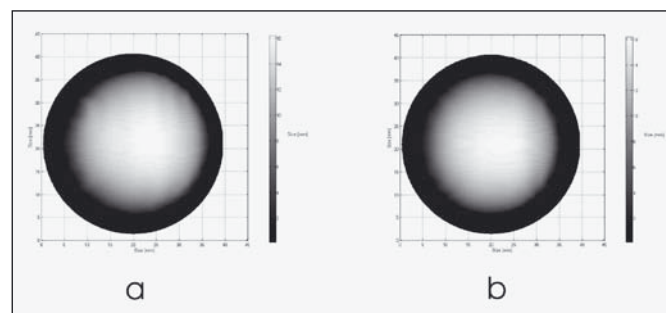
5. ZÁVĚR

V tabulce jsou uvedeny výsledné objemové úbytky jednotlivých metod. Jak již bylo dříve uvedeno, přesnost simulace je limitována přesností nástroje a obráběcího zařízení, gravimetrie počítá s hustotami v daném intervalu. Nejtěsnější shodu se simulací a gravimetrií vykazuje 3D skenovací profilometrie. Výsledky jednotlivých metod se nijak zásadně neliší a můžeme konstatovat, že použité optické metody jsou schopné poskytnout kvalitní popis opotřebením implantátů. V budoucnu je plánováno zdokonalení a automatizace těchto metod. Dále pak je nutné provést ověření platnosti metod stejnými postupy pro různé velikosti a směry otěrů.

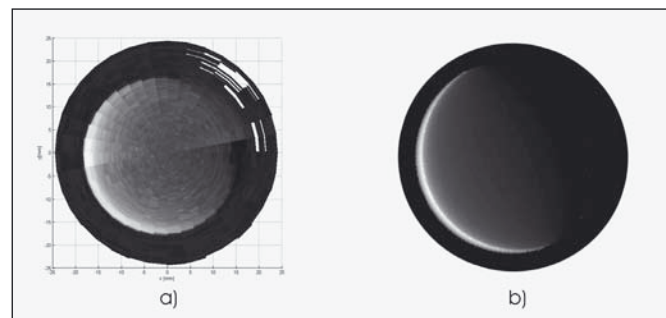
Metoda	simulace	gravi- metrie	Four. pro- filometrie	3D skenovací profilometrie
ΔV $[mm^3]$	757	741 \div 757	823	786



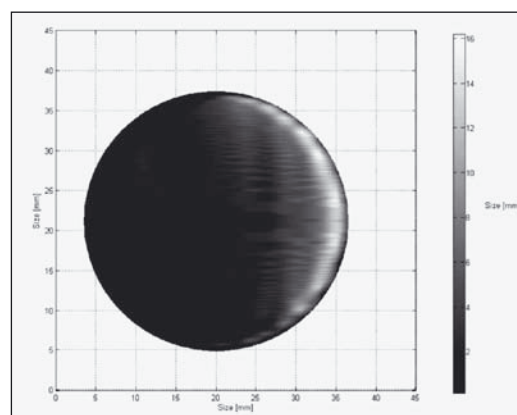
Obr. 2 Tvar kloubních náhrad po poškození (a) a před (b) s využitím 3D skenovací profilometrie



Obr. 3 Tvary jamek s využitím Fourierovy profilometrie



Obr. 4 Srovnání objemového úbytku získaného 3D skenovací profilometrií (a) a simulací (b)



Obr. 5 Úbytek hmoty kloubního implantátu získaného pomocí Fourierovy profilometrie

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci podpory projektu výzkumu a vývoje 1M06002.

Literatura

[1] A. ASUNDI, M. R. SAJAN: Mapping algorithm for 360-deg profilometry with time delayed integration imaging. *Optical Engineering* 38, 339-343, 1999.

- [2] NOŽKA L., MANDÁT D., HRABOVSKÝ M.: 3D optical Scanning Topography. *Experimental stress analysis* 2003, 2003, 71-72.
- [3] MANDÁT D., NOŽKA L., HRABOVSKÝ M.: Image Data Analysis of 3D Topography. *Experimental stress analysis* 2003, 71-72.

Mgr. Dušan Mandát, Mgr. Michal Pochmon, prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc. Tel.: +420 585 631 573, e-mail: mandat@optnw.upol.cz
RNDr. Tomáš Rössler, Ph.D., katedra experimentální fyziky, Univerzita Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc.

Jan SEDLÁČEK, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze

Zlepšování vizuální čitelnosti rentgenogramů v elektronické formě

1. ÚVOD

V tomto článku je stručně popsáno, jakým způsobem lze do určité míry zlepšit vizuální čitelnost rentgenogramů v elektronické podobě. Rentgenografie je na katedře fyziky Technické fakulty ČZU využívána pro určení stupně poškození zrn a semen.

Rozlišovací schopnost obrazu je nejčastěji definována jako míra spolehlivého rozlišení dvou blízkých objektů na obraze [1].

Klasický rentgenogram je vytvořen na filmové podložce. Rozlišení dvou objektů na tomto rentgenogramu je na úrovni okolo 100 čar na 1 mm. Nevýhodou klasického rentgenogramu je jeho poměrně dlouhodobé zpracování [1].

Elektronický rentgenogram je vytvářen speciálním snímačem, kde plošně uspořádaná matice CCD prvků vytváří obraz, který je ve formě digitálního souboru k dispozici v počítači pro další zpracování. Velikost CCD elementů odpovídá jednomu obrazovému bodu (pixelu) a rozlišovací schopnost závisí na geometrickém uspořádání (velikosti a vzdálenosti) jednotlivých elementů. Dosahovaná rozlišovací schopnost je 11 čar na 1 mm. To odpovídá asi 550 dpi (11 čar na 1 mm x 2 x 25.4 inch ≈ 550 dot per inch). Na takto získaném rentgenogramu lze rozlišit objekty o velikosti 0,02 mm u anorganických materiálů a 0,03 mm u materiálů biologických [1].

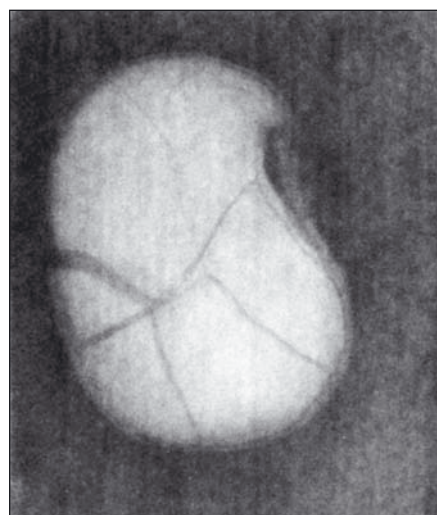
2. POČÍTAČOVÉ PROGRAMY PRO ZPRACOVÁNÍ RENTGENOGRAMŮ

Existuje mnoho počítačových programů pro analýzu obrazu a zpracování získaných informací. Vyhodnocování rentgenogramů včetně elektronických je dosud převážně vizuální. Úkolem používaného softwaru je proto vylepšit vizuální čitelnost elektronických rentgenogramů. Tato počítačová úprava je o to důležitější z toho důvodu, že elektronické rentgenogramy mají přibližně o 1 řád menší rozlišení než rentgenogramy klasické. Jejich nespornou výhodou však je mnohem rychlejší zpracování.

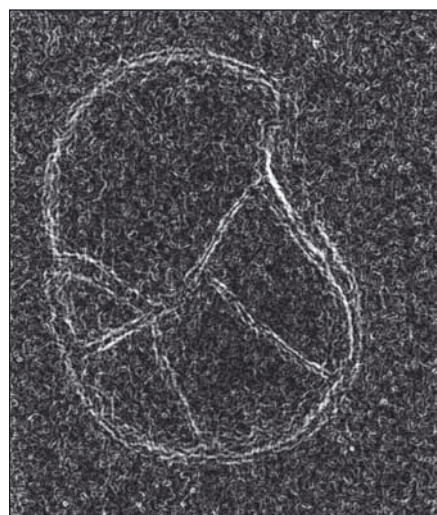
Pro úpravy elektronických rentgenogramů lze použít buď programy speciální nebo programy běžně určené pro zpracování obrazu.

2.1. Program Lucia

Jedním ze speciálních programů, který je na katedře fyziky TF ČZU používán k úpravě elektronických rentgenogramů, je software ze systému Lucia. Jedná se o systém obrazové analýzy určený ke sledování, snímání, archivaci a ručnímu nebo automatickému měření preparátů [2]. Kromě klasické vědecké oblasti je tento systém rovněž hojně využíván v oblasti kriminalistiky.



Obr. 1 Originální rentgenogram poškozené fazole



Obr. 2 Rentgenogram na obr. 1 po aplikaci funkce detekce hran programu Lucia

Pro zjištění eventuálního poškození semen, resp. zrn, je na elektronický obrázek aplikována funkce detekce hran – viz následující obrázky. *Obr. 1 a 2* zachycují poškozené semeno fazole. Tmavé čáry uvnitř semena jsou praskliny způsobené vnějším úderem. Na *obr. 3 a 4* je semeno skočce.



Obr. 3 Originální rentgenogram semena skočce



Obr. 4 Rentgenogram na obr. 3 po aplikaci funkce detekce hran programu Lucia

2.2 Běžné programy pro zpracování obrazu

Cílem metod využívaných programy pro zpracování digitálního obrazu je zlepšení vizuální čitelnosti původního rentgenového snímku. Toho lze dosáhnout dvěma navazujícími kroky, kterými jsou:

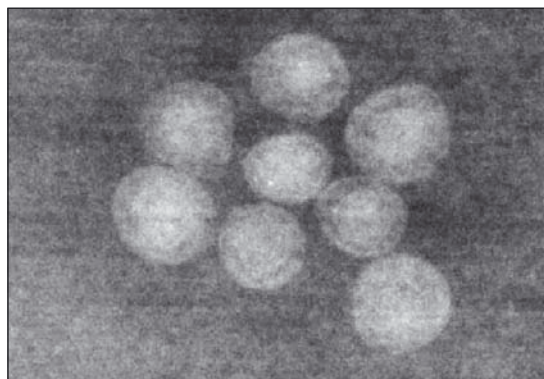
1. Odstranění šumu, který vzniká digitalizací a převodem obrazu. (Šum se projevuje především jako výraznější zrnitost snímku.)
2. Zaostření obrazu zvýšením úrovně kontrastu a vhodným nastavením jasu pro lepší rozlišení jednotlivých částí obrazu.

Ad 1) Digitální šum je možno potlačit úpravou v počítači. Lze použít některý z běžných grafických editorů – ty sice často mají na zmírnění šumu zvláštní funkci, ne vždy ale pracují přesvědčivě. Existují však i speciální programy vytvořené pouze k tomuto účelu. Jejich hlavní předností by mělo být především to, že šum odstraní precizněji. Tato funkce je totiž vždy otázkou kompromisu – šum musí být co nejvíce potlačen, zároveň však nesmí dojít k nepřirozenému vyhlazení obrazu a ztrátě ostrosti. Jedním z těchto programů je **Neat Image**, který je považován za jeden z nejlepších [3].

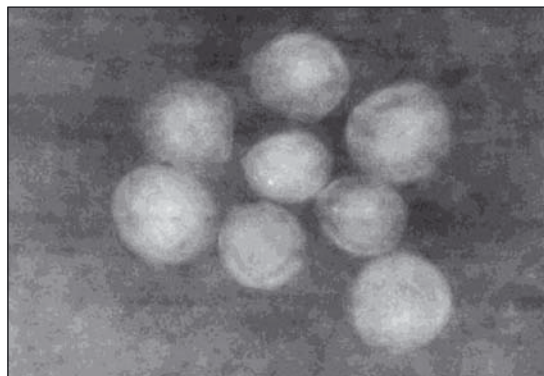
Ad 2) Po redukci šumu je potřeba zaostřit obraz zvýšením kontrastu a vhodným přizpůsobením jasu. Můžeme použít programy Adobe Photoshop nebo XnView. Pro tento účel jsou oba vhodné. **Adobe Photoshop** je standardní profesionální software pro úpravy obrazů. **XnView** je prohlížeč a konvertor obrázků s možností základních úprav, jako je změna velikosti, modifikace počtu barev, nastavení kontrastu, jasu, aplikace filtrů atd. Dále umožňuje vytvářet obrázkové HTML galerie, slideshow, dávkovou konverzi a mnoho dalšího. Podporuje 400 formátů pro čtení a 50 pro zápis [4].

2.3 Příklady rentgenogramů upravených běžnými PC programy

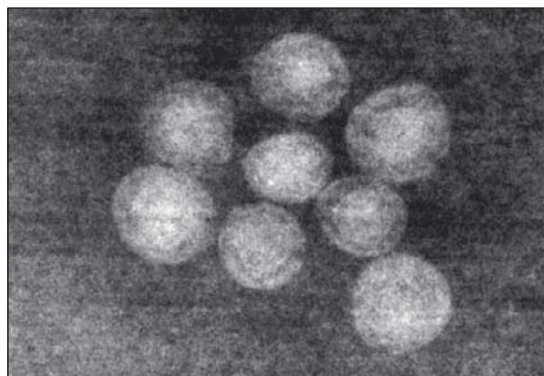
Na *obr. 5* je originální rentgenogram obroušených a obalených semen cukrové řepy. *Obr. 6* získáme odstraněním šumu z *obr. 5* pomocí softwaru Neat image. Zaostřením obrazu 5 programem Adobe Photoshop dostaneme *obr. 7*. Nej kvalitnější úpravou ale je odstranění šumu z původního obrázku 5 (užití Neat Image) a jeho následné zaostření (použití Adobe Photoshop nebo XnView) - viz *obr. 8*.



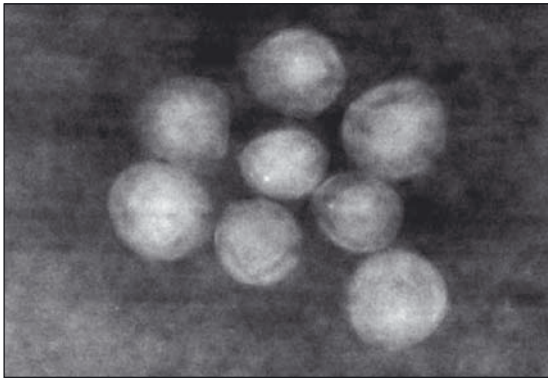
Obr. 5 Originální rentgenogram obroušených a obalených semen cukrové řepy



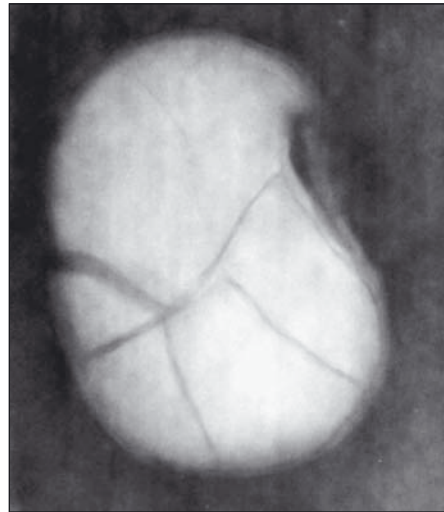
Obr. 6 Rentgenogram na obr. 5 po odstranění šumu programem Neat Image



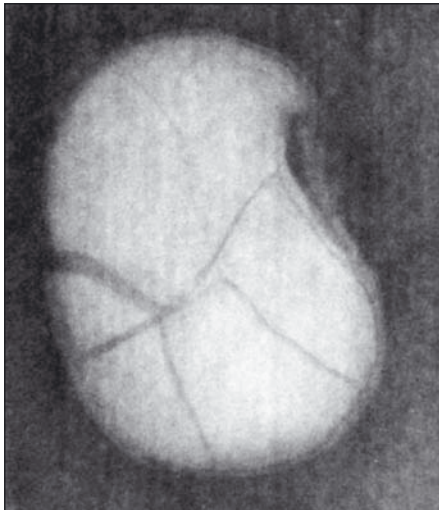
Obr. 7 Rentgenogram na obr. 5 po zaostření programem Adobe Photoshop



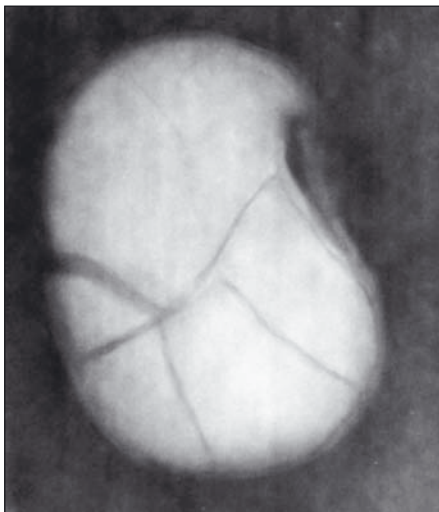
Obr. 8 Rentgenogram na obr. 5 po odstranění šumu programem Neat Image a následném zaostření programem Adobe Photoshop



Obr. 11 Rentgenogram na obr. 10 po zaostření programem Adobe Photoshop



Obr. 9 Originální rentgenogram poškozené fazole



Obr. 10 Rentgenogram na obr. 9 po odstranění šumu programem Neat Image

Obr. 9 ukazuje již uvedený originální snímek fazole poškozené úderem. *Obr. 10* je původní obrázek 9 po aplikaci odstranění šumu programem Neat Image. *Obr. 11* ukazuje obr. 10 po zaostření (zvýšení kontrastu) pomocí programu Adobe Photoshop.

3. ZÁVĚR

Rozlišení elektronických rentgenogramů v PC formě je mnohem (cca o 1 řád menší) než rozlišení klasických rentgenogramů, které jsou vytvořeny na filmové podložce. Avšak pomocí vhodného softwaru lze do určité míry zlepšit vizuální čitelnost digitálních rentgenogramů, aby bylo možné relativně spolehlivě detekovat eventuální poškození semen resp. zrn. To můžeme dosáhnout buď využitím speciálního softwaru (např. program Lucia) nebo použitím běžně dostupných programů určených pro úpravu obrazu. S jejich pomocí nejprve minimalizujeme šum v obrázku (Neat Image) a poté zlepšíme kontrast a jas (Adobe Photoshop nebo XnView). Díky tomu je možno lépe rozlišit jednotlivé části obrazu.

Tento článek vznikl v rámci výzkumného projektu VZ č. MSM 6046070905.

Literatura

- [1] J. Pecen, *Rozlišovací schopnost elektronických rentgenogramů*, In: Sborník konf., s. 11-18, ISBN 80-7137-889-5. Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra. Int. konf. „Výskum a vyučovanie na katedrách fyziky v kontexte univerzitého vzdelávania“, Nitra.
- [2] www.lim.cz/download.php?id=345&
- [3] <http://digi.zive.cz/h/fotoskola/AR.asp?ARI=169>
- [4] <http://www.slunecnice.cz/product/XnView/>

Interferenčně modulovaný laserový svazek a jeho využití v moiré topografii

V tomto příspěvku je navržena metoda interferenčně modulovaného laserového svazku, aplikovaná v moiré topografii 3D předmětů, která je přesnější než klasický popis pomocí stínové moiré topografie. Interferenčně modulovaný laserový svazek osvětluje předmět a referenční rovinné stínítko, přičemž maxima intenzity interferenčních proužků umožňují přesnější popis tvaru předmětu pomocí vrstevnicových čar. Změnou počáteční fáze struktury interferenčních čar se změní i poloha vrstevnic, což umožňuje přesnější popis tvaru 3D předmětu (plochy) a současně je možno z těchto obrazů získat prostorový pohled na tvar předmětu, resp. plochy.

Klíčová slova: Interferenčně modulovaný laserový svazek, moiré topografie, 3D moiré topografický obraz

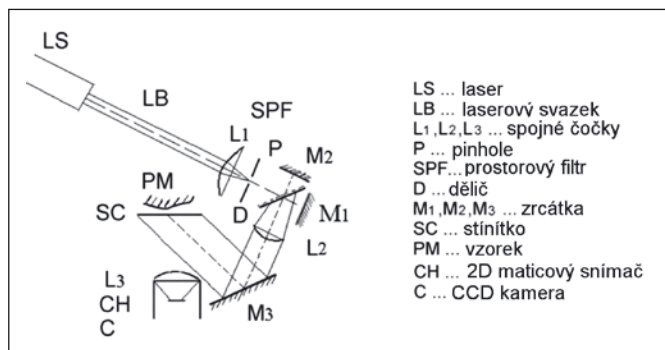
1. ÚVOD

Několik optických metod může být užito pro popis sférických forem trojrozměrných (3D) objektů a 3D povrchů. Jedna z nich, metoda moiré topografie, je poměrně jednoduchá a může být použita hned v několika modifikacích.

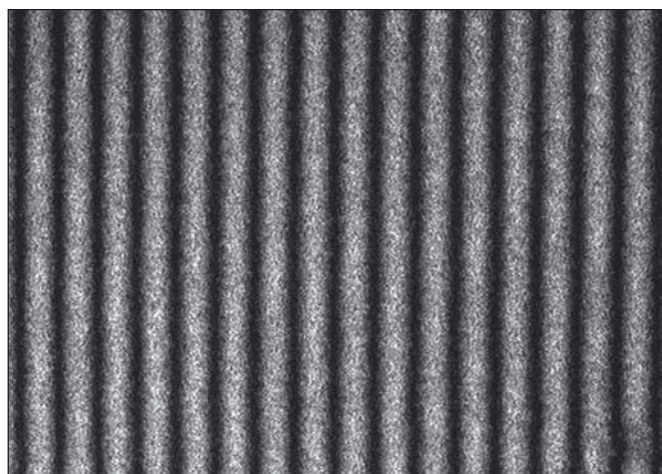
Zpočátku se musíme zmínit o stínové moiré topografii publikované detailně v mnoha příspěvcích optické literatury, například [1],[2],[3],[4],[5],[6]. Nicméně, 3D objekty a povrchy s velkou hloubkou a nepravidelným tvarem nemohou být popsány stínovou metodou s dostačující přesností. Aplikace interferenčně modulovaného laserového paprsku s proměnnou počáteční fází při osvětlování měřeného vzorku a základní roviny před studovaným 3D povrchem, která je součástí tohoto příspěvku, umožňuje realizaci topografického měření s větší přesností.

2. POUŽITÍ INTERFERENČNĚ MODULOVANÉHO LASEROVÉHO SVAZKU V MOIRÉ TOPOGRAFII

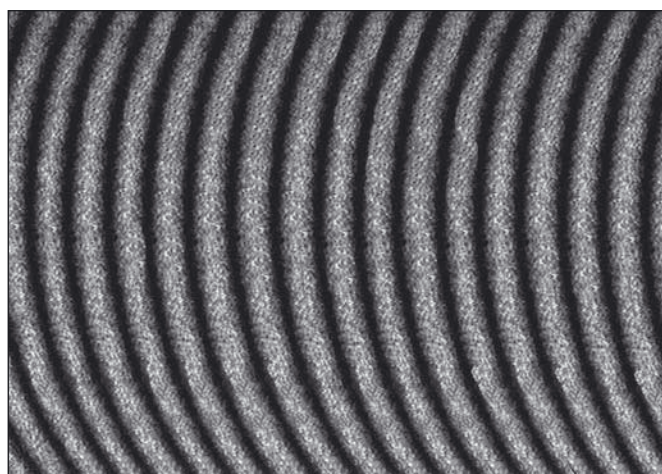
Na obr. 1 je demonstrováno uspořádání optického systému užitého pro osvětlení objektu pomocí interferenčně modulovaného laserového svazku. Úzký laserový svazek LB přicházející z laseru L je zaostřen čočkou do otvoru P z důvodu realizace prostorové filtrace z divergentního paprsku přicházejícího z SPF do Michelsonova interferometru. V tomto interferometru divergentní laserový svazek se odráží a je přenášen přes dělič D ve směru dvou zrcadel M_1 a M_2 . Po odrazu od zrcadel M_1 a M_2 přechází svazek do čočky L_2 . Tato čočka je umístěna tak, aby bod P ležel v jejím ohnisku, čímž je vytvořen paralelní laserový svazek s vhodnou frekvencí interferenčního pole. Tento paralelní laserový svazek po odrazu na zrcadle M_3 osvětluje rovinu stínítka SC (obr. 2).



Obr. 1 Optická sestava moiré topografie s interferenčně modulovaným laserovým svazkem

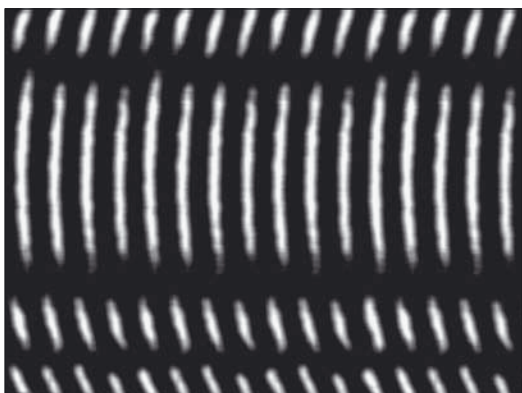


Obr. 2 Obraz interferenčně modulovaného laserového svazku na stínítku



Obr. 3 Projekce interferenčního laserového svazku na pláště válce

Obraz interferenčního svazku je snímán CCD kamerou C s čočkou L_3 a čipem CH. Z této pozice je obraz digitalizován a přenesen do paměti počítače typu PC. Po záznamu obrazu ze stínítka SC toto stínítko odstraníme a studovaný vzorek (3D povrch pláště válce) osvětlíme interferenčním svazkem přímo, jak je vidět na obr. 3.

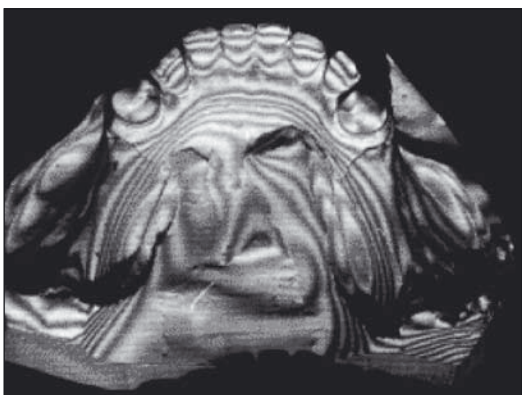


Obr. 4 Moiré interferogram válcového povrchu

Obraz 3D povrchu je pak zaznamenán kamerou C a přenesen do paměti počítače PC. Nyní můžeme užít operaci součtu nebo odečítání obou obrázků tak jak je obvyklé v moiré interferometrii. Operace odečítání se v tomto případě jeví jako lepší. Na *obr. 4* je zobrazen moiré interferogram získaný odečítáním obrázku 3 a obrázku 2.

3. METODA ZMĚNY POČÁTEČNÍ FÁZE

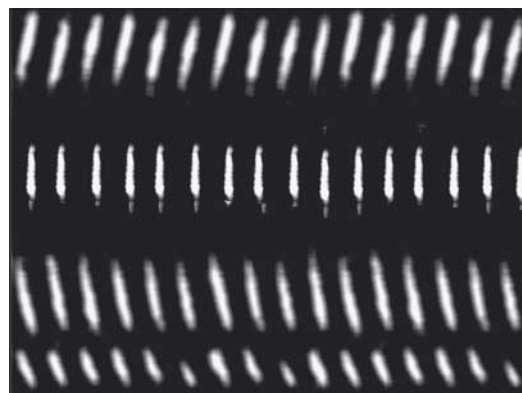
Jestli změníme v Michelsonově interferometru poněkud pozici jednoho zrcadla M_1 nebo M_2 (*obr. 1*) kolmo k rovině zrcadel, interferenční obraz (*obr. 2*, *obr. 3*) se bude pohybovat kolmo k interferenčním proužkům na stínítku a analogicky i na objektu. Přirozeně, rozdílový moiré topografický interferogram zůstane stejný pro každý pár odpovídajících mřížek. Tato situace koresponduje s experimentem stínové topografie, kdy referenční mřížka se pohybuje během expozice a topografické proužky (vrstevnice) zůstávají ve stejné pozici. Pozadí tvořících interferenčních proužků není viditelné. Moiré interferogram má pak dobrý kontrast a může být dobře vyhodnocen [5], jak je zřejmé z *obr. 5*.



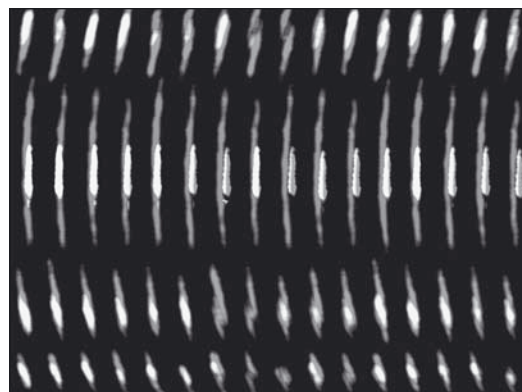
Obr. 5 Moiré topografický obraz vzorku sádrového modelu chrupu

Jestliže však odečteme různé (neodpovídající) mřížky, například referenční mřížku (řádkový interferogram na stínítku) s originální fází q_0 a stínovou mřížku (válcový plášť osvětlený interferenčně modulovaným laserovým paprskem) s originální fází q_1 , můžeme vidět, že výsledný moiré topografický obraz na objektu se pohybuje. Pokud fázový rozdíl je polovina periody referenční mřížky, zaměňují se maxima na minima moiré proužků. Tato situace je demonstrována na *obr. 4* a *obr. 6*, kde střední část válcového pláště má různý jas moiré proužků (vrstevnic). Součtem *obr. 4* a *obr. 6* získáme přesnější topografii plochy válce.

Jestli budeme měnit pozici jednoho ze zrcadel v Michelsonově interferometru po malých krocích, můžeme v mnoha případech popsat tvar předmětu pomocí moiré proužků s uspokojivou přesností, jak to bude uvedeno v následující kapitole.



Obr. 6, obr. 7 Vliv změny počáteční fáze na topografický interferogram



4. MODIFIKACE MOIRÉ TOPOGRAFIE UŽITÍM MAXIM INTERFERENCEŇNÍCH PROUŽKŮ

Šířka interferenčních proužků na stínítku, stejně jako na měřeném objektu, je limitní hodnotou pro přesnost popisu tvaru studovaného vzorku. Pro zlepšení tohoto popisu prostorového předmětu prostřednictvím vrstevnic, jak se obecně užívá v topografii, navrhujeme metodu, která využívá polohy maxim tvořících interferenčních proužků.

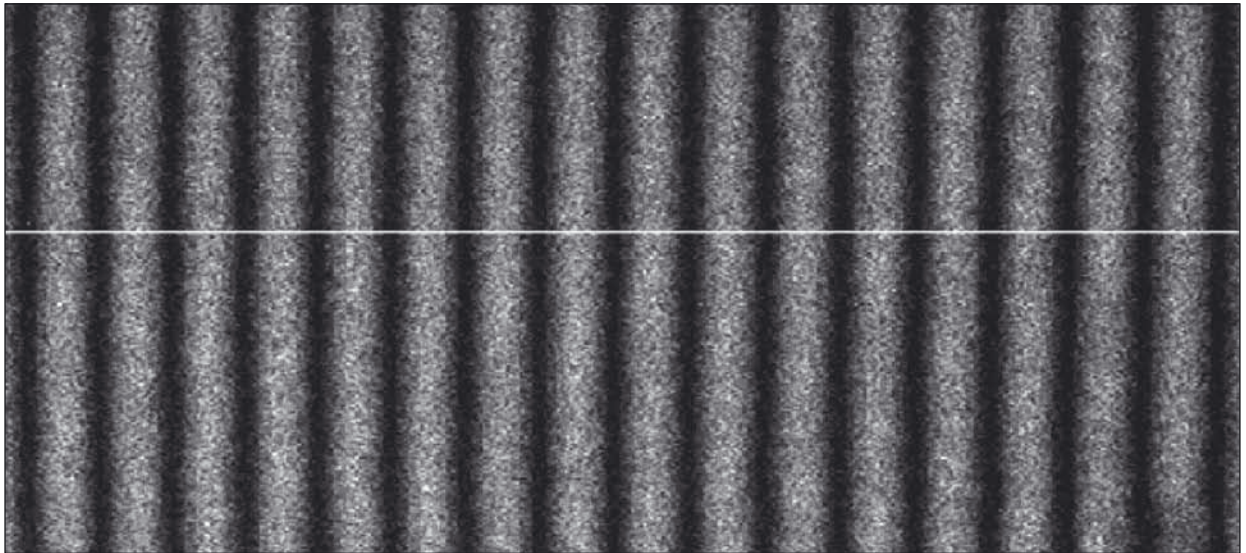
V *obr. 8* je demonstrována metoda, která je užita při studiu průběhu intenzity jednoho obrazového řádku interferenčního obrazu. Použitím filtru (Low pas) elektrooptického signálu (*obr. 8a*) studovaného řádku dostaneme sinusovou funkci (*obr. 8b*) a pomocí první derivace signálu můžeme najít maxima intenzit všech proužků (*obr. 8c*). Pokud budeme tuto funkci aplikovat na všechny řádky studovaného obrazu, dostaneme výsledný upravený obraz (*obr. 9*).

Tato metoda je rovněž užita také při úpravě interferenčního obrazu studovaného předmětu. Můžeme tak získat kontury (maxima) interferenčního obrazce (*obr. 10*). Po proceduře realizující součet upraveného obrazu ze stínítka a upraveného interferenčního obrazu předmětu (plochy) dostáváme přesnější topografický popis studovaného modelu, respektive topografii tvaru povrchové plochy (*obr. 11*). Na *obr. 12* je stejný postup aplikován při změně počáteční fáze interferenčně modulovaného laserového svazku a osvětlení studované plochy.

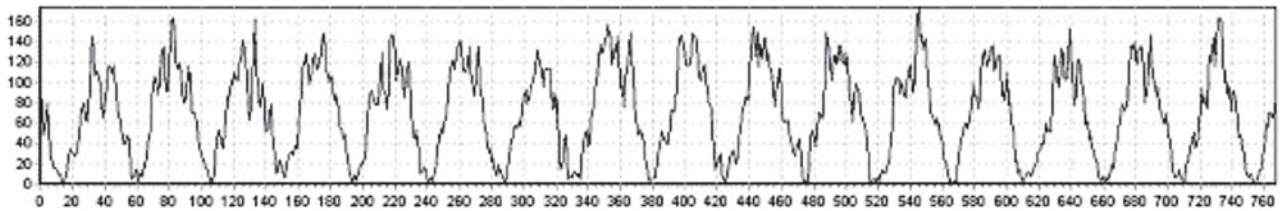
Prostorová modifikace vzorku při užití moiré topografických obrazů z *obr. 11* a *obr. 12* je demonstrována na *obr. 13*.

5. MOIRÉ METODA V LARYNGOLOGII

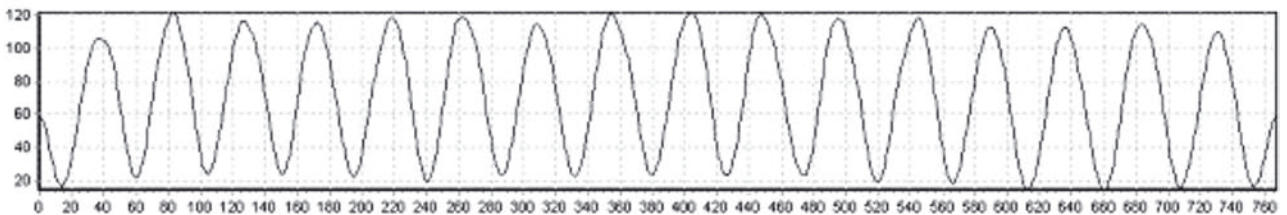
Jeden z nejdůležitějších problémů v laryngologii je znalost modelu lidských hlasivek při určité fonační pozici. Za účelem analyzování hlasivkového modelu ve fonační pozici a specifikování morfologických rysů byly vyrobeny 3D modely lidské laryngeální dutiny [3], [4]. Tato technika umožňuje realizovat modely hlasivek, analyzovat geometrické asymetrie mezi levými a pravými záhyby a vyrobit povrch modelu s relativně velkou přesností (*obr. 14*, *obr. 15*).



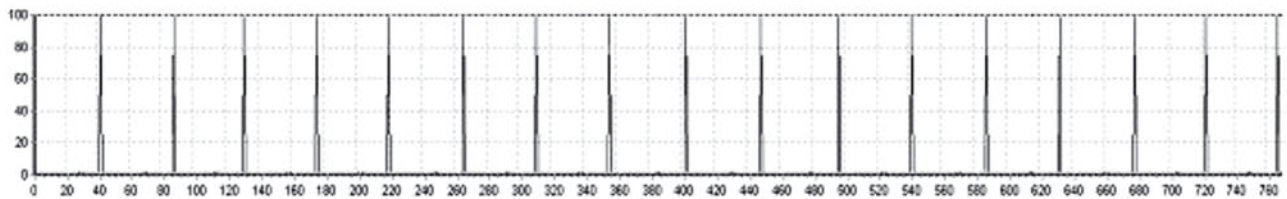
Obr. 8 Projekce interferenčního pole na stínítku



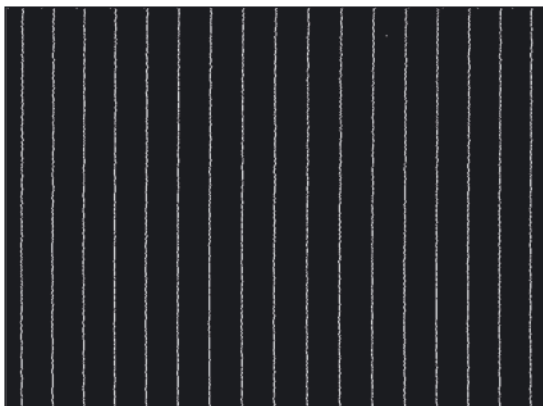
Obr. 8a Průběh intenzity v jednom řádku



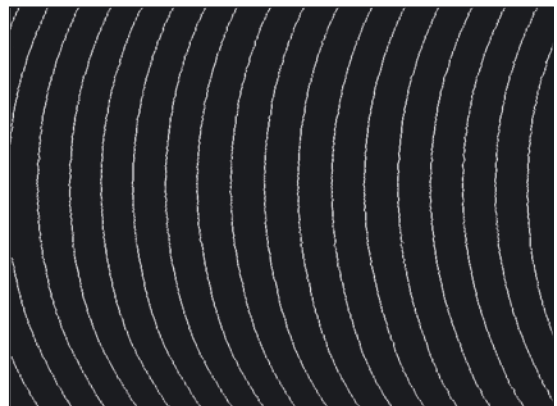
Obr. 8b Průběh intenzity po odstranění vysokých frekvencí



Obr. 8c Intenzitní maxima jednoho řádku

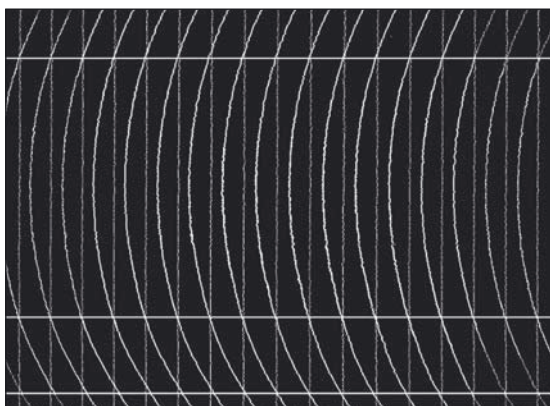


Obr. 9 Intenzitní maxima na stínítku

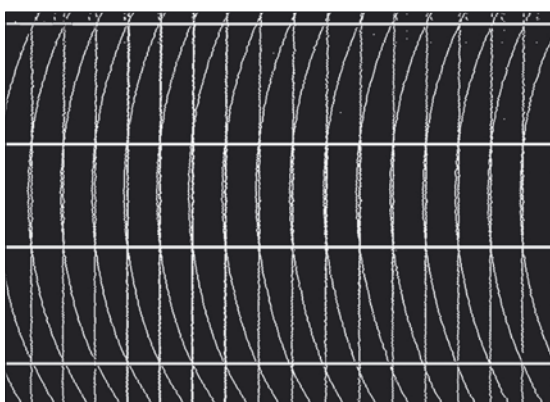


Obr. 10 Interferenční kontury (vrstevnice) válcového pláště

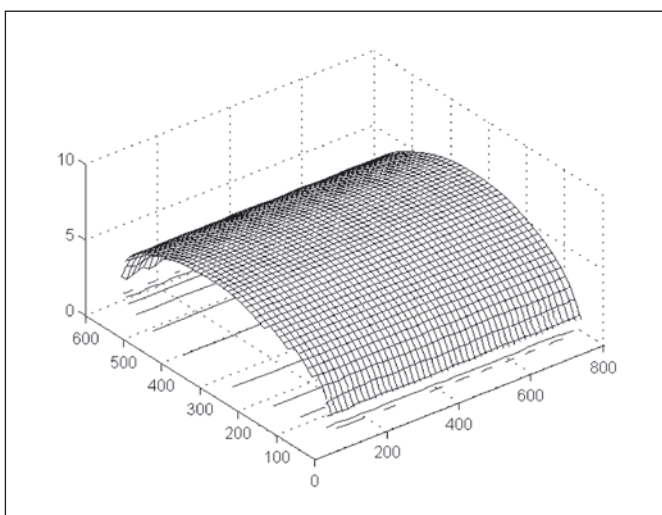
Obdobně, jako v případě pláště válce, rovina stínítka a část vzorku povrchu hlasivek, byla osvětlena interferenčně modulovaným laserovým svazkem. Pomocí modifikace tvaru předmětu užitím tvořících proužků (maxima světelných intenzit řádků obrazu), dostaneme první obrysovou mapu sádrového modelu z obr. 15, (obr. 16).



Obr. 11 Modifikovaný moiré interferogram

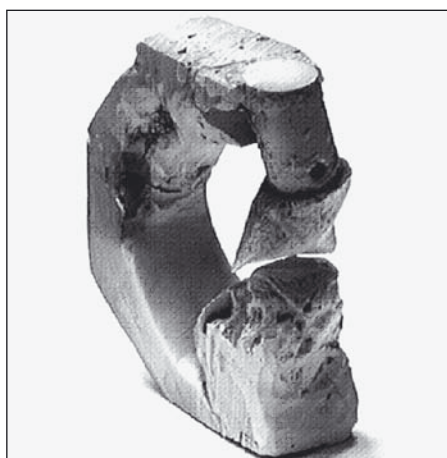


Obr. 12 Posun interferenčních kontur z obr. 9 a obr. 10 (maxim) o polovinu periody

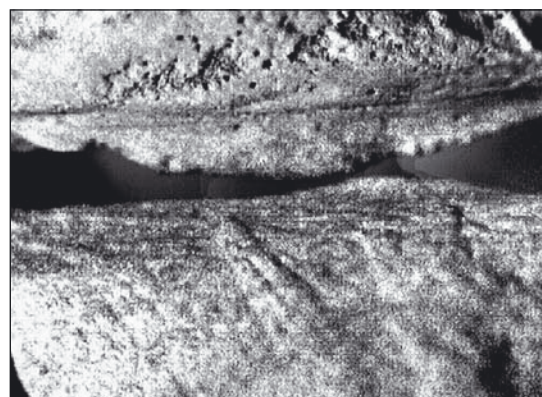


Obr. 13 3D zobrazení části válcové plochy

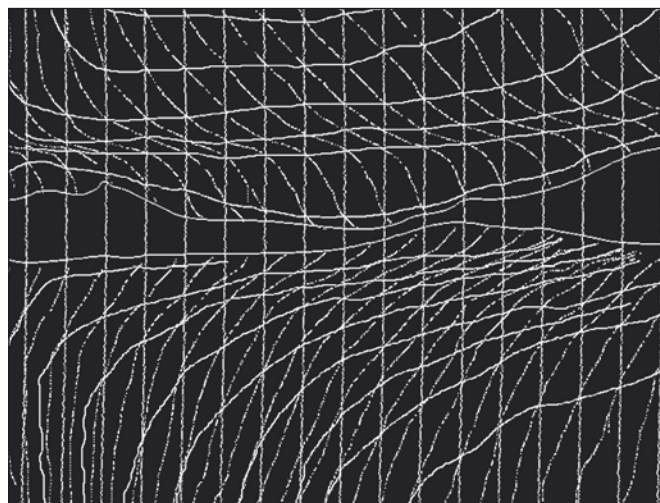
Obr. 16 odpovídá počáteční fázi q_0 tvořících proužků na stínítku i na objektu. Na obr. 17 je pak vypočítaná poloha topografických proužků pro fázi q_1 , která odpovídá poloviční periodě tvořících interferenčních proužků. Tím získáváme druhou mapu vrstevnic, která spolu s první mapou umožňuje přesnější popis tvaru sádrového modelu hlasivek.



Obr. 14 3D model lidské laryngeální dutiny hlasivek



Obr. 15 Obraz aktivní části sádrového modelu



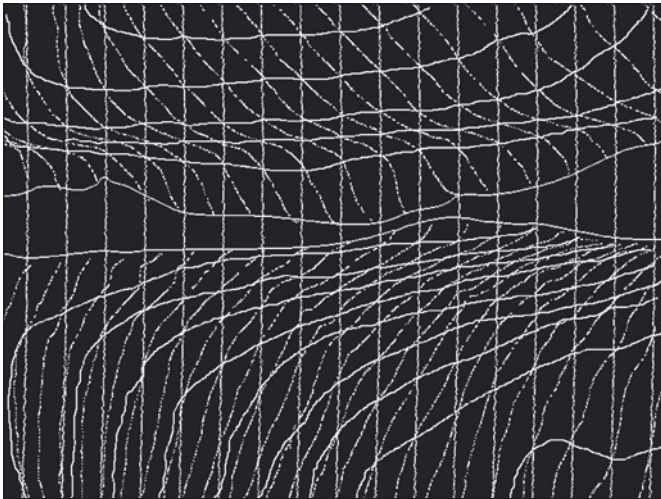
Obr. 16 Upravený moiré interferogram s počáteční fází q_0

Tvar prostorové modifikace modelu hlasivek je pak zřejmý z obr. 19 až obr. 22, přičemž v obr. 19. a obr. 20. je demonstrována 3D reprezentace zakřivených ploch sádrového modelu hlasivek pod různými zornými úhly.

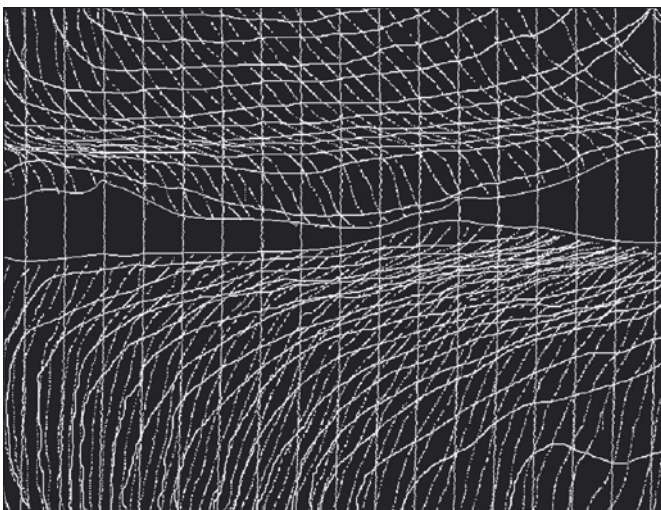
6. ZÁVĚR

Předložený článek obsahuje ideu jak popsat co nejlépe tvar 3D modelu hlasivek. Mapa 3D obrazových vrstevnic, popisující zakřivení ploch modelu, se zdá být efektivní, přičemž umožňuje i užití jiných digitálních obrazových technik.

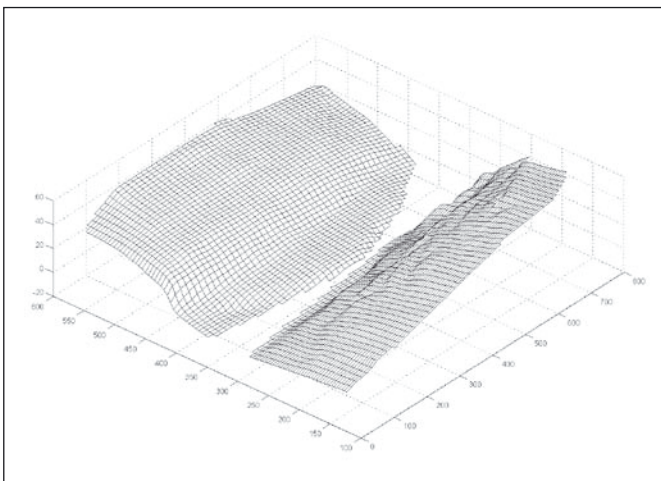
Tento příspěvek vzniknul za podpory Výzkumného centra UP Olomouc (projekt MŠMT ČR č. IM06002).



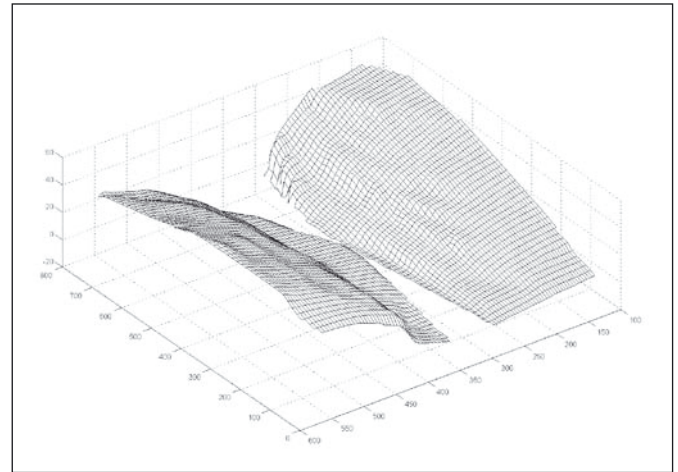
Obr. 17 Upravený moiré interferogram s počáteční fází q_1



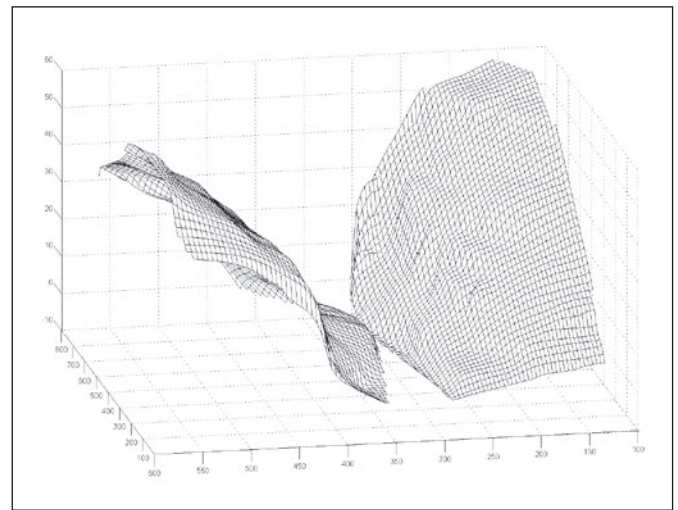
Obr. 18 Výsledný upravený interferogram sádrového modelu hlasivek



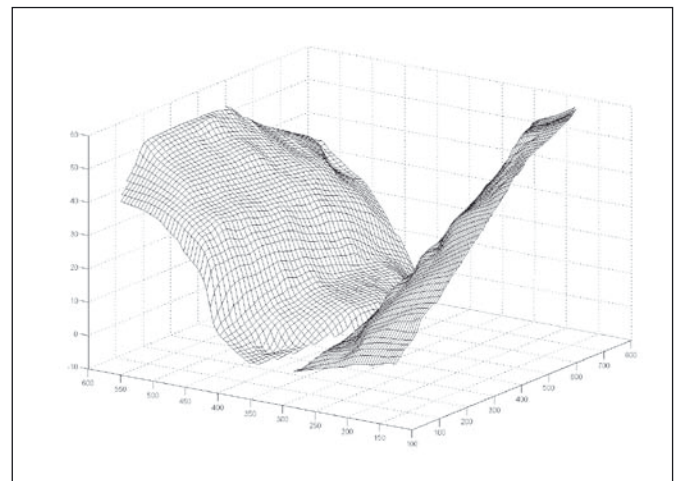
Obr. 19 Levý pohled na sádrový vzorek z obr. 15 zvýrazňuje dolní část modelu



Obr. 20 Jiný pohled na sádrový vzorek z obr. 15 zvýrazňuje horní část modelu



Obr. 21 Levý pohled 3D reprezentace zakřivených ploch sádrového modelu hlasivek



Obr. 22 Pravý pohled 3D reprezentace zakřivených ploch sádrového modelu hlasivek

Literatura

- [1] F. P. Chiang: A shadow moiré method, *Exp. Mech.* 15 (10), pp. 382-385, 1975.
 [2] H. Takasaki: Moiré topography, *Appl. Optics*, Vol. 12 (2), pp. 845-850, 1973.

- [3] J. Horáček, J. G. Švec, J. Veselý, E. Vilkman, I. Klepáček: Measurement of the vocal-fold vibration, *Engineering Mechanics 2001, Int. Conf. CD-ROM*, p. 8.
 [4] J. Horáček, J. G. Švec, I. Klepáček, A. Vetešník, J. Veselý: The form of vocal-folds in phonatory position, in *Engineering Mechanics 2002, Int. Conf. CD-ROM*, p. 10.

[5] J. Keprt, R. Vyhnančková, L. Bartoněk: Application of moiré topography in stomatologic practice, *Fine mechanics and optics (JMO)*, Vol. 43 (5), pp. 145-154, 1998.

[6] J. Keprt, L. Bartoněk, J. Horáček, J. G. Švec: Application of moiré topography on the form of the plaster model of vocal folds, *Acta Univ. Pal. Olomouc., Fac., Rer., Nat.* (2003-2004), *Physica* 42-43, 125-134.

Doc. Ing. Luděk Bartoněk, Ph.D., katedra experimentální fyziky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, Česká republika, e-mail: barton@risc.upol.cz, tel.: 585634291, fax: 585224047

RNDr. Jiří Keprt, DrSc., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, Česká republika, e-mail: keprt.j@optnw.upol.cz, tel.: 585631507, fax: 585224047

Konference EOS Topical Meeting 2006 v Paříži

V pavilonu sedm pařížského výstaviště EXPO proběhla ve dnech 16. až 19. října 2006 první vědecká konference EOS Topical Meeting on Micro-Optics, Diffractive Optics and Optical MEMS. Současně s ní byla ve výstavní části třetího patra i trojvýstava OPTO, Measurexpo a Forum d'Electronique.

Pořadatelé z European Optical Society před začátkem konference zaregistrovali kolem čtyř set aktivních účastníků s ústními či posterovými příspěvky. Mezi nimi byla řada vynikajících vědců na plenárních a pozvaných přednáškách. Každý den nabitý od ráno do podvečera tak začínal dvěma plenárními přednáškami. Mezi nimi byli i dva nositelé Nobelovy ceny – Claude Cohen-Tannoudji z Francie a Wolfgang Ketterle z USA. Vynikající byly plenární přednášky, kdy v pondělí začal Stefan Hell (Max Planck Institute for Biophysical Chemistry) s „Far-field fluorescence microscopy with diffraction-unlimited resolution“, který se zabýval překonáním staré Abbého podmínky o optickém rozlišení v mikroskopech typu STED. V úterý na něj v mikroskopii navázal Colin Sheppard z National University of Singapore s přednáškou „Latest developments in Modern Microscopy“, kdy budoucnost předpovídal 4Pi mikroskopii od německé firmy Leica-Microsystems a STED mikroskopii představené předcházející den. Subjektivně nejlepší byla ale přednáška Jamese R. Legera z University of Minnesota „Diffraction in Laser Systems: Converting a Liability into an Asset“, který ji pojál jako hold dvěma největším expertům přes holografii a difrakční optiku, kteří stáli na opačných stranách železné opony: Juriji Denisjukovi (27. červenec 1927 – 14. květen 2006) a Emmettu Leithovi (12. březen 1927 – 23. prosinec 2005). Své první významné objevy v holografii udělali v roce 1962, tedy v době kubánské krize. Věděli o sobě, ale poprvé se mohli potkat až v devadesátých letech dvacátého století na jedné z konferencí.

V jedné z pozvaných přednášek podrobně představil Henry Thienpont organizaci Network of Excellence on Micro Optics (NEMO), do něhož je zapojena řada významných evropských vědeckých ústavů. Ve své přednášce si posteskl nad zvláštním mizením žen, kdy podle něj se polovina žen ztrácí z optiky po dosažení PhD. Dobrá byla i přehledová přednáška - Hiroyuki Ichikawa „Potential of diffractive optical elements in the resonance domain“, který ji završil poznámkou, že všechny práce jeho skupiny byly publikovány jen a pouze v evropských časopisech. Současný stav litografických technik pro optiku přednesl Bernhard Kley z Friedrich Schiller University Jena: „Advanced Lithography for Micro- and Nanooptics“

Plenární a pozvané přednášky byly na velmi vysoké úrovni, stejně jako většina „normálních“ ústních a posterových příspěvků ze všech šesti obsažených oblastí: biofotonika, extrémní optika, nanomateriály, mikrooptika a difrakční optika, fotonické zařízení v prostoru a konečně nelineární optika.

V sekci TOM4 Micro-Optics, Diffractive Optics and Optical MEMS mluvila převážná část přednášejících o různých subvlnových jevech ve srovnání s použitou vlnovou délkou, ale opomněli

to, že většinou používali laser na 1064 nm, takže za subvlnové bylo považováno vše pod jeden mikron.

Generální ředitel EOS Annual Meeting Joseph Braat hodnotil: „Šest témat společně prezentuje zajímavý přehled současné optiky a fotoniky od základních principů až po aplikované metody a zařízení v optice. Široký rozsah témat je také výsledkem vědecké spolupráce organizátorů tohoto výročního setkání – mezi EOS a Divizí kvantové elektroniky a optiky patřící do European Physical Society (QEOD-EPS).“

Z České republiky byly k vidění tři příspěvky, ústní v TOM2 Extreme Optics Pavel Honzátko et al. (ÚŘE AV): „Effect of polarization dependent gain of SOA on the performance of UNI gate“ a v TOM4 Ivo Aubrecht et al. (Policejní prezidium): „A digital micro-mirror device as a high-contrast amplitude SLM: analysis of diffraction by the DMD structure and employment in exposition of rain-bow holograms“ a Jan Pala et al. (ÚŘE AV): „Axial and transversal diffraction pattern by elliptical convergent beams with cylindrical and toroidal wavefronts“.

Souběžně s konferencí probíhala na stejném podlaží i spojená výstava OPTO 2006, Measurexpo a Forum d'Electronique. Podle údajů pořadatelů se jí zúčastnilo kolem dvou set vystavovatelů z oblasti optiky a navštívilo ji přes čtyři tisíce lidí a navíc všichni účastníci konference, neboť v části pavilonu byla poster session.



Velkému zájmu návštěvníků se těšily výstavní stánky nakladatelství Springer poskytující 20 procent slevy na výstavní objednávky, stejně tak stánky časopisů *Laser Focus World*, *Photonics Spectra* a *Biophotonics International*. Mezi novinkami byly dobré nové pevnolátkové lasery od firem Melles Griot a Newport, měřicí mikroskopy od Leica-Microsystems, měřiče optického výkonu a analyzátoři laserového svazku od spojených firem Ophir a Spiricon.

Jan Pala

Vliv zdvojení obrazu na funkci přenosu kontrastu optické soustavy

V optických soustavách používaných v různých oblastech vědy a techniky se velmi často nacházejí hranoly nebo hranolové soustavy, jejichž technologické vady (nedodržení úhlů jednotlivých stěn hranolu apod.) vedou ke zdvojení obrazu vytvářeného optickou soustavou, jejíž jsou částí. V práci je provedena podrobná teoretická analýza vlivu zdvojení obrazu na optickou funkci přenosu optické soustavy. Jsou odvozeny vztahy umožňující určit přípustné technologické chyby optických hranolových prvků tak, aby přípustné zdvojení obrazu nezpůsobovalo nepřijatelné snížení funkce přenosu kontrastu vyšetřované optické soustavy.

Klíčová slova: optická soustava, hranoly, tolerance, zdvojení obrazu, kvalita zobrazení

1. ÚVOD

Optické soustavy jsou složeny z řady optických prvků jako jsou např. čočky, hranoly, difrakční prvky apod. [1-7]. Tyto prvky jsou vždy zatíženy určitými technologickými vadami (deformace ploch, centricita čoček, klínovitost planparalelních desek a hranolů, apod.), které vznikají v průběhu technologického procesu jejich výroby. Dále pak vadami materiálovými (nehomogenita indexu lomu skel, bubliny, šlíry apod.), vznikajícími v důsledku použití materiálů určité kvality. Má-li být kvalita zobrazení optickou soustavou co nejlepší, musí se jednotlivé optické prvky pečlivě kontrolovat, aby jejich zbytkové vady nezpůsobovaly viditelné zhoršení kvality zobrazení. Kvalita optických prvků a jejich optických ploch se nejčastěji kontroluje pomocí interferometrických metod [8-16], které jsou velmi přesné, ale citlivé k vnějším poruchám (vibrace apod.) a také jsou drahé. V řadě případů lze stejné přesnosti dosáhnout pomocí gradientních metod [17-18], které jsou levnější a méně citlivé k vnějším poruchám.

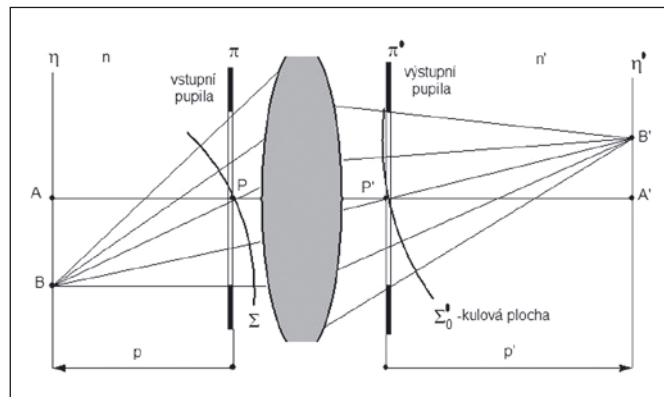
V optických soustavách používaných v různých oblastech vědy a techniky se velmi často nacházejí hranoly nebo hranolové soustavy [1, 6, 7, 19-24], jejichž technologické vady (nedodržení úhlů jednotlivých stěn hranolu apod.) vedou ke zdvojení obrazu vytvářeného optickou soustavou, jejíž jsou částí. Podrobná analýza hodnocení kvality optických prvků složených z rovinných ploch je uvedena v [9, 22]. Kvalita obrazu vytvořeného optickou soustavou se nejčastěji hodnotí pomocí optické funkce přenosu [2-6, 23, 24], jejíž modul (funkce přenosu kontrastu, funkce přenosu modulace) nám udává, s jakým kontrastem budou jednotlivé struktury předmětu zobrazeny. V práci je provedena podrobná teoretická analýza vlivu zdvojení obrazu na optickou funkci přenosu optické soustavy. Jsou odvozeny vztahy umožňující určit přípustné technologické chyby optických hranolových prvků tak, aby přípustné zdvojení obrazu nezpůsobovalo nepřijatelné snížení funkce přenosu kontrastu vyšetřované optické soustavy.

2. ZOBRAZENÍ OPTICKOU SOUSTAVOU

Kvalita obrazu předmětu vytvořeného optickou soustavou závisí na řadě faktorů, z nichž k nejdůležitějším patří aberace optické soustavy. Aberacemi (vadami) optických soustav nazýváme odchylky zobrazení reálné optické soustavy od ideální optické soustavy [1-7, 23, 24]. Aberace optických soustav vznikají z několika příčin, a to v důsledku lomu a odrazu světla na plochách optické soustavy, nedokonalostí výroby optických soustav a vadami materiálu, z kterého jsou optické prvky vyráběny.

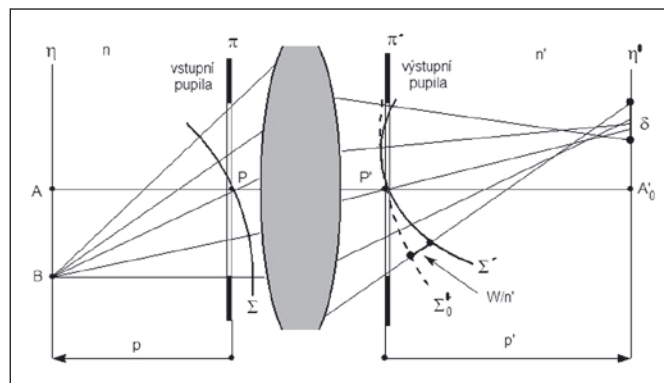
Zabýváme se nyní optickým zobrazením z hlediska geometrické optiky. Na obr. 1 je znázorněno zobrazení ideální optickou soustavou, tj. optickou soustavou bez aberací. Uvažujme např. mimosový bod B, z kterého vychází kulová vlnoplocha Σ . Vzhledem k tomu, že

ideální optická soustava zobrazuje bod opět jako bod, bude kulová vlnoplocha Σ , po průchodu optickou soustavou, transformována opět na kulovou vlnoplochu Σ_0' se středem v bodě B', který je obrazem bodu B. Paprsky vycházející z bodu B budou, po průchodu optickou soustavou, protínat obrazovou rovinu η' v bodě B'.



Obr. 1 Zobrazení ideální optickou soustavou. Kulová vlnoplocha Σ je transformována na kulovou vlnoplochu Σ_0'

Zabýváme se nyní zobrazením reálnou optickou soustavou, tj. optickou soustavou zatíženou aberacemi. Na obr. 2 je znázorněno zobrazení takovouto soustavou. Uvažujme opět mimosový bod B, z kterého vychází kulová vlnoplocha Σ . Po průchodu reálnou



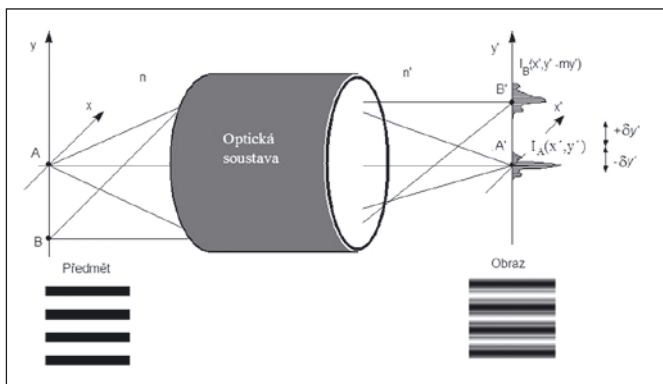
Obr. 2 Zobrazení reálnou optickou soustavou. Kulová vlnoplocha Σ je transformována na vlnoplochu Σ' obecného tvaru. W je vlnová aberace a δ je průměr rozptylového kroužku

optickou soustavou se kulová vlnoplocha Σ transformuje na vlnoplochu Σ' obecného tvaru. Odchylku W vlnoplochy Σ' od ideální kulové vlnoplochy Σ_0' nazýváme vlnovou aberací optické soustavy. Změna vlnové aberace se změnou vlnové délky světla se nazývá chromatická aberace (barevná vada). Paprsky vycházející z bodu B se po průchodu optickou soustavou nebudou protínat v jednom bodě, ale obrazovou rovinu η' protnou v řadě různých bodů tvořících tzv. rozptylový kroužek. Čím větší bude vlnová aberace optické soustavy, tím větší bude velikost δ rozptylového kroužku.

Polohu obrazové roviny η' volíme tak, aby procházela bodem A_0' , který je ideálním obrazem osového bodu A.

Má-li být zobrazení optickou soustavou co nejdokonalější, musí být vlnová aberace korigována (zmenšena) tak, aby její zbytková hodnota byla co nejmenší, a to v co nejširší spektrální oblasti. Je-li zbytková vlnová aberace W optické soustavy, pro všechny body předmětu, menší než čtvrtina vlnové délky světla λ , tj. $W \ll \lambda/4$ (Rayleighovo kritérium), potom se zobrazení reálné optické soustavy neliší od zobrazení ideální optické soustavy pro tuto vlnovou délku světla.

Až dosud jsme se zabývali teorií optického zobrazení z hlediska geometrické optiky a zcela jsme tedy ignorovali vlnovou povahu světla. Podle představ geometrické optiky nám ideální optická soustava, tj. soustava bez aberací, zobrazuje bod jako bod. Z hlediska vlnové optiky pak, v důsledku konečných rozměrů optických soustav, dochází při zobrazení k difrakci světla a obrazem bodu není bod, ale difrakční obrazec, vyznačující se určitým rozdělením energie. Rozdělení energie v difrakčním obrazci závisí na vlnové délce světla, tvaru pupilu, numerické apertuře a aberacích optické soustavy. Optickou soustavou, jejíž vlastnosti budou omezeny pouze vlnovou povahou světla (soustava bez aberací), budeme nazývat fyzikálně dokonalou optickou soustavou. V důsledku vlnové povahy světla nebudou obrazem bodů A a B body A' a B' , ale jejich difrakční obrazce, vyznačující se určitým rozdělením intenzity světla I_A a I_B v obrazové rovině, jak je znázorněno na obr. 3. Této odezvě optické soustavy na bodový signál (bodový zdroj světla) říkáme rozptylová funkce bodu. Tvar rozptylové funkce (rozdělení energie v difrakčním obrazci) bude záviset na poloze zobrazovaného bodu v rovině předmětu.



Obr. 3 Rozptylová funkce bodu

Předpokládejme nyní, že zobrazení bude probíhat nekoherentním zářením (denní světlo, žárovkové osvětlení apod.) a optickou soustavou budeme považovat za fyzikálně dokonalou optickou soustavu. Dále budeme předpokládat, že vstupní pupila optické soustavy je kruhová, rovnoměrně prosvětlená a rovnoměrně propustná, jak tomu v praxi většinou bývá. V tomto případě bude rozptylová funkce fyzikálně dokonalé optické soustavy s rovnoměrně osvětlenou a propustnou kruhovou pupilou dána vztahem [1-6, 23, 24]

$$I(r) = I_0 \left[\frac{2J_1(a)}{a} \right]^2,$$

kde značí I_0 intenzitu světla ve středu difrakčního obrazce, $J_1(a)$ Besselovu funkci prvního druhu a řádu jedna argumentu $a = \pi r/\lambda c$,

λ vlnovou délku světla, $c = 1/2A$ clonové číslo optické soustavy, A je numerická apertura optické soustavy a r vzdálenost místa, v kterém určujeme intenzitu od středu difrakčního obrazce. Besselova funkce $J_1(a)$ nabývá prvně nulové hodnoty pro $r = r_A = 1,22 \lambda c$. Veličinu r_A nazýváme poloměrem Airyho disku. Průměr centrální části difrakčního obrazce tedy bude

$$d_A = 1,22 \lambda/A,$$

tato veličina se nazývá Airyho disk.

Další funkcí, která charakterizuje zobrazovací vlastnosti optické soustavy, je optická funkce přenosu (OTF - Optical Transfer Function) [2-6, 23, 24], jejíž modul (MTF - Modulation Transfer Function, funkce přenosu kontrastu, funkce přenosu modulace) nám udává, s jakým kontrastem bude předmět zobrazen, tj. s jakým kontrastem budou jednotlivé struktury předmětu, charakterizované prostorovou frekvencí R , udanou počtem čar na jednotku délky (např. čar/mm), optickou soustavou zobrazeny. Kontrast předmětu K_L a kontrast obrazu K_E jsou definovány vztahy

$$K_L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}, \quad K_E = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}},$$

kde L_{\max} a L_{\min} značí maximální a minimální hodnotu jasu předmětu a E_{\max} a E_{\min} značí maximální a minimální hodnotu osvětlení v obrazové rovině. Pro funkci přenosu kontrastu pak platí

$$\text{MTF} = K_E/K_L.$$

Předmět může mít velmi složitou strukturu a jeho jednotlivé části se mohou vyznačovat různou jemností a kontrastem struktury. Optická soustava není schopna jednotlivé struktury předmětu zobrazit se stejným kontrastem a obraz bude tedy mít vždy horší kontrast než předmět, přitom hrubší struktury předmětu budou zobrazeny s větším kontrastem než jemné struktury. Velmi často se stává, že příliš jemné struktury předmětu nebudou optickou soustavou vůbec zobrazeny, neboť parametry optické soustavy to neumožňují. V případě zobrazení nekoherentním zářením (denní světlo, žárovkové osvětlení apod.) je optická funkce přenosu fyzikálně dokonalé optické soustavy s rovnoměrně osvětlenou a propustnou kruhovou pupilou dána vztahem [2-6, 23, 24]

$$D(s) = \frac{2}{\pi} \left(\arccos s - s\sqrt{1-s^2} \right),$$

kde

$$s = \lambda R c, \quad s \in < 0, 1 >,$$

je normovaná prostorová frekvence, λ vlnová délka světla, R prostorová frekvence v obrazové rovině udaná počtem čar na jednotku délky (např. čar/mm) a c clonové číslo optické soustavy v obrazovém prostoru. Mezní (krajní) prostorová frekvence R_{\max} , kterou je optická soustava schopna přenést, je dána vztahem

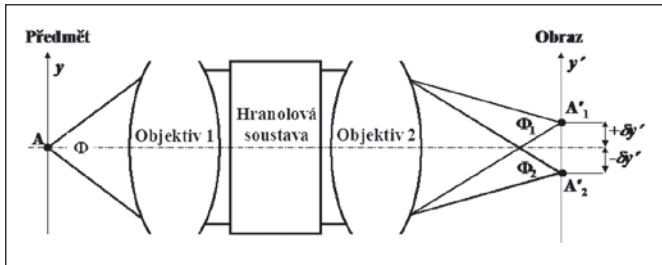
$$s = \lambda c R_{\max} = 1 \quad \text{a tedy} \quad R_{\max} = 1/\lambda c.$$

Volíme-li vlnovou délku λ v mm, potom je prostorová frekvence R dána v čarách/mm. Můžeme tedy z tohoto vztahu určit, kolik čar/mm je schopna fyzikálně dokonalá optická soustava s clonovým číslem c rozlišit při zobrazení světlem o vlnové délce λ . Rozlišovací schopnost optické soustavy je tedy dána prostorovou frekvencí R_{\max} , kterou daná optická soustava přeneše s nulovým kontrastem.

3. VLIV ZDVOJENÍ OBRAZU NA OPTICKOU FUNKCI PŘENOSU

Velké množství optických přístrojů jako např. dalekohledy, mikroskopy, fotografické přístroje, periskopy, zaměřovače apod. používají ve svých optických soustavách různé hranolové systémy [1, 6, 7, 19-24], jejichž výrobní chyby (např. nedodržení úhlu střechy a střečových hranolů) způsobují zdvojení obrazu, které se negativně projevuje na kvalitě výsledného obrazu vytvořeného těmito

optickými systémy. Abychom si popsali vliv zdvojení obrazu na kvalitu zobrazení optické soustavy, uvažujme situaci znázorněnou na obr. 4. Optická soustava se skládá z objektivu 1, hranolové soustavy a objektivu 2. Předpokládejme, že z bodu A předmětu vychází homocentrický paprskový svazek, jemuž přísluší světelný tok Φ . Po průchodu optickou soustavou je tento svazek rozdělen, v důsledku chyb hranolové soustavy, na dva svazky, jímž přísluší stejné světelné toky o velikosti $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi/2$. Geometricko-optickým obrazem bodu A pak, v případě optické soustavy bez aberací, budou dva body A'_1 a A'_2 , které se budou nacházet ve vzdálenostech $\delta y'$ a $-\delta y'$ od optické osy soustavy. Z hlediska difrakční teorie optického zobrazení budou obrazem bodu A dva identické (v případě, že objektiv 2 je rotačně symetrická optická soustava) difrakční obrazce (rozptylové funkce bodu), jejichž maxima se budou nacházet ve vzdálenostech $\delta y'$ a $-\delta y'$ od optické osy soustavy.



Obr. 4 Zdvojení obrazu po průchodu optickou soustavou hranolovou soustavou zatíženou výrobními odchylkami

Za předpokladu, že oba objektivy jsou rotačně symetrické optické soustavy a rozdělení obrazu se děje ve směru osy y' (tento předpoklad je v praxi vždy splněn), můžeme v našich výpočtech, pro jednoduchost, uvažovat jen závislost na proměnné y' (řezy rozptylovou funkcí bodu jsou ve všech směrech stejné). Je-li $h(y')$ rozptylová funkce bodu optické soustavy nezatížené rozdělením obrazu, potom pro rozptylovou funkci bodu se středem v bodech A_1 a A_2 platí

$$h_1(y') = \frac{1}{2}h(y' - \delta y'), \quad h_2(y') = \frac{1}{2}h(y' + \delta y'),$$

kde jsme vzali v úvahu skutečnost, že $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi/2$. Pro rozptylovou funkci $h_d(y')$ optické soustavy zatížené rozdělením obrazu potom platí

$$h_d(y') = h_1(y') + h_2(y') = \frac{1}{2}[h(y' - \delta y') + h(y' + \delta y')].$$

Optická funkce přenosu optické soustavy zatížené rozdělením obrazu $D_d(R)$ je pak dána Fourierovou transformací rozptylové funkce bodu, platí

$$D_d(R) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_d(y') \exp(i2\pi y'R) dy',$$

kde R je prostorová frekvence a i imaginární jednotka. Dosadíme-li do tohoto vztahu za rozptylovou funkci $h_d(y')$ předcházející vztah, dostáváme

$$D_d(R) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} h(y' - \delta y') \exp(i2\pi y'R) dy' + \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} h(y' + \delta y') \exp(i2\pi y'R) dy'.$$

Optická funkce přenosu $D(R)$ optické soustavy nezatížené rozdělením obrazu je dána vztahem

$$D(R) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(y') \exp(i2\pi y'R) dy'.$$

Užitím vztahů

$$\int_{-\infty}^{+\infty} h(y' - \delta y') \exp(i2\pi y'R) dy' = D(R) \exp(i2\pi \delta y'R),$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} h(y' + \delta y') \exp(i2\pi y'R) dy' = D(R) \exp(-i2\pi \delta y'R),$$

pak pro optickou funkci přenosu optické soustavy zatížené rozdělením obrazu obdržíme

$$D_d(R) = D(R) \cos(2\pi \delta y'R).$$

Určeme nyní velikost přípustného rozdělení obrazu $\delta y'_{\text{tol}}$, které způsobí povolené snížení hodnoty optické funkce přenosu. Pro malé hodnoty $\delta y'$ rozdělení obrazu platí

$$\frac{D_d(R)}{D(R)} = \cos(2\pi \delta y'R) \approx 1 - \frac{(2\pi \delta y'R)^2}{2}.$$

Odtud dostáváme

$$\delta y'_{\text{tol}} \leq \frac{0,225}{R} \sqrt{\frac{D(R) - D_d(R)}{D(R)}} = \frac{0,225}{R} \sqrt{\frac{\delta D(R)}{D(R)}} = 0,225 \frac{\lambda c}{s} \sqrt{\frac{\delta D(R)}{D(R)}}.$$

kde λ je vlnová délka světla, c clonové číslo optické soustavy a s normovaná prostorová frekvence ($s \ll 0,1$). Volíme-li např. 20% pokles optické funkce přenosu ($\delta D(R)/D(R) = 0,2$), dostáváme

$$\delta y'_{\text{tol}} \leq \frac{0,1}{R} = \frac{0,1 \lambda c}{s}.$$

Je-li f'_2 ohnisková vzdálenost objektivu 2, potom pro úhlovou velikost φ rozdělení obrazu platí

$$\varphi = \frac{\delta y'_{\text{tol}}}{f'_2} \leq \frac{0,1 \lambda}{s D_2},$$

kde D_2 je průměr vstupní pupily objektivu 2. Volíme-li dále $\lambda = 0,00055$ mm a $s = 0,5$, pak pro úhlovou velikost φ rozdělení obrazu dostáváme

$$\varphi = \frac{\delta y'_{\text{tol}}}{f'_2} \leq \frac{0,00011}{D_2} \text{ [rad]}.$$

Pro úhlovou velikost φ'' rozdělení obrazu v úhlových vteřinách ["] pak platí

$$\varphi'' \leq \frac{22''}{D_2}.$$

Jak je z tohoto vztahu patrné, je tolerance na hodnotu přípustného úhlového rozdělení obrazu velmi přísná. Musí být tedy např. úhly střež střežových hranolů vyrobeny s velkou přesností, nemá-li dojít k viditelnému zhoršení kvality zobrazení optických soustav, které tyto střežové hranoly obsahují jako svou část (např. převraccující soustavy).

4. PŘÍKLAD VÝPOČTU TOLERANCE STŘECHY HRANOLU

Jako příklad si nyní určíme přípustnou toleranci na střež pravouhloho střežového hranolu [1, 6, 7, 19-24]. Je-li A jednotkový směrový vektor paprsku dopadajícího na střež hranolu a A' jednotkový směrový vektor paprsku vystupujícího po odraze na střež hranolu, pak mezi těmito dvěma vektory platí následující vztah

$$A' = MA,$$

kteří získáme opakovaným použitím zákona odrazu ve vektorovém tvaru [2,19]. Matice střež M má tvar

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$$

a kde pro jednotlivé prvky matice platí

$$m_{11} = \cos 2\sigma + 2p_x^2 \sin^2 \sigma, \quad m_{12} = -p_z \sin 2\sigma + 2p_x p_y \sin^2 \sigma,$$

$$m_{13} = p_y \sin 2\sigma + 2p_x p_z \sin^2 \sigma,$$

$$m_{21} = p_z \sin 2\sigma + 2p_x p_y \sin^2 \sigma, \quad m_{22} = \cos 2\sigma + 2p_y^2 \sin^2 \sigma,$$

$$m_{23} = -p_x \sin 2\sigma + 2p_y p_z \sin^2 \sigma,$$

$$m_{31} = -p_y \sin 2\sigma + 2p_x p_z \sin^2 \sigma, \quad m_{32} = p_x \sin 2\sigma + 2p_y p_z \sin^2 \sigma,$$

$$m_{33} = \cos 2\sigma + 2p_z^2 \sin^2 \sigma,$$

kde σ je úhel střechy a p_x, p_y, p_z jsou směrové kosiny jednotkového vektoru hrany střechy. Uvažujme nyní případ pravoúhlé střechy, která se v praxi nejčastěji vyskytuje. V tomto případě platí $\sigma = 90^\circ + \alpha$, kde α je chyba úhlu střechy. Uvažujeme-li, že pro malé hodnoty úhlu α platí

$$\cos 2\sigma \approx -1, \quad \sin 2\sigma \approx -2\alpha, \quad \sin^2 \sigma \approx 1,$$

dostáváme pro matici střechy \mathbf{M} následující výraz

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} -1 + 2p_x^2 & 2\alpha p_z + 2p_x p_y & -2\alpha p_y + 2p_x p_z \\ -2\alpha p_z + 2p_x p_y & -1 + 2p_y^2 & 2\alpha p_x + 2p_y p_z \\ 2\alpha p_y + 2p_x p_z & -2\alpha p_x + 2p_y p_z & -1 + 2p_z^2 \end{pmatrix}.$$

V případě, že hrana střechy svírá úhel 45° s osou z , platí

$$\mathbf{p} = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \sin 45^\circ \\ -\cos 45^\circ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{2}/2 \\ -\sqrt{2}/2 \end{pmatrix}.$$

Volíme-li vektor \mathbf{A} ve směru osy z , platí

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix},$$

pak pro vektor \mathbf{A}' dostáváme

$$\mathbf{A}' = \mathbf{M}\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -\sqrt{2}\alpha \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Jak je z tohoto vztahu patrné, dojde v důsledku chyby úhlu střechy ke zdvojení obrazu a tedy ke ztrátě kvality zobrazení. Je-li n index lomu skla hranolu, potom pro úhlovou hodnotu (v úhlových vteřinách) rozdělení obrazu platí

$$\varphi'' = 2\sqrt{2}n\alpha''.$$

Volíme-li např. 20% pokles optické funkce přenosu ($\delta D(R)/D(R) = 0,2$), $\alpha = 0,00055$ mm a $s = 0,5$, potom pro chybu střechy α'' , podle předcházejícího, dostáváme

$$\alpha'' \leq \frac{22''}{2\sqrt{2}nD_2}.$$

Volíme-li $n = 1,5$, obdržíme

$$\alpha'' \leq \frac{5,2''}{D_2}.$$

Jak je z tohoto vztahu patrné, je tolerance na úhel střechy hranolu velmi malá a je tedy nutno výrobě střechy věnovat zvýšenou pozornost.

ZÁVĚR

V práci byla provedena podrobná teoretická analýza vlivu zdvojení obrazu na optickou funkci přenosu optické soustavy. Byly odvozeny vztahy umožňující určit přípustné technologické chyby optických hranolových prvků tak, aby přípustné zdvojení obrazu nezpůsobovalo nepřijatelné snížení funkce přenosu kontrastu vyšetřované optické soustavy. Jako příklad byl proveden výpočet přípustné tolerance na střechu pravoúhlého střečového hranolu.

Práce byla řešena za částečné podpory projektu IM06002 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] Fuka J, Havelka B.: *Optika*, SPN, Praha 1961.
- [2] Mikš A.: *Aplikovaná optika 10*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.
- [3] Mikš A.: *Fyzika 2- Elektromagnetické pole*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2005.
- [4] Born M., Wolf E.: *Principles of Optics*. Oxford University Press, New York, 1964.
- [5] Klein M. V.: *Optics*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1970.
- [6] Jiráček M., Mikš A., Opočenský V., Růžek J., Scheufter P., Spěvák M., Stýblo P., Urban, M.: *Technické základy fotografie*. 1. vyd. Komora fotografických živností, Praha, 2002.
- [7] Hajda J.: *Optika a optické přístroje*, Alfa, Bratislava 1956.
- [8] Mikš, A. - Novák, J. - Novák, P.: *Colorimetric Method for Phase Evaluation*. In: Journal of the Optical Society of America A. 2006, Vol. **23**, No. 4, pp. 894-901.
- [9] Mikš, A. - Novák, J.: *Testing of Plano-Optical Elements*. In: Optica Applicata. 2003, Vol. **33**, No. 3, pp. 391-402.
- [10] Novák, J.: *Five-Step Phase-Shifting Algorithms with Unknown Values of Phase Shift*. In: Optik: International Journal for Light and Electron Optics. 2003, Vol. **114**, No. 2, pp. 63-68.
- [11] Novák, J. - Mikš, A.: *Modern Optoelectronic Methods for Non-Contact Deformation Measurement in Industry*. In: Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. 2002, Vol. **4**, No. 6, pp. 413-420.
- [12] Novák, J.: *Analysis of Phase Evaluation Algorithms in an Interferometric Method for Static Deformation Measurement*. In: Acta Polytechnica. 2002, Vol. **42**, No. 4, pp. 35-41.
- [13] Novák, J.: *New Phase Shifting Algorithms Insensitive to Linear Phase Shift Errors*. In: Acta Polytechnica. 2002, Vol. **42**, No. 4, pp. 51-56.
- [14] Novák, J. - Mikš, A.: *Possible Application of Hyperchromatic Optical Systems for Metrology of Surfaces*. In: Proceedings of SPIE Vol. **5856**. Washington: SPIE, 2005, pp. 597-605.
- [15] Novák, J.: *Analýza víceřadových algoritmů pro metodu elektrooptické holografie*. In: Jemná mechanika a optika. 2003, roč. 48, č. **4**, s. 108-113.
- [16] Novák, J.: *Víceřadové algoritmy nezávislé na lineární chybě fázového posuvu*. In: Jemná mechanika a optika. 2002, roč. 47, č. **11-12**, s. 348-352.
- [17] Novák, J. - Novák, P. - Mikš, A.: *Wave-Front Sensor for Testing Imaging Quality of Optical Systems*. In: Proceedings of International Workshop: Physical and Material Engineering 2005. Praha: Czech Technical University in Prague, 2005, pp. 130-135.

- [18] Novák, P. - Novák, J.: *Analysis of Algorithms for Wave-Front Reconstruction from its Gradient*. In: Proceedings of International Workshop: Physical and Material Engineering 2005. Praha: Czech Technical University in Prague, 2005, pp. 147-150.
- [19] Pogarev, G.V.: *Justirovka optičeskich priborov*. Mašinostrojenije, Leningrad, 1968.
- [20] Kašpar, E.: *Optické hranoly*. In: Sborník MAP, XXII, 1948, č.125, s.135.
- [21] Klabazňa, J.: *Základy teorie a konstrukce odrazných hranolů*. Nakl. UP, Olomouc, 1982.
- [22] Klabazňa, J.: *Metodika určování tolerancí optických soustav s odraznými hranoly*. Nakl. UP, Olomouc, 1984.
- [23] Levi, L.: *Applied Optics – A Guide to Optical System Design - Vol. 1-2*, John Willey & Sons, New York, 1968.
- [24] *Handbook of Optics*, (M. Bass Edit.), Vol. I-IV, McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.

Mgr. Radek Melich, Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR, Třída 17. listopadu, 772 07 Olomouc a Ústav fyziky plazmatu, oddělení optické diagnostiky, Skállova 89, Turnov 51101, tel.: +420 481 322 622, email: RMelich@centrum.cz
 RNDr. Zbyněk Melich, Ústav fyziky plazmatu, oddělení optické diagnostiky, Skállova 89, Turnov 51101, tel.: +420 481 322 622, email: melichz@ipp.cas.cz

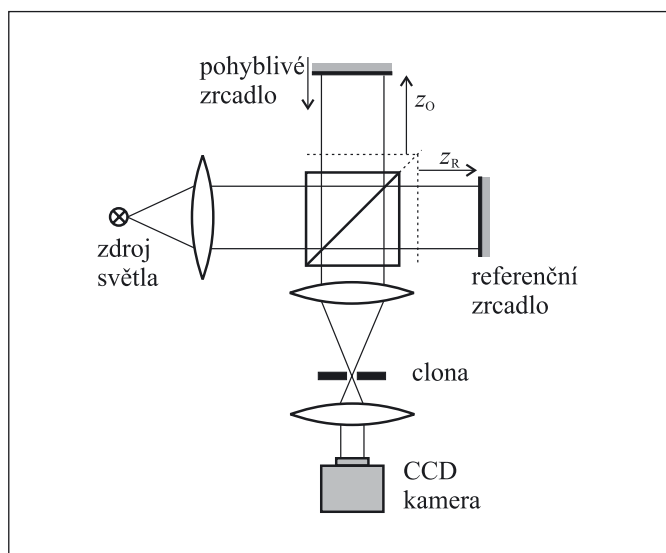
Pavel PAVLÍČEK, Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Olomouc
 Ondřej HÝBL, katedra aplikované fyziky, Univerzita Palackého Olomouc

Měření spektra svítící diody pomocí interferenční spektroskopie

V článku je popsáno měření spektra svítící diody pomocí interferenční spektroskopie. Při interferenční spektroskopii je tvar spektrální hustoty měřeného světelného zdroje určen ze změřené autokorelační funkce. Autokorelační funkce je měřena pomocí Michelsonova interferometru. Jsou odvozeny základní vztahy pro výpočet spektrální hustoty měřeného světelného zdroje z naměřené autokorelační funkce. Pozornost je věnována správnému nastavení vzorkovacích parametrů pro měření spektrální hustoty.

1. ÚVOD

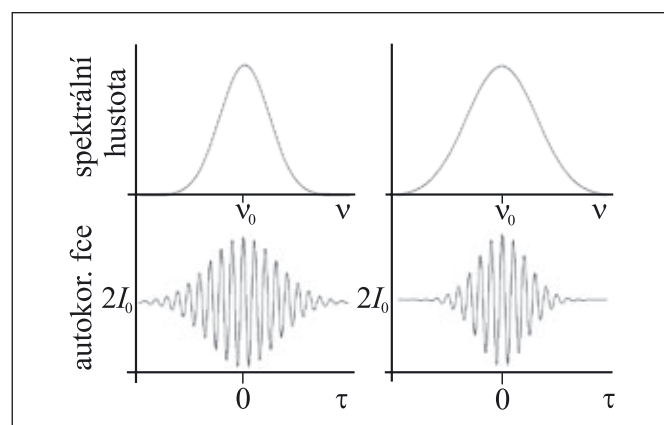
V interferenční spektroskopii se spektrum světla určuje z naměřené autokorelační funkce. Autokorelační funkcí se rozumí závislost intenzity světla na časovém rozdílu dvou paprsků světla. Časový rozdíl paprsků se vytváří pomocí interferometru. Světlo, jehož spektrum má být určeno, se přivede na vstup interferometru a na jeho výstupu se měří intenzita v závislosti na časovém rozdílu.



Obr. 1 Experimentální uspořádání pro měření autokorelační funkce

Závislost intenzity na časovém rozdílu paprsků souvisí podle Wienerova – Chinčinoва teorému¹ (v anglicky psané literatuře označovaného jako Wiener - Khintchine theorem) se spektrální hustotou intenzity na vstupu interferometru [1], [2]. Pomocí Fourierovy transformace je možné z naměřené autokorelační funkce spočítat spektrální hustotu intenzity na vstupu interferometru.

Pro měření autokorelační funkce je možné využít některý dvoupaprskový interferometr. Většinou se používá Michelsonova interferometru pro jeho jednoduchost. Michelsonův interferometr je schematicky znázorněn na obr. 1.



Obr. 2 Příklad gaussovského spektra a odpovídající autokorelační funkce

¹ Teorém je nazván po americkém matematikovi Norbertu Wienerovi (1894 - 1964), který je znám především jako zakladatel kybernetiky a po ruském matematikovi Aleksandru Jakovleviči Chinčinovi (1894 - 1959).

Časový rozdíl mezi paprsky se nastavuje posuvem jednoho ze zrcadel podél souřadnice z . Posuv zrcadla je zajištěn mikrometrickým posuvem. Jako detektor na výstupu interferometru je použita standardní CCD kamera s normou CCIR.

Příklad autokorelační funkce a její souvislosti se spektrem světelného zdroje jsou uvedeny na obr. 2.

V současné době jsou na trhu profesionální interferenční spektrometry, které měří spektrum s vysokou přesností. Zároveň je možné díky rychlému rozvoji mikrometrických posuvů, CCD kamer, framegrabberů a výkonných počítačů sestavit interferenční spektrometr pomocí jednoduchých prostředků.

2. TEORIE

Intenzita, která je naměřena na výstupu Michelsonova interferometru, se dá vyjádřit podle obecného zákona interference (general interference law) [2]

$$I(\tau) = I_1 + I_2 + 2 \operatorname{Re}\{\Gamma_{12}(\tau)\}, \quad (1)$$

kde I_1 a I_2 jsou intenzity v jednotlivých ramenech interferometru a τ je rozdíl mezi časem průletu světla jedním a časem průletu světla druhým ramenem interferometru. $\Gamma_{12}(\tau)$ je funkce vzájemné koherence (mutual coherence function). Jestliže je intenzita světla v obou ramenech Michelsonova interferometru stejná $I_1 = I_2 = I_0$, zjednoduší se rovnice (1) na tvar

$$I(\tau) = 2I_0 + 2 \operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\}. \quad (2)$$

V rovnici (2) označuje $\Gamma(\tau)$ funkci vzájemné koherence pro případ $I_1 = I_2 = I_0$. Intenzita $I(\tau)$ naměřená na výstupu Michelsonova interferometru jako funkce časového rozdílu τ je autokorelační funkcí (autocorrelation function) [3]. Grafické znázornění autokorelační funkce se nazývá korelogram.

Z rovnice (2) vyplývá, že reálnou část funkce vzájemné koherence $\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\}$ jako funkci časového rozdílu τ lze vypočítat z naměřené autokorelační funkce $I(\tau)$ a intenzity I_0 .

$$\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\} = \frac{1}{2}[I(\tau) - 2I_0]. \quad (3)$$

Intenzita I_0 se změří tak, že se nastaví dostatečně velký rozdíl délek ramen interferometru. Intenzita naměřená na detektoru je rovna $2I_0$, jak je patrné z obr. 2.

Vztah mezi funkcí vzájemné koherence $\Gamma(\tau)$ a spektrální hustotou (spectral density) $S(\nu)$ popisuje Wienerův-Chinčínův teorém [2]

$$\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\} = 2 \int_{-\infty}^{\infty} S(\nu) \exp(-i2\pi\nu\tau) d\nu. \quad (4)$$

Reálná část funkce vzájemné koherence $\Gamma(\tau)$ je rovna dvojnásobku Fourierovy transformace spektrální hustoty $S(\nu)$. Spektrální hustota $S(\nu)$ je reálná funkce. Z toho, že její Fourierova transformace je také reálná funkce, vyplývá, že spektrální hustota $S(\nu)$ je sudá funkce, to znamená, že pro ni platí $S(-\nu) = S(\nu)$.

Poznámka: Někdy se Wienerův-Chinčínův teorém píše ve tvaru [2]

$$\Gamma(\tau) = 4 \int_0^{\infty} S(\nu) \exp(-i2\pi\nu\tau) d\nu. \quad (5)$$

Jde o zápis, který je ekvivalentní zápisu pomocí rovnice (4). Komplexně sdružený výraz k vzájemné koherenční funkci v rovnici (5) má tvar

$$\Gamma^*(\tau) = 4 \int_0^{\infty} S(\nu) \exp(i2\pi\nu\tau) d\nu = 4 \int_{-\infty}^0 S(\nu) \exp(-i2\pi\nu\tau) d\nu. \quad (6)$$

Při úpravě se využilo toho, že $S(\nu)$ je reálná funkce a že platí $S(-\nu) = S(\nu)$. Součet rovnic (5) a (6) dává rovnici (4).

Využitím Wienerova-Chinčínova teorému je možné z naměřené autokorelační funkce spočítat spektrální hustotu světelného zdroje. Z rovnice (4) vyplývá

$$S(\nu) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\} \exp(i2\pi\nu\tau) d\tau. \quad (7)$$

Spektrální hustota $S(\nu)$ je tedy polovina zpětné Fourierovy transformace reálné části vzájemné koherenční funkce $\Gamma(\tau)$.

Jak je zřejmé z rovnice (4), tvoří dvojnásobek spektrální hustoty $2S(\nu)$ a reálná část funkce vzájemné koherence $\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\}$ fourierovský pár. Jako příklad takových párů je možné uvést veličiny $\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\}$ a $S(\nu)$ pro případ monochromatického světla s frekvencí ν_0

$$\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\} = I_0 \cos(2\pi\nu_0\tau),$$

$$S(\nu) = \frac{1}{4} I_0 [\delta(\nu - \nu_0) + \delta(\nu + \nu_0)],$$

nebo pro případ světla s gaussovským spektrem se spektrální šířkou $\Delta\nu$ a střední frekvencí ν_0

$$\operatorname{Re}\{\Gamma(\tau)\} = I_0 \exp[-(2\pi\Delta\nu\tau)^2] \cos(2\pi\nu_0\tau),$$

$$S(\nu) = \frac{1}{4} \cdot \frac{I_0}{2\sqrt{\pi}\Delta\nu} \left\{ \exp\left[-\left(\frac{\nu - \nu_0}{2\Delta\nu}\right)^2\right] + \exp\left[-\left(\frac{\nu + \nu_0}{2\Delta\nu}\right)^2\right] \right\}.$$

Na obou těchto příkladech je vidět, že spektrální hustota $S(\nu)$ je reálná sudá funkce, jak bylo zmíněno v předchozím odstavci.

V praxi se autokorelační funkce měří tak, že zrcadlo v jednom rameni Michelsonova interferometru je pevně nastaveno v určité vzdálenosti od děliče svazku a zrcadlo v druhém rameni Michelsonova interferometru je připevněno k mikrometrickému posuvu tak, aby bylo možné je posouvat podél optické osy. Pevně nastavené zrcadlo se nazývá referenční, druhé zrcadlo je označeno jako pohyblivé. Autokorelační funkce se měří tak, že je pohyblivé zrcadlo posouváno v ekvidistantních krocích podél optické osy a po každém posunutí je změřena intenzita na výstupu interferometru. Výsledkem je intenzita na výstupu interferometru jako závislost na poloze pohyblivého zrcadla z_0 .

Časový rozdíl se spočítá z rozdílů poloh pohyblivého a referenčního zrcadla $z_0 - z_R$ podle vztahu

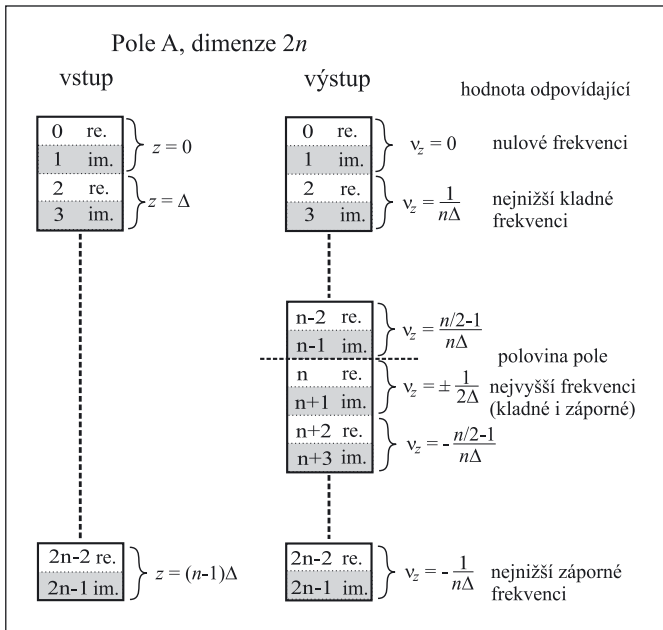
$$\tau = 2 \frac{z_0 - z_R}{c}, \quad (8)$$

kde c je rychlost světla. Význam veličin z_0 a z_R je patrný z obr. 1.

3. FOURIEROVA TRANSFORMACE

Naměřená autokorelační funkce je tedy soubor n hodnot intenzity $I(z)$ odpovídající jednotlivým polohám z_0, z_1, \dots atd. pohyblivého zrcadla. Polohy z_0, z_1, \dots, z_{n-1} jsou ekvidistantní, vzdálenost mezi sousedními polohami je označena Δz . Polohám z_0, z_1, \dots, z_{n-1} odpovídají hodnoty časového rozdílu $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{n-1}$, vypočtené podle rovnice (8). Rozdíl mezi sousedními hodnotami je $\Delta\tau = 2 \Delta z/c$. Hodnoty intenzit, vzdáleností a časových rozdílů jsou indexovány $0, \dots, n-1$, jak je to obvyklé v programovacím jazyce C [4]. Žádaná spektrální hustota se spočítá z naměřených hodnot intenzit pomocí Fourierovy transformace tak, že se využije rovnic (3) a (7).

Protože se jedná o diskrétní data, je výhodné provést Fourierovu transformaci numericky. Při numerickém výpočtu Fourierovy transformace se obvykle používá algoritmu FFT (Fast Fourier Transform), který je podrobně popsán v literatuře [5]. Výhodou tohoto algoritmu je jeho vysoká rychlost. Algoritmus FFT vyžaduje, aby počet vstupních dat n byl mocninou čísla 2, což nepředstavuje žádné podstatné omezení. Standardní uspořádání vstupních a výstupních dat je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 Standardní uspořádání vstupních a výstupních dat pro algoritmus FFT

Do reálného pole A o dimenzi $2n$ se vloží n vstupních hodnot, které jsou obecně komplexní, přičemž se střídají reálné a imaginární hodnoty. V našem případě je vstupní veličinou autokorelační funkce, která je reálná. Dosadí se tedy n naměřených hodnot autokorelační funkce do sudých prvků pole A. Do lichých prvků pole A se dosadí nuly. Po provedení výpočtu se ve stejném poli A nacházejí výstupní data, podle rovnice (7), spektrální hustota S (faktor $1/2$, který se vyskytuje v rovnici (7) nehraje podstatnou roli, jedná se pouze o multiplikační konstantu). V první polovině pole A (prvky s indexem 0 až $n - 1$) jsou umístěny hodnoty příslušející kladným frekvencím, takže frekvence vzrůstá se vzrůstajícím indexem, ve druhé polovině pole (prvky s indexem n až $2n - 1$) jsou umístěny hodnoty příslušející záporným frekvencím, absolutní hodnota frekvence se vzrůstajícím indexem klesá. I zde se střídají reálné a imaginární hodnoty. Výsledkem algoritmu FFT je tedy $n/2$ komplexních hodnot pro kladné a $n/2$ komplexních hodnot pro záporné frekvence a jedna komplexní hodnota pro nulovou frekvenci, jak je znázorněno na obr. 3.

Z obr. 3 a rovnice (8) vyplývá, že nejvyšší frekvence má hodnotu

$$v_{\max} = \frac{1}{2\Delta\tau} = \frac{c}{4\Delta z} \quad (9)$$

Dvojka ve jmenovateli prvního zlomku souvisí se Nyquistovým vzorkovacím teorémem, podle nějž má nejvyšší zobrazená frekvence poloviční hodnotu vzorkovací frekvence [6]. Nejvyšší hodnotě frekvence v_{\max} odpovídá maximální hodnota vlnočtu k_{\max}

$$k_{\max} = \frac{\pi}{2\Delta z} \quad (10)$$

přičemž se využilo vztahu $k = 2\pi\nu/c$.

V sudých prvcích pole A jsou reálné hodnoty Fourierovy transformace, takže v i -tém prvku je hodnota příslušející vlnočtu

$$k_i = \frac{i}{n} k_{\max} = i \frac{\pi}{2n\Delta z}, \quad i = 0, 2, 4, \dots, n. \quad (11)$$

V lichých prvcích pole A jsou imaginární hodnoty Fourierovy transformace. V i -tém prvku je hodnota příslušející vlnočtu

$$k_i = \frac{i-1}{n} k_{\max} = (i-1) \frac{\pi}{2n\Delta z}, \quad i = 1, 3, 5, \dots, n+1. \quad (12)$$

Nejvyšší zobrazený vlnočť závisí tedy podle rovnice (10) na hodnotě $\Delta z = z_i - z_{i-1}$. Čím je posun zrcadla Δz mezi dvěma měřeními menší, tedy čím je autokorelační funkce snímána jemněji, tím je hodnota maximálního naměřeného vlnočtu k_{\max} vyšší. Rozdíl dvou sousedních hodnot vlnočtu $\Delta k = k_i - k_{i-1}$ se podle rovnice (11) rovná

$$\Delta k = \frac{2}{n} k_{\max} = \frac{\pi}{n\Delta z} \quad (13)$$

Vzdálenost $n\Delta z$ odpovídá přibližně celkové dráze ujeté při snímání autokorelační funkce (skutečná celková dráha je rovna $(n-1)\Delta z$). Z toho vyplývá, že spektrální hustota je naměřena tím jemněji, čím je celková dráha ujetá při snímání autokorelační funkce delší.

Pokud je posun pohyblivého zrcadla Δz mezi dvěma snímky malý, změní se intenzita na výstupu interferometru jen málo. V takovém případě je možné nechat pohyblivé zrcadlo v pohybu a snímat pouze hodnotu intenzity, aniž by bylo pohyblivé zrcadlo pro každý snímek zastavováno. Pro vzdálenost Δz platí

$$\Delta z = vT = \frac{v}{f} \quad (14)$$

kde v je rychlost posuvu, T je doba, která uplyne mezi dvěma snímky, a $f = 1/T$ je frekvence snímání. Pro případ kontinuálního pohybu pohyblivého zrcadla se výsledky popsané rovnicemi (10) až (13) změní následovně. Maximální hodnota vlnočtu je rovna

$$k_{\max} = \frac{\pi f}{2v} \quad (15)$$

Vlnočť příslušející sudým prvkům pole A má hodnotu

$$k_i = \frac{i}{n} k_{\max} = i \frac{\pi f}{2nv}, \quad i = 0, 2, 4, \dots, n, \quad (16)$$

a obdobně vlnočť příslušející lichým prvkům pole A má hodnotu

$$k_i = \frac{i-1}{n} k_{\max} = (i-1) \frac{\pi f}{2nv}, \quad i = 1, 3, 5, \dots, n+1. \quad (17)$$

Rozdíl dvou sousedních hodnot vlnočtu $\Delta k = k_i - k_{i-1}$ se rovná

$$\Delta k = \frac{2}{n} k_{\max} = \frac{\pi f}{nv} \quad (18)$$

Jak již bylo řečeno, spektrální hustota je reálná funkce, a tudíž by měly být imaginární hodnoty výstupní funkce nulové. To by ovšem platilo pouze tehdy, pokud by byla autokorelační funkce snímána tak, že by se střed její symetrie nacházel uprostřed pole A před provedením Fourierovy transformace. Pak by vstupní funkce pro výpočet Fourierovy transformace byla symetrická (sudá) funkce a výstupní funkce by byla reálná. V praxi se nemusí vždy podařit autokorelační funkci takto naměřit, a proto může být výstupní funkce obecně komplexní. Hodnota spektrální hustoty se tedy spočítá jako absolutní hodnota komplexního čísla daného reálnou a imaginární složkou příslušející danému vlnočtu

$$S_k[i] = [(A[2i])^2 + (A[2i+1])^2]^{1/2}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n/2. \quad (19)$$

Hodnoty prvků pole $S_k[i]$ jsou reálné a v i -tém prvku je hodnota spektrální hustoty S_k příslušející vlnočtu

$$k_i = \frac{\pi}{n\Delta z} = i \frac{\pi f}{nv}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n/2. \quad (20)$$

Index k v označení spektrální hustoty znamená, že spektrální hustota je vyjádřena jako funkce vlnočtu k .

4. PŘEPOČET NA FUNKCI VLNOVÝCH DÉLEK

V praxi je ovšem běžnější vyjadřovat spektrální hustotu jako funkci vlnové délky už z toho důvodu, že spektrometry jsou obvykle cejchovány v jednotkách vlnové délky. Spektrální hustotu vyjád-

řenu jako funkci vlnové délky označíme S_λ , aby byla odlišena od spektrální hustoty S_k . Vypočítané hodnoty spektrální hustoty S_k , které jsou uloženy v poli S_k , je možné přepočítat tak, aby odpovídaly spektrální hustotě S_λ .

Dané hodnotě λ odpovídá vlnočet $k = 2\pi/\lambda$. Odpovídající hodnotu spektrální hustoty S_λ je tedy třeba hledat v j -tém prvku pole S_k , přičemž j se rovná podle rovnice (20)

$$j = \text{INT} \left[\frac{2\pi / \lambda \cdot n}{k_{\max}} \cdot \frac{n}{2} \right] = \text{INT} \left[\frac{2n\Delta z}{\lambda} \right] = \text{INT} \left[\frac{2vn}{\lambda f} \right], \quad (21)$$

kde INT označuje celočíselnou hodnotu výrazu v hranatých závorkách. Protože platí

$$S_k dk = S_\lambda d\lambda \Rightarrow S_\lambda = S_k \left| \frac{dk}{d\lambda} \right| \Rightarrow S_\lambda = \frac{2\pi}{\lambda^2} S_k, \quad (22)$$

je třeba ještě příslušnou hodnotu z pole S_k vynásobit výrazem $2\pi/\lambda^2$. Pro hodnotu rozlišení, s jakým bude spektrální hustota S_λ vypočítána, vyplývá podle rovnice (13) a (18)

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2n\Delta z} = \frac{\lambda^2 f}{2nv}, \quad (23)$$

přičemž první výraz na pravé straně rovnice (23) se týká měření s přerušovaným pohybem pohyblivého zrcadla a druhý výraz na pravé straně rovnice (23) se týká měření s kontinuálním pohybem pohyblivého zrcadla.

Poznámka: Je třeba mít na paměti, že spektrální rozsah takto sestaveného interferenčního spektrometru je sice dán výrazy v rovnicích (10) a (13), respektive (15) a (18), ale takto spočítaný rozsah je pouze teoretický. V praxi bude rozsah sestaveného interferenčního spektrometru omezen také spektrální citlivostí použité kamery a propustností optických prvků.

5. PŘÍKLAD VÝPOČTU

Standardní kamera snímá 25 snímků za vteřinu, frekvence snímání je tedy $f = 25$ Hz. Jestliže se použije rychlost posuvu pohyblivého zrcadla $v = 0,17 \mu\text{m/s}$, bude dráha ujetá mezi dvěma snímky $\Delta z = 6,8$ nm. To odpovídá při vlnové délce světla 633 nm a Michelsonově uspořádání interferometru 46,5 měření na jednu periodu. Mezi dvěma měřeními se tedy intenzita na výstupu interferometru změní jen málo a je možné měřit intenzitu při pohybujícím se pohyblivém zrcadle.

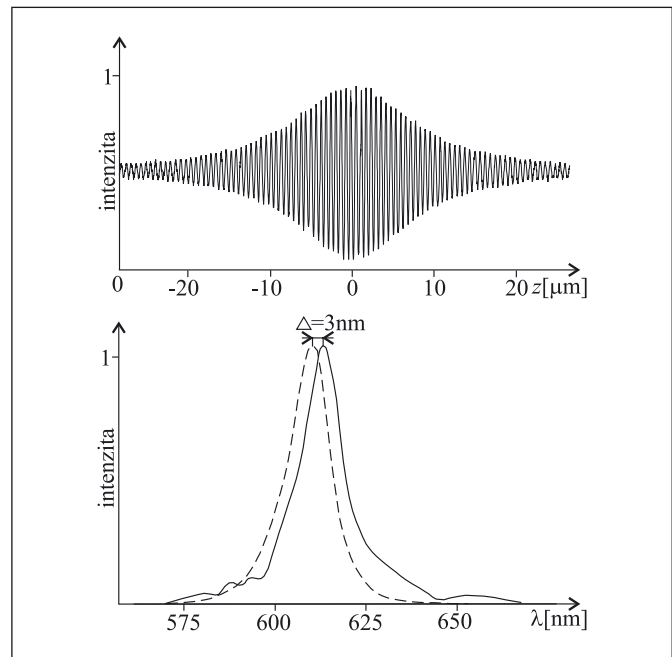
Jestliže je autokorelační funkce měřena v $n = 8192$ bodech, je celková ujetá dráha pohyblivého zrcadla $55,7 \mu\text{m}$. Podle rovnice (15) je maximální naměřený vlnočet $231 \mu\text{m}^{-1}$. Takový vlnočet odpovídá vlnové délce 27,2 nm. Z toho vyplývá, že je při zvolené rychlosti $v = 0,17 \mu\text{m/s}$, kterou se pohybuje pohyblivé zrcadlo, možné měřit spektrální hustotu běžných zdrojů světla svítících ve viditelné a blízké infračervené oblasti. Rozdíl mezi vlnočty, kterým přísluší dva sousední prvky pole A po provedení Fourierovy transformace, je podle rovnice (18) $\Delta k = 0,056 \mu\text{m}^{-1}$.

Pole S_k , v němž jsou uloženy hodnoty spektrální hustoty S_k , má 4097 prvků, prvek $S_k[0]$ odpovídá hodnotě spektrální hustoty S_k pro nulový vlnočet a prvky $S_k[1]$ až $S_k[4096]$ hodnotám spektrální hustoty pro vlnočty od $0,056 \mu\text{m}^{-1}$ do $231 \mu\text{m}^{-1}$. Při přepočtu spektrální hustoty do tvaru vyjádřeného v jednotkách vlnové délky bude například vlnové délce $\lambda = 633$ nm odpovídat podle rovnice (21) index o hodnotě $j = 176$. Hodnota $S_k[176]$ se musí ještě vynásobit výrazem $2\pi/\lambda^2$, který je v tomto případě 15,68, pokud se za vlnovou délku dosazuje v μm . V praxi je možné za vlnovou délku dosazovat v libovolných jednotkách, výsledná spektrální hustota bude stejná až na multiplikační konstantu. Rozlišení takto naměřené spektrální hustoty bude podle rovnice (23) např. $\Delta\lambda = 3,2$ nm na vlnové délce 600 nm a $\Delta\lambda = 5,7$ nm na vlnové délce 800 nm.

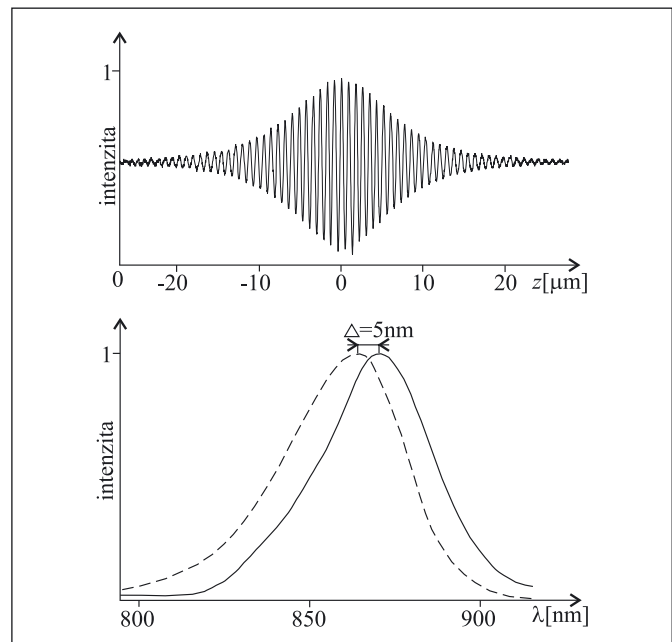
6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Postup výpočtu odvozený v tomto článku byl ověřen při měření spektrální hustoty dvou svítících diod. Z naměřeného korelogramu je pomocí Wienerova - Chinčinoва teorému vypočítaná spektrální hustota dané svítící diody. Vypočítaná spektrální hustota je srovnána se spektrální hustotou naměřenou pomocí jednoduchého mřížkového spektrometru. Hodnoty parametrů měřicí sestavy, jak byly nastaveny při měření a vyhodnocení korelogramu, jsou popsány v příkladu v části 5.

V horní části obr. 4 je znázorněn naměřený korelogram svítící diody s oranžovým světlem. Typové označení diody je L-HLMP DJ 08 a její vlnová délka je podle katalogu 602 nm. Vypočítaná spektrální hustota je znázorněná v dolní části obr. 4. Pro srovnání je přerušovanou čarou znázorněna spektrální hustota naměřená pomocí spektrometru.



Obr. 4 Naměřený korelogram, vypočítaná a naměřená spektrální hustota pro svítící diodu L-HLMP DJ 08



Obr. 5 Naměřený korelogram, vypočítaná a naměřená spektrální hustota pro svítící diodu HSDL 4230

V horní části obr. 5 je naměřený korelogram pro případ infračervené svítící diody HSDL 4230. Vlnová délka této diody je podle katalogu 875 nm. Spektrální hustota vypočítaná z korelogramu je znázorněna plnou čarou v dolní části obrázku, přerušovanou čarou je znázorněna spektrální hustota naměřená pomocí spektrometru.

7. ZÁVĚR

Michelsonův interferometr s jedním pevným a jedním pohyblivým zrcadlem je možné použít pro měření spektra svítící diody. Pohyblivé zrcadlo je připevněno na mikrometrický posuv, pomocí něhož je posouváno konstantní rychlostí. Jako detektor Michelsonova interferometru je použita standardní kamera s normou CCIR, která je pomocí framegrabberu spojena s osobním počítačem PC. Parametry takto sestaveného interferenčního spektrometru, jako spektrální rozsah a spektrální rozlišení, se nastavují jako parametry mikrometrického posuvu.

Poděkování

Tyto výsledky byly získány za finančního přispění Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy v rámci podpory výzkumného záměru „Měření a informace v optice“ MSM 6198959213.

RNDr. Pavel Pavlíček, Ph.D., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu č. 50a, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 508, fax: 585 224 047, e-mail: pavlice@prfnw.upol.cz
Mgr. Ondřej Hýbl, katedra aplikované fyziky, Univerzita Palackého, Tř. 17. listopadu č. 50, 772 07 Olomouc.

Mojmír ŠERÝ^a, Zdeněk LOŠŤÁK^b, Milan KALMAN^b, Petr JÁKL^a, Pavel ZEMÁNEK^a

^a Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, Brno

^b Meopta - optika, s.r.o., Přerov

Kompaktní optická pinzeta

Článek popisuje zařízení určené k bezkontaktní manipulaci s velkým spektrem mikroobjektů o průměrech od 0,5 μm do 30 μm. Zařízení je unikátní v tom, že jej lze použít s většinou komerčních mikroskopů a není nutné je jakkoli modifikovat. Klíčovými vlastnostmi tohoto zařízení jsou malé rozměry, univerzálnost a jednoduchá obsluha. Jsme přesvědčeni, že zařízení nalezne četné aplikace v biologii, medicíně, fyzice či technických oborech, kde zejména vysoké pořizovací náklady komerčních optických pinzet a skalpelů bránily jejich masovějšímu nasazení.

ÚVOD

Optické mikromanipulační techniky jsou velmi populární v mnoha vědeckých disciplínách [1] a jsou založeny na silových účincích fotonů na mikroobjekty vložené do silně fokusovaných laserových svazků [2]. Optická pinzeta využívá stabilní, prostorově lokalizovanou optickou past, která vyžaduje prudkou prostorovou změnu optické intenzity chytacího svazku. Dosahuje se toho fokusací laserového svazku optickým systémem s numerickou aperturou větší než 0,6. S výhodou jsou používány kvalitní imerzní mikroskopové objektivy s nekonečnou obrazovou vzdáleností uchycené přímo na komerčním mikroskopu. Kolimovaný chytací svazek často vstupuje do mikroskopu epi-fluorescenčním portem, dopadá do zadní ohniskové roviny objektivu a přepřlňuje jeho zadní aperturu. Vlnová délka chytacího svazku se volí tak, aby byla co nejméně absorbována v manipulovaných objektech. V případě biologických objektů se využívá blízká infračervená oblast spektra. Optické soustavy mikroskopů včetně vrstev na optických elementech jsou optimalizovány pro práci ve viditelné či ultrafialové části optického spektra a tak zde dochází ke zbytečným výkonovým ztrátám v chytacím svazku.

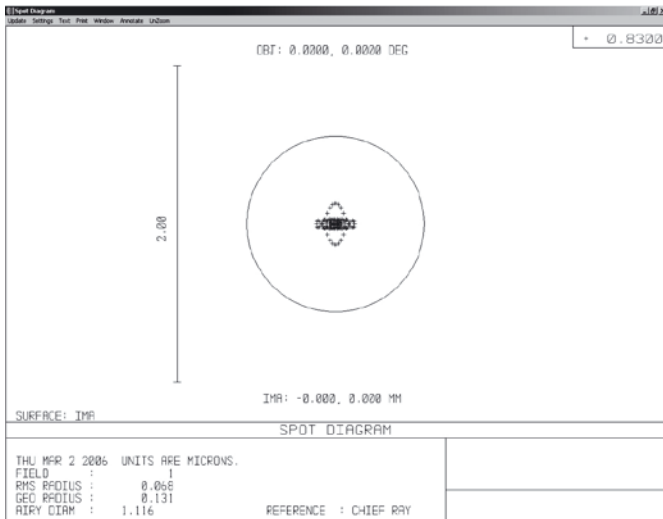
Literatura

- [1] HRABOVSKÝ, M. - BAČA, Z. - HORVÁTH, P.: Koherenční zrnitost v optice, Univerzita Palackého v Olomouci, 2001.
- [2] BORN, M. - WOLF, E.: Principles of Optics, Cambridge University Press, Cambridge UK, 2003.
- [3] PEŘINA, J.: Coherence of Light, Van Nostrand Reinhold Company, London, 1971.
- [4] KERNIGHAN, B. W. - RITCHIE, D. M.: Programovací jazyk C, ALFA Bratislava, 1988.
- [5] PRESS, W. H. - FLANNERY, B. P. - TEUKOLSKY, S. A. - VETTERLING, W. T.: Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, Cambridge UK, 1992.
- [6] YU, F. T. S.: Optics and Information Theory, John Wiley & Sons, Inc, 1976.

Kompaktní optická pinzeta (KOP) prezentovaná v tomto článku řeší tyto problémy vložím zdroje záření přímo mezi mikroskopový objektiv a tělo mikroskopu, které slouží pouze k uchycení KOP. Mikroskop tak zůstává netknutý a jeho zobrazovací vlastnosti zůstávají zachovány. Protože se nevyužívá epi-fluorescenční portu mikroskopu, lze s výhodou použít dostupnější mikroskopy nižších cenových kategorií. Oblast využití je však mnohem širší, pokud se zvolí vlnová délka emitující diody tak, aby byla absorbována objekty (např. UV), zařízení bude fungovat jako optický skalpel [3, 4, 5, 6], dále lze využít fotopolymerace pro tvorbu mikrostruktur [7, 8] či selektivní excitaci absorpčních čar pro spektroskopické aplikace.

KONSTRUKCE

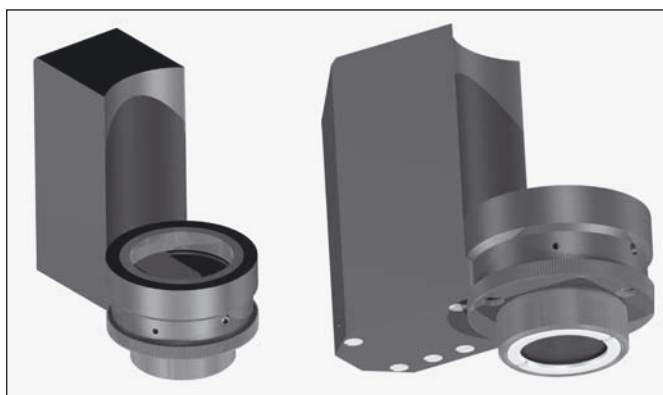
KOP využívá laserové diody (Sanyo DL-8031-031A) emitující chytací svazek na vlnové délce 808 nm, s maximálním výkonem 200 mW a vyzařovaným příčným profilem TEM₀₀. Výstupní svazek je kolimován asférickou čočkou s ohniskovou vzdáleností 8 mm



Obr. 1 Analýza tvaru stopy v okolí ohniska chytacího svazku po průchodu optimalizovanou soustavou kompaktní optické pinzety s laserovou diodou a mikroskopovým objektivem o zvětšení 100x. Byl použit program Zemax, kružnice představuje Airyho disk soustavy.

(Geltech 352240-B) a eliptický svazek je upraven na kruhový párem anamorfických hranolů (Thorlabs PS871-B) [9]. Takto korigovaný svazek je zpětně odražen dvojicí zrcadel do zadní apertury objektivu s nekonečnou obrazovou vzdáleností. První zrcadlo má vakuově napařenou soustavu vrstev pro maximální odraz vlnové délky laserové diody. Druhé zrcadlo má soustavu dielektrických vrstev pro maximální odraz vlnové délky laserové diody v jednom směru a maximální propustnost viditelného záření ve směru opačném. Popsaná soustava KOP byla optimalizována programem Zemax tak, aby bylo dosaženo co nejmenšího průměru stopy fokusovaného svazku (obr. 1).

Mechanický návrh konstrukce KOP jsme provedli v programu Autodesk Inventor (obr. 2) s cílem dosáhnout maximální kompaktnosti a odolnosti, snadné obsluhy a modularity – je možné použít několik za sebou řazených KOP pro různé aplikace. Stabilních provozních parametrů jsme dosáhli kvalitním proudovým kontrolérem laserové diody [10], teplotní stabilizací laserové diody Peltiérovým modulem (Supercool PE-017-06-11) a vhodným výběrem konstrukčních materiálů.



Obr. 2 Mechanická konstrukce kompaktní optické pinzety s laserovou diodou v levém a spodním izometrickém pohledu z programu Autodesk Inventor verze 10. Spodní závit slouží k uchycení do těla mikroskopu, horní pro upevnění objektivu.

EXPERIMENTY

Vlastnosti KOP jsme ověřovali na několika mikroskopech a používali jsme mikroskopový objektiv Olympus Ach 100x. Obrázek 3 zobrazuje kombinaci s invertovaným mikroskopem

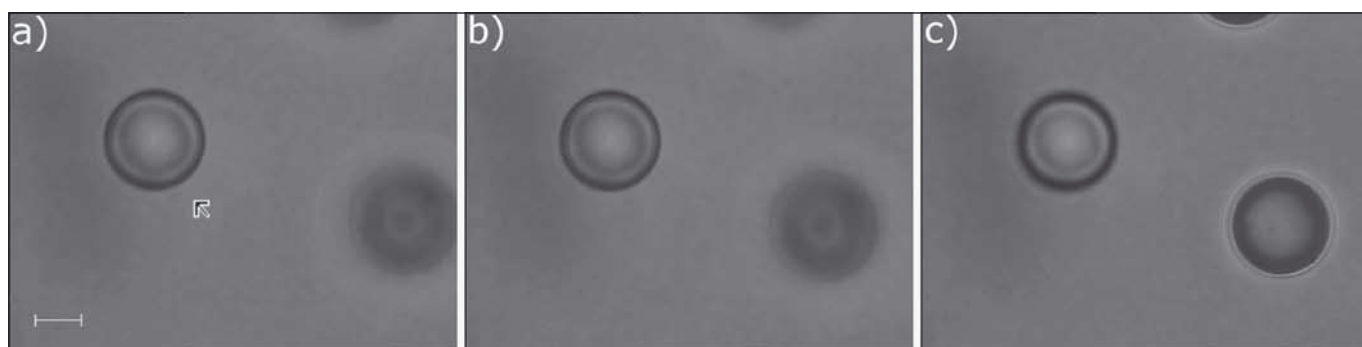
Olympus IX 70. Během experimentů jsme používali polymerové částice různých velikostí (Duke Scientific), které byly volně rozptýleny v deionizované vodě a zachyceny v blízkosti ohniska svazku o výkonu 55 mW. Chování částic bylo zaznamenáno na obr. 4-7 CCD kamerou (Mintron, 63W1C) a digitalizováno kartou pro záznam obrazu (Picasso PCI-2SQ, Arvo). Obrázek 8 ukazuje KOP v opačné konfiguraci využívající klasický mikroskop Olympus BX 50. Zde bylo manipulováno s kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae*, které byly rozptýleny v živném roztoku mezi krycím a podložním sklem. Výkon chytací svazku v ohniskovém bodě dosahoval 30 mW. Obrázky 9 a 10 byly zaznamenány stejně jako v předcházejícím případě.



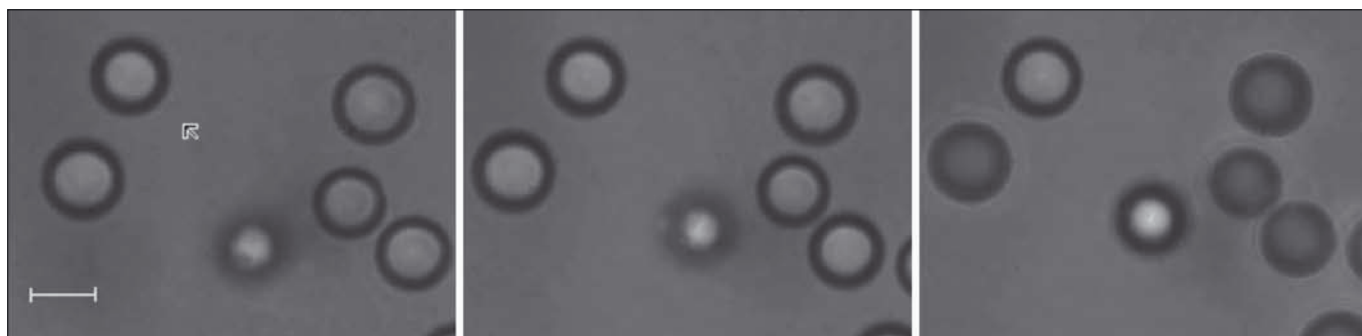
Obr. 3 Kompaktní optická pinzeta s laserovou diodou našroubovaná na invertovaný mikroskop IX 70. Vlevo celkový pohled na aparaturu, vpravo detail kompaktní optické pinzety.

ZÁVĚR

V tomto článku byla představena kompaktní optická pinzeta (KOP), která umožňuje využívat optické mikromanipulační techniky i na neupraveném světelném mikroskopu. Je stručně popsána konstrukce KOP a její použití vložením mezi mikroskopový objektiv a tělo mikroskopu. Toto řešení zachovává všechny vlastnosti mikroskopu nedotčené a je vhodné pro využití v manipulačních experimentech na většině komerčních mikroskopů. Jsou demonstrovány manipulace jak s neživými tak s živými mikroobjekty, které využívají klasický nebo invertovaný mikroskop.



Obr. 4 Zachycení polystyrénové mikročástice (označena šipkou) o velikosti 10 μm (4K-10 Duke Scientific) v kapce filtrované vody. Na obrázku a) a b) je v pravé části neostrý objekt ležící na krycím skle, jehož poloha se při horizontálním pohybu vzorkem mění. Zachycená ostrá částice označená šipkou však v zorném poli nemění svou polohu. Na pravém obrázku byl mikroskopový stolek vertikálně posunut a objekt ležící na dně se zaostřil. Zachycená částice však stále zůstává ostrá, protože sleduje pohyb ohniskové roviny. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm . Použitý optický výkon dopadající na částici byl 55 mW.



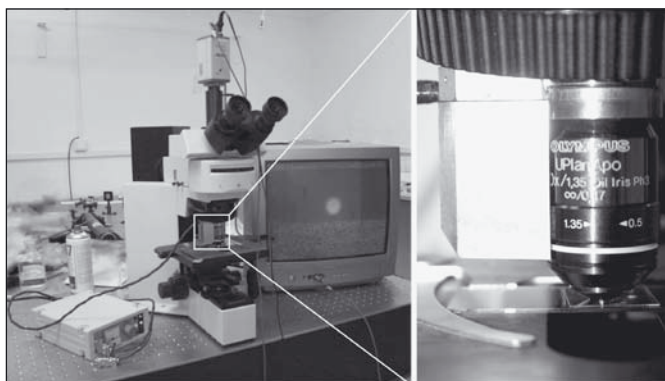
Obr. 5 Zachycení mikročástice (označena šipkou) o velikosti 5 μm (4K-05 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Mikročástice v optické pasti je zachycena uprostřed shluku nezachycených mikročástic a vertikálním posuvem mikroskopového objektivu je přiblížena ke krycímu skle. Během pohybu se mění ostrost nezachycených mikročástic. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm . Použitý optický výkon dopadající na částici byl 55 mW.



Obr. 6 Zachycení mikročástice (označena šipkou) o velikosti 2 μm (4K-02 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Mikročástice je zachycena v objemu vzorku a v optické pasti přesouvána dále od krycího skla, obraz nezachycené mikročástice na podložním skle se rozostřuje. Pohyb zachycené mikročástice je omezen optickou pastí o dopadajícím výkonu 55 mW. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 1 μm .



Obr. 7 Zachycení polymerové kuličky (označena šipkou) o velikosti 520 nm (3K-500 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Vertikálním pohybem mikroskopového objektivu je přesouvána optická past spolu se zachyceným objektem (zůstává stejně ostrý) a současně se zaostřuje obraz objektu na krycím skle. Dopadající výkon byl 55 mW. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 1 μm .



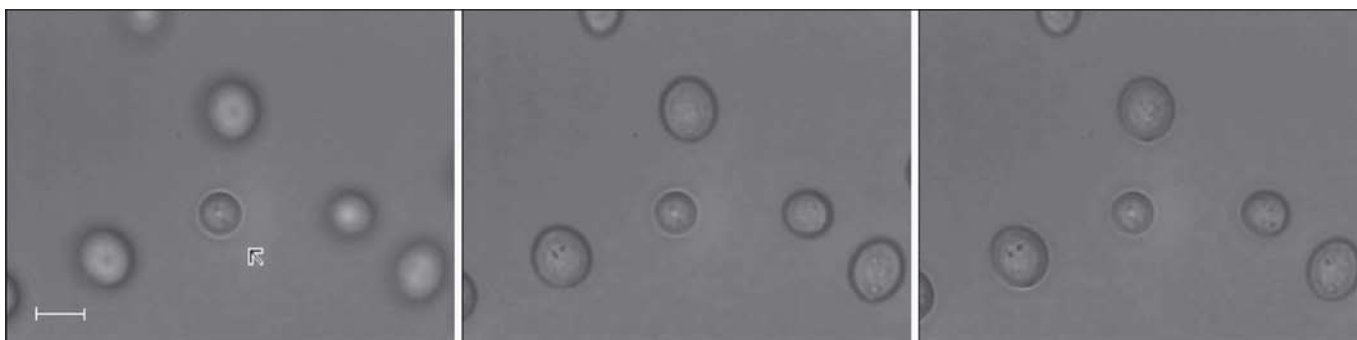
Obr. 8 Kompaktní optická pinzeta s laserovou diodou umístěná na klasickém mikroskopu BX-50. Vlevo celkový pohled na aparaturu, vpravo detail kompaktní optické pinzety s laserovou diodou.

Poděkování

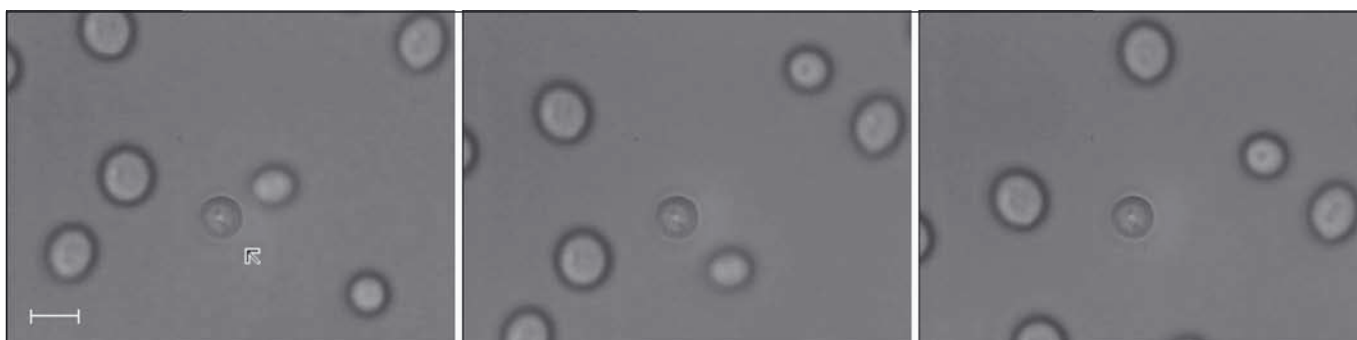
Tato práce byla podporována Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky, projekt FT-TA2/059 a výzkumným záměrem č. AV0Z20650511.

Literatura

- [1] Lang, M. J., Block S. M., Resource Letter: LBOT-1: Laser-based optical tweezers, *Am. J. Phys.* **71**: 201-215, 2003.
- [2] Ashkin, A. Dziedzic, J. M., Bjorkholm, J. E. and Chu, S., Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles, *Opt. Lett.* **11**: 288-290, 1986.
- [3] K. Schütze and A. Clement-Sengewald, Catch and move -- cut or fuse, *Nature* **368**: 667-669, 1994.
- [4] H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, N. Kitamura, and H. Masuhara, Three-dimensional optical trapping and laser ablation of a single polymer latex particle in water, *J. Appl. Phys.* **70**: 3829 -3836, 1991.
- [5] Hoyer, S. Monajembashi, and K. Greulich, Light as a microtool: laser microbeams and optical tweezers in molecular and cellular biotechnology, *Sci. Progr.* **79**: 233-254, 1996.
- [6] K.-O. Greulich, *Micromanipulation by light in biology and medicine*, Birkhauser Verlag, Basel-Boston-Berlin, 1999.
- [7] S. Kawata, et al, Finer features for functional microdevices, *Nature* **412**: 697-698, 2001.
- [8] P. Galajda, P. Ormos, Rotors produced and driven in laser tweezers with reversed direction of rotation, *Appl. Phys. Lett.* **80**: 4653-4655, 2002.
- [9] T. Kasuya, T. Suzuki, and K. Shimoda, A prism anamorphic system for Gaussian beam expander, *Appl. Phys.* **17**: 131-136, 1978.
- [10] J. Lazar, O. Číp, and B. Růžička, Laser diode current controller with a high level of protection against electromagnetic interference, *Rew. Sci. Inst.* **74**: 3816-3819, 2003.



Obr. 9 Prostorová manipulace kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou s kvasinkou *Saccharomyces cerevisiae* (označena v obrázku šipkou), na kterou dopadá chytací výkon 30 mW. Kvasinka vznášející se volně v objemu vzorku je zachycena do optické pastě a vzorek upevněný na mikroskopovém stolku je vertikálně posouván. Obraz zachycené kvasinky zůstává stále ostrý, kvasinky přisedlé na dně se zaostrují. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm .



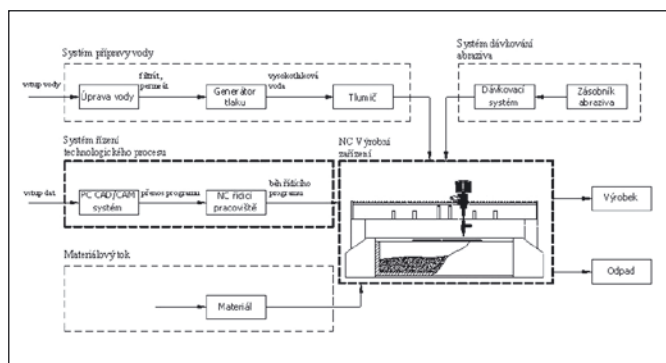
Obr. 10 Prostorová manipulace kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou s kvasinkou *Saccharomyces cerevisiae* (označena v obrázku šipkou), na kterou dopadal výkon 30 mW. Kvasinka je zachycena v optické pastě a vzorkem je horizontálně posouváno, kvasinky přisedlé na dně se pohybují směrem ke spodnímu okraji obrázku, zachycená kvasinka se v obrazu nepohybuje. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm .

Optická identifikace topografie povrchu obrobeného abrazivním vodním paprskem

V příspěvku je popsán princip nového způsobu optického měření, určeny a definovány měřené parametry, způsob vytvoření databáze naměřených hodnot, způsob statistického a analytického zpracování dat pro optimalizaci technologie, zkvalitnění výstupní kontroly a pro výzkum mechanismu dezintegrační interakce vysokorychlostního abrazivního vodního paprsku s obráběným materiálem.

1. ÚVOD

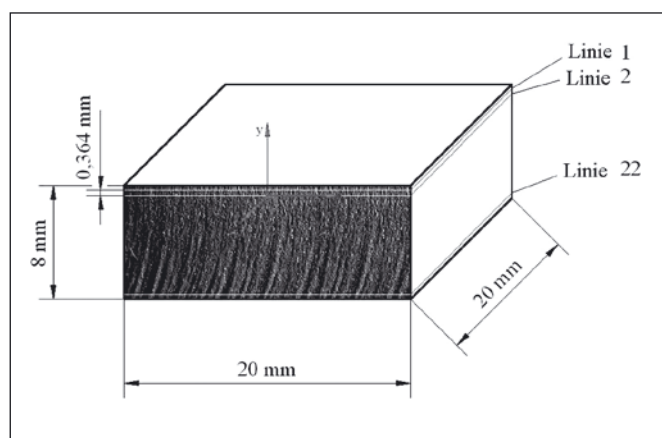
Konkurence a vědecko-technický pokrok určuje zavádění takových technologií, které by splňovaly náročné požadavky moderní výroby v oblasti automatizace z hlediska ekonomické, environmentální a energetické efektivity. Mezi takové technologie dělení materiálů patří dělení abrazivním vodním paprskem (AWJ), které představují jeden z nejrychleji zdokonalujících se technologických postupů dělení materiálů. V současnosti tato technologie představuje velmi přesné, počítačem řízené tvarové dělení materiálů studenou cestou, bez mechanické deformace, s minimálním odpadem. Tyto atributy stavějí tuto technologii do pozice trvalého použití v budoucnosti, což představuje vynikající perspektivu pro rozšíření ve velkém množství odvětví, nejvíce tam, kde se používají materiály se špičkovými užitkovými vlastnostmi. Technologie obrábění vysokorychlostním hydroabrazivním proudem je v současnosti při vysokých požadavcích na kvalitu a produktivitu výroby aplikovaná na plně automatizovaných výrobních pracovištích s CNC řízením. Struktura výrobního systému technologie dělení vysokorychlostním hydroabrazivním proudem je schematicky znázorněna na obr. 1. Právě takovýto způsob řízení představuje jednu z možností, jak technologii AWJ dále optimalizovat po stránkách produktivity práce a řízení kvality výroby.



Obr. 1 Výrobní systém technologie AWJ

2. PŘÍPRAVA VZORKŮ A METODIKA MĚŘENÍ

Z plechů o tloušťce 8 mm (ČSN 17 251, ČSN 11 503, ČSN 13 116, ČSN 11 375 a ČSN 422 712) byly připraveny zkušební vzorky kovů o rozměrech 20 x 20 x 8 mm (obr. 2). Příprava byla uskutečněna abrazivním vodním paprskem za těchto konstantních podmínek: tlak: $p = 300$ MPa, průměr paprsku: $d_0 = 0,25$ mm, průměr usměrňovací trubice: $d_A = 0,8$ mm, délka usměrňovací trubice: $l_A = 76$ mm, hmotnostní průtok abraziva: $m_a = 250$ g/min, zrnitost abraziva: 80 MESH, vzdálenost trysky od povrchu: $L = 2$ mm.



Obr. 2 Tvar zkušební vzorku

Řezné plochy čtvercových zkušebních vzorků byly připraveny při různých postupových rychlostech posunu řezné hlavičky abrazivního vodního paprsku, kde každá strana vzorku byla vytvořena různou rychlostí, a to rychlostmi 50, 100, 150 a 200 mm/min.

Řezné plochy každého zkušební vzorku byly proměřeny stínovou optickou metodou s využitím CCD kamery ve 22 měřicích liniích s krokem po vertikále 0,364 mm na 4 stranách (obr. 2). Optické signály o povrchové distribuci světla a stínů byly analyzovány pomocí Fourierovy transformace, spektrální dekompozice a frekvenční pásmové filtrace za účelem získání RMS (Root Mean Square) intenzity reflektovaného světla s povrchu a transformačních rovnic mezi RMS a parametry drsnosti povrchu, především parametrem drsnosti Ra [μm]. Distribuci parametru drsnosti Ra na řezné stěně považujeme za nejdůležitější, protože integrovaně a komplexně vypovídá jak o mechanickém účinku volby technologických parametrů, tak i o vlastnostech materiálu a interakci řezných sil s materiálem.

3. METODY PRO MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

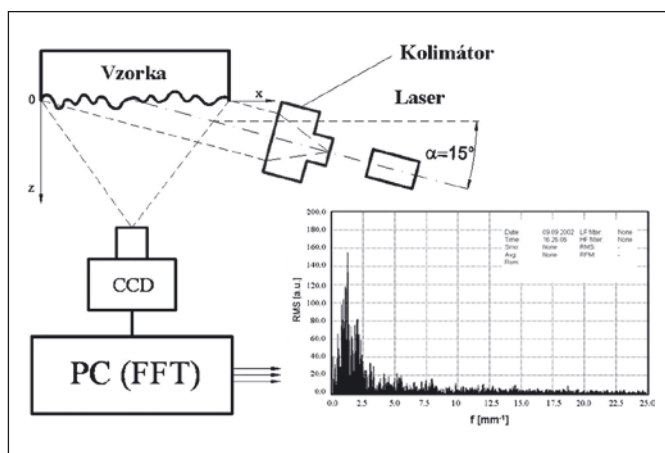
Metody pro měření jakosti povrchu se dají rozdělit do tří základních skupin na: *mechanické, optické a jiné* [1 - 12].

Nejrozšířenější, zejména ve strojírenské praxi jsou *mechanické metody*. Naměřené hodnoty slouží jako vztažné a srovnávací hodnoty při optických měřeních. Nicméně v důsledku tlaku na hrot snímače dochází k elastické a plastické deformaci v povrchové vrstvě. Často dochází k tomu, že hrot snímače poškodí měřený povrch, což je nevhodné nejen pro hodnocení povrchu, ale i pro výsledek měření.

Vhodnou alternativou měření povrchu dotykovými profilometry jsou *optické metody*. Jedná se o bezdotykové měření, čímž je vyloučeno poškození měřeného povrchu. Interakce mezi světelným paprskem a povrchem závisí na vlnové délce světla, drsnosti povrchu a vlastnostech měřeného tělesa. Nevýhodou optických metod je jejich nepřímé měření, a proto je nutno experimentálně získaná data optickými metodami porovnávat s daty získanými kontaktním profilometrem.

4. MĚŘENÍ GEOMETRIE POVRCHU BEZKONTAKTNÍ OPTICKOU STÍNOVOU METODOU

Pro měření geometrie povrchu vytvořeného AWJ bylo použito bezkontaktní optické stínové metody (viz obr. 3) [13 - 15]. Tato metoda využívá toho, že povrch vytvořený AWJ je difúzně odrážející, a proto je takovýto povrch osvětlen laserem pod úhlem 15° , paprsek laseru prochází kolimátorem, který jej usměrňuje tak, aby osvětlil celou plochu měřeného vzorku. Tímto osvětlením vzniká distribuce světla a stínů. Tato distribuce světla a stínů je snímána pomocí CCD kamery, která je dále napojena na PC s vyhodnocovacím programem signálu, který umožňuje provést rychlou Fourierovu transformaci (Fast Fourier Transform). Pomocí této transformace získáváme amplitudově-frekvenční spektrum. Skutečnou topografii měřeného profilu získáme pomocí kalibrace měřených dat s etalnovými daty z kontaktního profilometru.

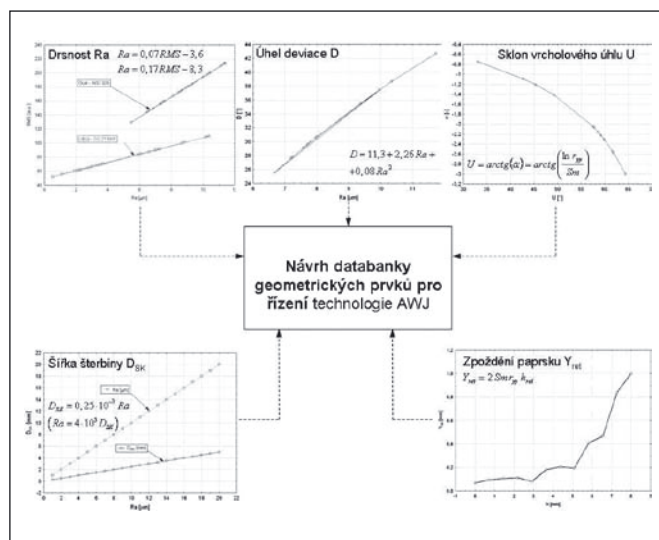


Obr. 3 Schéma optické stínové metody pro měření drsnosti povrchu, přičemž příklad amplitudově-frekvenčního spektra je pro ocel ČSN 17 251, a to pro úroveň 6 mm

5. NÁVRH DATABANKY PRO ŘÍZENÍ TECHNOLOGIE VHAP

Automatizace řízení kvality povrchu obrobeků vyžaduje co nejhlubší poznání interakčních vztahů nástroje s materiálem. Celá řada autorů již vyjádřila názor, že právě topografická struktura nově vytvořeného povrchu nese v sobě mechanizmy dezintegrace trvale zakódované. V souvislosti s řešeným úkolem jsme vyjádřili vztahy parametru nerovnosti povrchu Ra k procesu jeho generování. Měřená hodnota RMS a interpretovaná hodnota Ra výše zvoleným způsobem svou charakteristikou v komplexnosti umožňuje hlouběji analyzovat nejen geometrickou charakteristiku nejsvrchnější vrstvy, nýbrž i mechanickou strukturu generování. Aproximační rovnice k parametru Ra jsme obdrželi tak, že jsme využili výpočtových vztahů užívaných ve strojním obrábění s využitím fyzikálně mechanických podobností dezintegrační práce paprsku AWJ s prací nože nebo vrtáku v soustružení, frézování nebo vrtání. Takto vypočtené parametry jsme korelovali s vyhodnoceným parametrem Ra z vlastních měření, a to pro materiály ocel ČSN 17241 a litinu ČSN 422712. Vyhodnotili jsme řadu geometrických, technických a optických prvků povrchu, z kterých uvádíme v obr. 4 geometrické a frek-

venční charakteristiky, které budou základem pro optimalizování volby technologických parametrů a řízení. Mechanické a optické parametry budou do této tabulky doplňovány postupně podle výsledků ověřovacích měření. Každé změřené hodnotě Ra lze nyní výpočtem přiřadit potřebné údaje geometrické, a předpokládáme, že bude možno další parametry fyzikální a mechanické postupně doplňovat. Návrh na doplnění způsobu vyhodnocování řezu je s poznámkami zpracován v uvedené tabulce a realizován na vzorcích z obou materiálů při různých postupových rychlostech. Výsledky jednoznačně klasifikují materiál, proto mohou být základem databáze materiálů z hlediska obrábitelnosti, protože mají charakter materiálových konstant specifických pro účel dimenzování AWJ. Ve struktuře návrhu klasifikace pro vytvoření databáze materiálu se budeme snažit postihnout všechny tři základní přístupy k hodnocení materiálů. Jde o skupinu vlastností mikrogeometrických a makrogeometrických, dále o skupinu vlastností mechanických a skupinu vlastností optických. Ve skupině geometrických parametrů jsou zastoupeny zejména výšky, rozteče a úhly povrchových nerovností, které je nutno v procesu obrábění řídit. Mechanické vlastnosti budeme volit podle důležitosti působení toho kterého parametru v interakci nástroj – materiál v procesu obrábění při dodržení požadované kvality povrchu. Výchozími pro databanku budou samozřejmě hlavní materiálové hodnoty jako jsou pevnosti v tlaku, tahu, smyku a jim odpovídající moduly pružnosti, měrná hmotnost, Poissonovo číslo, rychlost šíření ultrazvukových vln a další. Materiálové konstanty určují mechanické chování materiálu v řezu a charakter vyvolaného silového, napětového a deformačního pole. Vyšetření matematických funkcí mezi vstupními materiálovými, technologickými a výstupními geometrickými parametry povrchu je základem pro jejich vzájemné ovlivňování v systému řízení. Protože tabulkové hodnoty materiálových konstant, zejména modulu pružnosti E , mají vždy velký rozptyl a jsou důležité pro dimenzování technologických parametrů řezání, bude pravděpodobně dobré zavést některý ze způsobů jejich levného a rychlého, tedy expresního ověření např. ultrazvukovou metodu, případně prováděním kontrolních řezů.



Obr. 4 Návrh databanky pro řízení technologie dělení abrazivním vodním paprskem z hlediska využití geometrických prvků povrchu, kde r_r je autokorelační funkce, α – pokles autokorelační funkce, S_m – rozteč mezi stopami AWJ a h_{rel} je relativní hloubka

ZÁVĚR

V technické praxi při snaze o automatizaci procesu obrábění s použitím abrazivního vodního paprsku jako obráběcího nástroje, je nutno zajistit vyhodnocení kvality vzniklého povrchu. Protože povrchy získané po obrábění abrazivním vodním paprskem jsou

obtížně měřitelné klasickými metodami, a také využití těchto metod pro řízení v reálném čase je obtížné, pokusili jsme se využít vyvinuté bezkontaktní optické metody, která takové měření umožňuje. Metoda je založena na vizualizaci stínů, které vrhají nerovnosti povrchu při osvětlení šikmo dopadajícím světlem. Výběr a návrh nově koncipované optické metody stínové vizualizace topografických anomálií povrchu vedl přes etapu ověřování k potvrzení její funkční schopnosti spolehlivě a dostatečně přesně kvalitativně a kvantitativně identifikovat topografické zóny na povrchu a určit jejich jakost. Byla sledována jak oblast popisu působících dezintegračních mechanismů při zvolených technologických parametrech proudu AWJ, tak i oblast principiálního stanovení hlavních měřených a řídicích parametrů kvality obrobeneho povrchu řezných stěn.

Na základě teoretických a experimentálních prací byla vybrána jako základní měřená veličina parametr RMS , což je střední kvadratická odchylka napětového výstupu fotodetektoru. Tato veličina má svým charakterem blíže k topografickému parametru Rq , který je střední kvadratickou odchylkou skutečných výškových anomálií povrchu od základního profilu. Naproti tomu ovšem parametr Ra , tedy střední aritmetická odchylka od základního profilu, poskytuje lepší představu o reálném tvaru povrchu. Přímé přepočtové vztahy mezi veličinami RMS a Ra však dosud nebyly nikde řešeny. Kalibraci parametru Ra vypočteného z detekované hodnoty RMS bylo možno realizovat pomocí měření parametru Ra kontaktním profilometrem v totožně lokalizovaných měřicích liniích. Analýza dat byla provedena Fourierovou transformací, spektrální dekompozicí a frekvenční pásmovou filtrací. Aby se odlišily charakteristické rysy v rozdílech zón vyskytujících se podél stopy abrazivního vodního paprsku je, důležité prorostování co největší plochy povrchu a v co nejhustší měřicí síti.

Odvození korelačních rovnic s dostatečně dobrými hodnotami regresních koeficientů umožnilo dále analyzovat topografické profily vzorků nejen po stránce výškových amplitud nerovností, ale taktéž získávat představu o jejich podélném rozložení v měřených profilech, tj. o jejich podélné frekvenční charakteristice. Toto umožnilo

provádět okamžitou kalibraci signálů původních funkcí po jejich frekvenčních časoprostorových analýzách pomocí FFT. Komplexnější vypovídací schopnost veličiny RMS a problematičnost zajišťování kalibračních hodnot z kontaktního profilometru nás vedla k hledání potvrzení funkčních vztahů mezi veličinami na základě samotného optického principu stínové metody, tedy na základě popisu reflektance a vlnového charakteru šíření odraženého světla drsným povrchem.

Práce vznikla za podpory interního grantu IGS-HGF VŠB TUO-2005-516/6.

Literatura

- [1] Kadnár, M., Rusnák, J.: Teoretický výpočet hrúbky mazacieho filmu pri elastohydrodynamickom mazaní. In: sborník z medzinárodnej vedeckej konferencie poriadanej počas konania 11. Medzinárodného strojárského veľtrhu v Nitre, Nitra, 2004, s. 55-58.
- [2] Gombár, M.: Tvorba štatistického modelu drsnosti obrobeneho povrchu s využitím Matlab. In: *Výrobné inžinierstvo*, (s. 14-17), 2006.
- [3] Valíček, J., Držík, M., Ohlídal, M., Mádr, V., Hlaváč, L. M.: Optical method for surface analyses and their utilization for abrasive liquid jet automation. In Proceedings of the 2001 WJTA American Waterjet Conference, M. Hashish (ed.), WJTA, Minneapolis, Minnesota, 2001, pp. 1 – 11.
- [4] Radvanská, A.: Hodnotenie rizík technológie delenia vysokorýchlostným hydroabrazívnym prúdom kombinovanou bodovou metódou. In: *Nové trendy v prevádzke výrobnéj techniky 2003*. 80-8073-059-8: Vol. 6, 2003.,
- [5] Ohlídal, I.: Optical methods for surface characterisation. SPIE, vol. 3820, 1999.
- [6] Držík, M.: Určenie mikroštruktúry kovových povrchov a jej zmien meraním rozptýleného svetla. *Jemná mechanika a optika*, č. 7-8, 1996.

Ing. Jan Valíček, Ph.D., Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB - Technická univerzita, Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava – Poruba, Česká republika, tel.: +420-59-7323 128, fax: +420-59-6918 589, e-mail: valicek.jan@vsb.cz

Ing. Sergej Hloch, Ph.D., Katedra prevádzky technologických systémov, Fakulta výrobných technológií, TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, Slovenská republika, tel.: 051/7723504, fax: 051/7733453, e-mail: hloch.sergej@fvt.sk

Česká metrologická společnost pořádá ve dnech 13. a 14. března 2007 v Plzni 16. mezinárodní seminář

Měřicí technika pro kontrolu jakosti

Cílem semináře je seznámit jeho účastníky s moderními měřicími přístroji a měřicími metodami používanými ve strojírenství, elektrotechnice, metalurgii, v opravárenských a dalších průmyslových organizacích při kontrole jakosti výrobků a výrobních procesů. V programu semináře budou také přednášky významných zahraničních i tuzemských odborníků, informace o nových normách vztahujících se ke geometrickým tolerancím, ke zkušenostem s prováděním měřicích a kontrolních operací ve velkosériové i kusové výrobě a o nových trendech v oblasti měřicí techniky.

Seminář bude spojen s rozsáhlou výstavou měřicí, kontrolní a zkušební techniky pro měření délek a navazujících veličin, negeometrických veličin, pro zkoušky materiálu, nedestruktivní defektoskopické testování, systémy pro řízení a kontrolu technologických procesů, informační systémy metrologie a řízení jakosti, pro kalibraci měřidel a další.

Motto výstavy: Touch The Future

Seminář je určen pro pracovníky útvarů řízení jakosti, technické kontroly a metrologie, metrologických laboratoří, zkušební techniky, technology, konstruktéry měřicích přípravků a vývojové pracovníky, dále učitele vysokých a středních škol příslušného zaměření.

Bližší informace o 16. mezinárodním semináři **Měřicí technika pro kontrolu jakosti** poskytne sekretariát ČMS (paní Ivana Vidimová) č.t./fax 221 082 254, e-mail: cms-zk@csvts.cz nebo přímo na adrese:

Česká metrologická společnost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1. Úplná nabídka odborných akcí ČMS je na internetové adrese ČMS: www.csvts.cz/cms.

Analýza vzťahu morfológie obrobeného povrchu a času rezania

Príspevok sa zaoberá identifikáciou času obrábania v závislosti na morfológii obrobeného povrchu vyjadrenej parametrami profilu drsnosti povrchu - Ra, Rz a zostavením matematicko - štatistického modelu skúmanej závislosti.

1 ÚVOD

Obrábanie predstavuje technologický proces založený na úbere materiálu z polovýrobku, ktorého výsledkom je súčiastka s vyžadovanou presnosťou rozmerov a kvalitou povrchu, aby sa zabezpečila jej funkcia a životnosť v strojovom zariadení. Fyzikálna podstata obrábania spočíva v tom, že pôsobením vonkajšej energie (mechanickej, elektrickej, chemickej, akustickej ai.) dochádza k narušeniu vzájomnej väzby elementárnych častíc materiálu, z ktorého sa postupne oddeľujú drobné častice [5], [6]. Oddeľovanie materiálu obrobku formou triesky, ktoré sa realizuje rezným klinom nástroja, je rezanie [1], na rozdiel od niektorých progresívnych technológií [4, 5, 6, 7].

Rezanie je úber odrezávanej vrstvy reznou hranou, príslušnou reznou rýchlosťou za pôsobenia reznej sily a rezného odporu pri účinku teploty rezania a aktivácii mechanizmov opotrebenia reznej hrany. Jeho výsledkom je povrch, charakterizovaný drsnosťou a integritou povrchovej vrstvy, určujúcej užívateľské vlastnosti vyrobených predmetov a ich použitie v jednotlivých štádiách životného cyklu výrobku zloženého z predmetov vyrobených rôznymi technológiami.

Obrábanie kovov patrí do skupiny zložitých dynamických a stochastických procesov, pri ktorých chýba ešte celý rad informácií o mechanizme javov, ktoré ho sprevádzajú. Zložitosť sa prejavuje vo veľkom počte a mnohotvárnosti faktorov určujúcich priebeh procesov a vo veľkom počte relácií medzi nimi. Ich komplikovanosť, neúplná znalosť pôsobiacich mechanizmov a veľký počet faktorov vstupujúcich do daného procesu sťažujú zostavenie matematických modelov teoreticko - analytickými metódami. Matematicko - štatistické metódy naopak umožňujú zostavenie štatistických modelov aj z relatívne veľkého počtu vstupných údajov.

2 KVALITA OBROBENÉHO POVRCHU

Pojem „povrch“ nie je typický len pre technológiu. Je používaný vo viacerých vedeckých oblastiach (fyzika, chémia, tribológia a i.) a vždy predstavuje časť pevnej, kvapalnej látky, ktorá je v styku, resp. v kontakte s takou istou, lebo inou látkou. V makroskopickom zmysle možno ponímať povrch ako obal, resp. obálku oddeľujúcu látku od prostredia. V mikroskopickom zmysle predstavuje povrch

taktiež „obálku“ určenú veličinami mikrogeometrie a mikrorozmerov (napr. drsnosť povrchu), avšak obálka má určitú hrúbku h_f [mm], charakterizovanú ako povrchová vrstva, ktorá predstavuje rôzne hodnoty (rádovo $1 \cdot 10^{-1-1}$ mm) a vzniká ako dôsledok mechanického opracovania, chemickým vplyvom, metalurgickými zásahmi, tepelným spracovaním a i. [1].

Obrobená plocha sa tvorí ako obalová plocha trajektórií pracovného pohybu reznej hrany nástroja a od základných geometrických plôch zadaných výkresom, t.j. od roviny, valcovej alebo inej geometrickej plochy sa podstatne líši. Takto napríklad pozdĺžne sústružená plocha je skrutkovicová, hoblňanú plochu tvorí niekoľko vedľa seba položených žliabkov, brúsenú plochu tvoria ryhy po brúsných zrnách a pod. Obrobenú plochu charakterizuje mikrogeometria, ktorá má z hľadiska budúcej funkcie tejto plochy podstatný význam.

Pri tvorbe obrobeného povrchu ovplyvňuje jeho kvalitu, vyjadrenú parametrami profilu drsnosti, veľké množstvo faktorov, ako je zobrazené na obr. 1. Z hľadiska drsnosti obrobeného povrchu je nutné odlišovať teoretický model drsnosti povrchu a jeho reálny tvar.

2.1 Teoretický model drsnosti povrchu

Z geometrického hľadiska je obrobený povrch určený stopami hrotu rezného nástroja, ktorý sa po obrobku pohybuje definovaným spôsobom. Hrot rezného klina má väčšinou profil valca, ako kužela s definovaným polomerom r_e . Pri obrábaní dochádza k jeho kopírovaniu na obrobok.

Teoretická drsnosť povrchu môže byť geometricky určená za predpokladu, že:

- obrábaný materiál je považovaný za absolútne nedeformovateľný
- reznú hranu nástroja tvoria geometrické čiary
- systém stroj – nástroj – prípravok – obrobok je absolútne tuhý.

Až potom je možné stanoviť teoretickú drsnosť povrchu zo vzorcov, odoviedajúcich geometrickým schémam kinematiky odoberanej triesky.

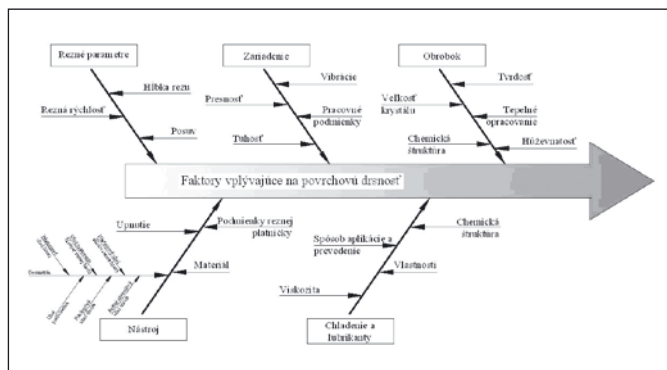
2.2 Reálny tvar drsnosti povrchu

Teoretický tvar drsnosti slúži len na základnú orientáciu v tvorbe povrchov, nemá však veľký praktický význam, lebo sa mení ešte ďalšími faktormi, ktoré sprevádzajú proces rezania. Na zvýšenie charakteristik praktickej drsnosti povrchu oproti teoretickej vplyvajú predovšetkým tieto faktory [1], [2]:

- plastická deformácia v časti tvorenia triesky
- dynamické javy, t.j. kmitanie, ktoré vzniká v technologickej sústave
- tvorba výronkov na vedľajšej reznej hrane
- trenie chrbta rezného klina o obrobenú plochu
- náhodné javy ako poškodenie reznej hrany lomom, poškodenie obrobenej plochy odchádzajúcou trieskou a pod.

3 ZÁVISLOŤ ČASU REZANIA A KVALITY POVRCHU

Aj keď čas rezania nepatrí medzi rezné podmienky, boli vykonané experimenty, ktoré identifikujú vzťah parametrov profilu drsnosti Rz, Ra o času obrábania. Štatistické vyhodnotenie sa pre jednotlivé experimenty vykonalo iba na základnej úrovni, ktorá



Obr. 1 Faktory vplyvajúce na povrchovú drsnosť

umožnila zostavenie matematicko – štatistického modelu, výpočet základných charakteristík a jeho základné overenie.

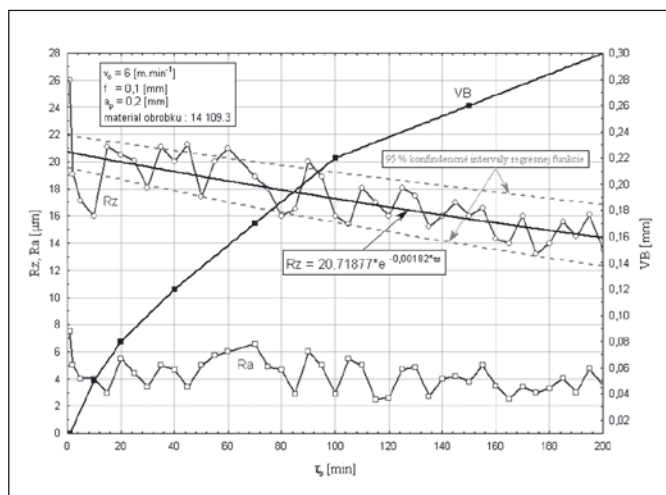
Experimenty boli vykonané pri konštantnej hodnote posuvu a hĺbky rezu, s využitím toho istého typu nástroja a materiálu obrobku, no pri zmene reznej rýchlosti. Podmienky experimentu:

- $a_p = 0,2$ mm
- $f_p = 0,1$ mm
- materiál obrobku: 14 109.3
- použitý rezný nástroj: KNUX 190408 EL
- nástrojový materiál: P 20
- použité hodnoty reznej rýchlosti: 6 m.min⁻¹, 25 m.min⁻¹, 70 m.min⁻¹, 110 m.min⁻¹, 140 m.min⁻¹, 240 m.min⁻¹.
- obrábací stroj: SU 50
- prístroj na meranie parametrov profilu drsnosti: MITUTOYO Surftest SJ – 301

Pri meraní hodnôt parametrov drsnosti sa zároveň merala hodnota opotrebenia VB.

4 ANALÝZA NAMERANÝCH HODNÔT

Grafické znázornenie nameraných hodnôt skúmaných parametrov drsnosti Ra , Rz , vypočítanej regresnej funkcie, ako aj priebehu opotrebenia pri pozdĺžnom sústružení ocele 14 109.3 reznou rýchlosťou $v_c = 6$ m.min⁻¹, je na obr. 2.



Obr. 2 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 6$ m.min⁻¹

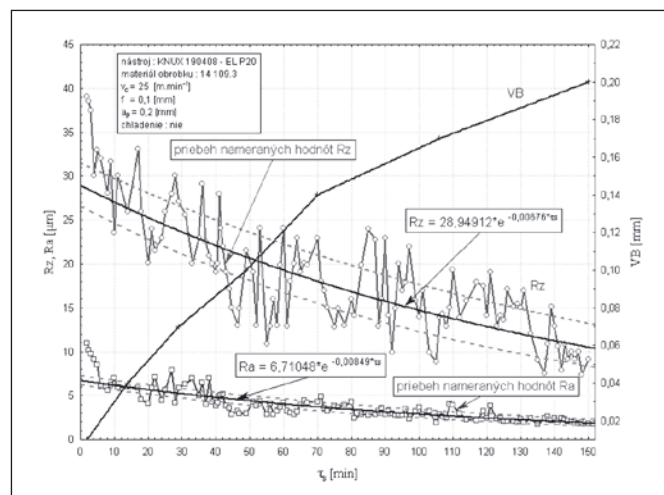
Kvôli väčšiemu rozptylu hodnôt vplyvom času obrábania sa pre zostavenie regresného modelu a následnú analýzu použili hodnoty najväčšej výšky nerovnosti profilu drsnosti Rz . Miera stochastickej závislosti vyjadrená odhadom Pearsonovho koeficientu korelácie je -76,753 %, pričom jeho skutočná hodnota leží s 95 % pravdepodobnosťou v intervale (-60,203 %; -86,979 %). Medzi skúmanými premennými je nepriama, veľmi významná štatistická závislosť. Po dosadení odhadu regresných koeficientov do použitej exponenciálnej, (po otestovaní základných typov najvhodnejšia) funkcie dostávame regresný model:

$$\hat{Rz} = 20,719(\pm 1,059) * e^{-0,002(\pm 0,0005)*\tau_s} \quad (1)$$

Použitý regresný model vysvetľuje 57,856 % variability skúmaného faktora, pričom celkový podiel času obrábania na hodnotu Rz predstavuje 6,521 %, kým vplyv ostatných faktorov vyjadrený podielom absolútneho člena regresnej funkcie predstavuje 93,479 %.

Grafické znázornenie nameraných hodnôt skúmaných parametrov drsnosti Ra , Rz , vypočítanej regresnej funkcie, ako aj priebehu opotrebenia pri pozdĺžnom sústružení ocele 14 109.3 reznou rýchlosťou $v_c = 25$ m.min⁻¹, je na obr. 3.

Z uvedeného grafu pre skúmané parametre vyplýva klesajúci trend hodnôt Rz , Ra s rastúcim časom obrábania.



Obr. 3 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 25$ m.min⁻¹

Tab. 1 Výsledky štatistického spracovania meraní experimentov $Rz = f(\tau_s)$

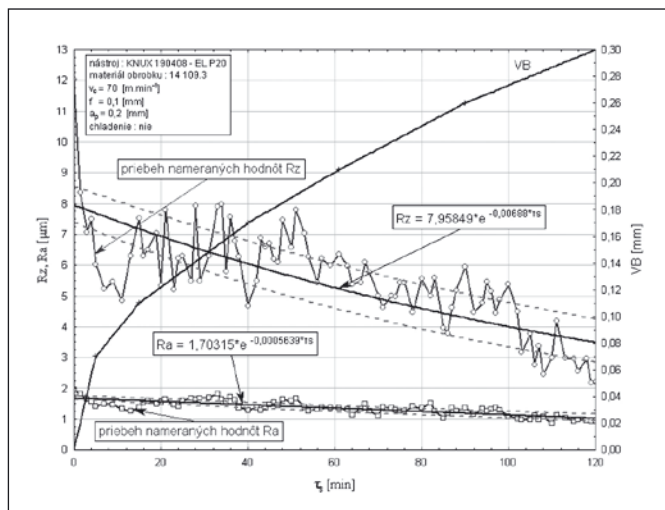
Štatistická charakteristika	Rezná rýchlosť m.min ⁻¹					
	6	25	70	110	140	240
b_0	20,719	28,949	7,958	18,859	19,219	21,509
$\pm b_0$	1,059	1,088	1,076	1,128	1,195	1,061
b_1	-0,002	-0,007	-0,007	-0,009	-0,020	-0,018
$\pm b_1$	-0,0005	0,0009	0,001	0,001	0,005	0,001
t_0	46,814	79,274	47,087	78,635	33,638	103,521
t_1	6,769	13,838	10,914	14,630	7,753	28,158
Koeficient korelácie	-73,497 %	-79,173 %	-76,959 %	-86,504 %	-78,273 %	-96,081 %
-95% spol. koef. kor.	-60,203 %	-71,222 %	-64,490 %	-79,335 %	-62,317 %	-93,704 %
-95% spol. koef. kor.	-86,979 %	-85,118 %	-84,463 %	-91,306 %	-87,974 %	-97,572 %
Index determinácie.	57,856 %	62,356 %	58,730 %	74,479 %	60,248 %	92,199 %
Adekvátnosť modelu	splnená	splnená	splnená	splnená	splnená	splnená

Miera vzájomnej stochastickej závislosti hodnôt najväčšej výšky nerovnosti profilu drsnosti Rz a času obrábania vyjadrená odhadom Pearsonovho korelačného koeficientu predstavuje $-79,173\%$, pričom 95% interval spoľahlivosti tohto odhadu je $-71,222\%$; $-85,118\%$, čo poukazuje na veľmi významný stupeň nepriamej štatistickej závislosti, potvrdenej splnením podmienky významnosti korelačného koeficientu. Celkový podiel času obrábania na hodnotu Rz predstavuje $14,862\%$, ďalších $85,138\%$ predstavuje vplyv ostatných pôsobiacich faktorov. Regresný model (2) vysvetľuje $62,356\%$ variability hodnôt skúmaného parametra.

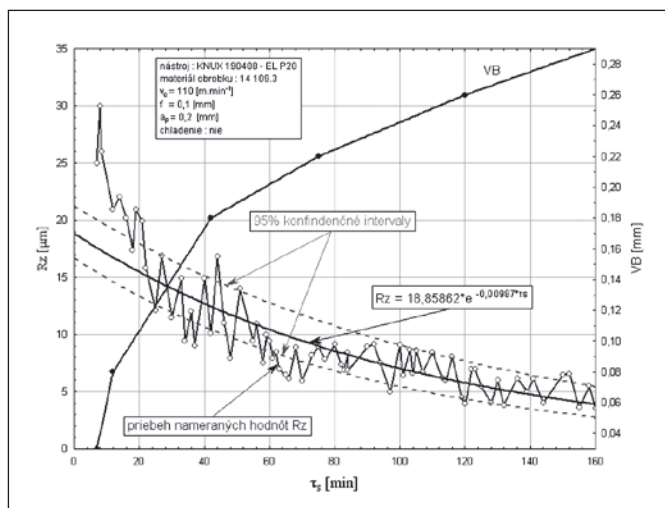
$$\hat{Rz} = 28,949(\pm 1,088) * e^{-0,007(\pm 0,0009) * \tau_s} \quad (2)$$

Priebeh nameraných hodnôt a priebehu regresnej funkcie pri zvýšení reznej rýchlosti na $70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ sú znázornené na obr. 4.

Zobrazený priebeh poukazuje na klesajúci trend priebehu hodnôt Ra , Rz s časom obrábania. Príslušné regresné modely pre skúmané parametre drsnosti sú uvedené v obr. 4. Na základe regresnej a korelačnej analýzy je odhad korelačného koeficientu $-76,959\%$ s 95% intervalom spoľahlivosti ($-64,490\%$; $-84,463\%$), overený Studentovým t - testom štatistickej významnosti, poukazuje na veľmi významný stupeň nepriamej závislosti. Regresný model vysvetľuje $58,730\%$ variability skúmaných hodnôt Rz a $63,169\%$ hodnôt Ra . Celkový podiel vplyvu času obrábania na hodnotu Rz predstavuje $18,817\%$.

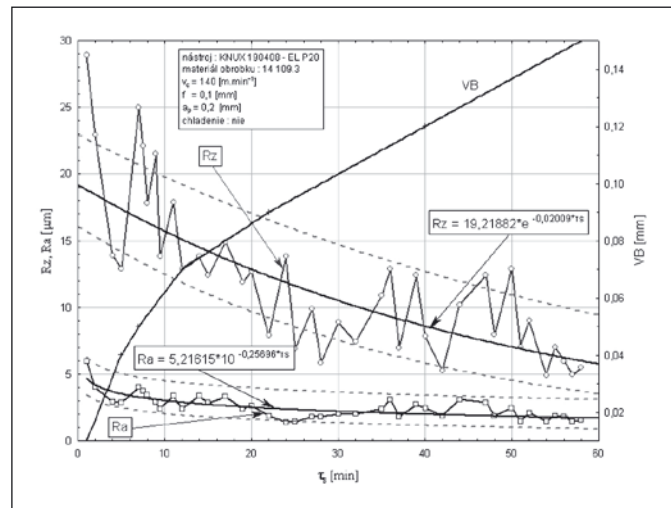


Obr. 4 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

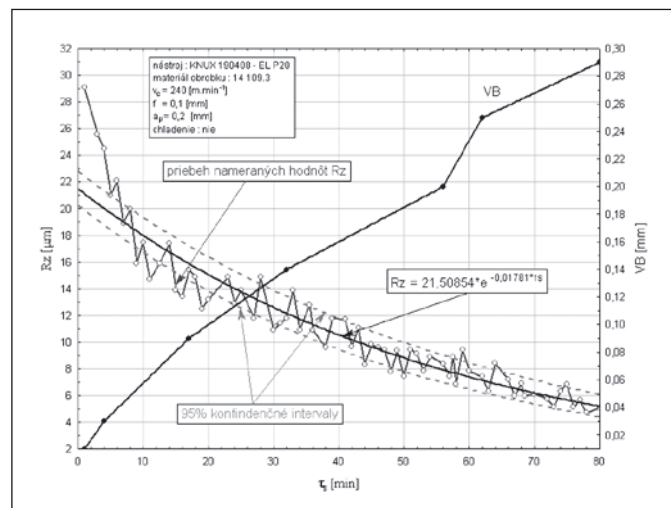


Obr. 5 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Ďalší experiment vykonaný pri reznej rýchlosti $110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ poukazuje na rovnaký priebeh závislosti skúmaných parametrov drsnosti povrchu a času obrábania, a je znázornený spolu s navrhnutým regresným modelom na obr. 5, pre reznú rýchlosť $140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ na obr. 6 a pre reznú rýchlosť $240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ na obr. 7. Základné štatistické charakteristiky vykonaných experimentov sú uvedené v tab. 1.



Obr. 6 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 7 Priebeh nameraných hodnôt, regresnej funkcie a opotrebenia $v_c = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

5 ZÁVER

Na základe realizovaných experimentov, regresnej a korelačnej analýzy možno vysloviť nasledovné závery:

- v rozsahu skúmaných rezných rýchlostí pri pozdĺžnom sústružení ocele 14 109.3 sa ako najvhodnejší matematicko – štatistický model javí exponenciálna funkcia v tvare:

$$\hat{Rz} = b_0 * e^{b_1 * \tau_s}$$

- korelačnou analýzou sa potvrdil štatisticky významný vzťah medzi časom obrábania a skúmanými parametrami profilu drsnosti
- s rastúcim časom obrábania klesá v rozsahu použitých rezných rýchlostí hodnota parametrov Ra , Rz a dôsledkom opotrebenia rezného nástroja. V podmienkach malých posuvov je to spôsobené špecifickým charakterom opotrebenia, kde na chrbtovej ploche vznikajú hrebienky, závislé od posuvu. Priebeh nameraných hodnôt poukazuje na prudký pokles výšky nerovností v prvých minútach práce nástroja, ide o oblasť „záběhu“. S ďalším obrábaním hodnoty skúmaných parametrov kontinuálne klesajú.

Bližšie štúdium ukazuje, že je to v dôsledku vzniku žliabkov opotrebenia na vedľajšej chrbtovej ploche nástroja, čím vznikajú ďalšie „hroty“, ktoré vyhladzujú obrobený povrch a odoberajú sekundárne triesky

- s rastúcim časom obrábania rastie hodnota opotrebenia VB
- priemerná hodnota vplyvu času obrábania na hodnotu najväčšej výšky nerovností profilu drsnosti predstavuje 15,995 %, pričom podiel ostatných „zanedbaných“ faktorov je 80,005 %

Literatúra

- [1] BEŇO, J.: *Teória rezania kovov*. Košice: Strojnícka fakulta TU Košice, 1999, 255 s.
- [2] BUDA, J., BÉKÉS, J.: *Teoretické základy obrábania kovov*. 1. vyd., Bratislava: ALFA, 1977, 682 s.
- [3] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤADAL, B.: *Drsnost povrchu*. Praha: SNTL, 1989, 330 s.
- [4] MÁDR, V., OHLÍDAL, M., DRŽÍK, M., VALÍČEK, J.: Měření

drsnosti obráběných povrchů optickými metodami se zaměřením na povrchy vytvářené abrazivním vodním paprskem. Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, řada hornicko-geologická, ročník XLVII, č. 1, 2001.

- [5] VALÍČEK, J., HLOCH, S.: Povrch generovaný proudem abrazivního vodního paprsku. In: *Strojárstvo*. 1335-2938: X., (strany 10 - 11, 2006).
- [6] HLOCH, S. Evaluation of abrasive waterjet factors influencing the surface quality. In: *Transactions of the Universities of Košice*. č. 2 (2005), s. 12-21. ISSN 1335-2334.
- [7] VALÍČEK, J., MÁDR, V., DRŽÍK, M., LUPTÁK, M., SLIVEČKA, L. Method of the determination of superposition relation of changes in surface geometry to mechanical parameters of material due to corrosion. In: *Acta Mechanica Slovaca*. 3-A/2005. ISSN 1335-2393. p.171-176.
- [8] LIPTÁK, O. et al: *Technológia výroby – obrábanie*. Bratislava: ALFA, 1979, 440 s.
- [9] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J.: *Technologie obrábání a montáže*. Bratislava: ALFA, 1991, 496 s.

Ing. Miroslav Gombár, PhD., Ústav digitálnych kompetencií PU v Prešove, 17. novembra 11, 08 001 Prešov, Slovenská republika, e-mail: mirek@unipo.sk

Sergej HLOCH, Katedra prevádzky technologických systémov, Fakulta výrobných technológií, TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Slovenská republika

Jan VALÍČEK, Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Česká republika

Stanovenie významnosti technologických faktorov pri delení hliníka a nehrdzavejúcej ocele vysokorýchlostným hydroabrazívnym prúdom

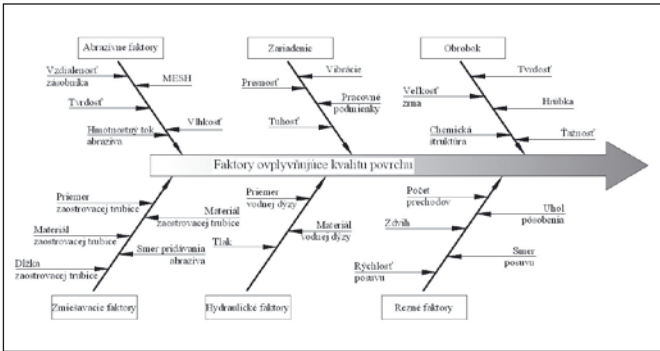
V príspevku sa pojednáva o stanovení významnosti technologických faktorov technológie delenia vysokorýchlostným hydroabrazívnym prúdom pri dezintegrácii hliníka a nehrdzavejúcej ocele pomocou faktorovej analýzy.

ÚVOD

Niekoľko posledných desaťročí vo vede, výskume a v praxi je charakterizované prudkým rozvojom tzv. nekonvenčných metód obrábania materiálov, medzi ktoré sa zaraďujú rôzne technológie obrábania vodným prúdom, najmä potom vysokorýchlostným vodným prúdom s prísadou silne abrazívnych látok [13], [14]. Vysoká rýchlosť vytekajúceho prúdu vody s prímiesou abrazíva umožňuje obrábať intenzívne, ekonomicky a pritom ekologicky širokú škálu priemyselných materiálov od papiera, lepenky, dreva, plastu, korku, stavebných hmôt a hornín až po kovy a ich zliatiny. Ide teda v obrábacom priemysle o vysoko aktuálnu technológiu práve pre jej univerzálnosť, bezpečnosť s minimálnym dopadom na environment [7], [8], [12]. Zatiaľ čo technológia vlastného obrábania vysokorýchlostným prúdom je už hárdiverovo a softvérovovo, okrem špecifických prípadov, do značnej miery vyriešená, technickým problémom stále ostáva spôsob kontroly kvality povrchu obrobených plôch s kontinuálnym riadením pri výrobe.

DIAGNOSTIKA FAKTOROV OVPLYVŇUJÚCICH KVALITU POVRCHU

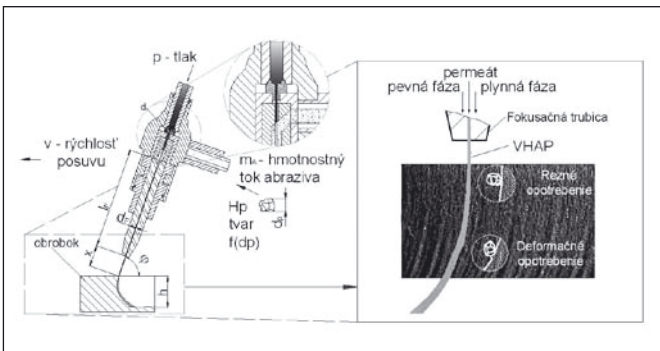
Analýza faktorov technológie vysokorýchlostného hydroabrazívneho prúdu, ktorá je spracovaná v prácach [1 až 6], dokazuje, že vplyv na proces rezania materiálov a jeho efektívnosť má množstvo faktorov (*obr. 1*). Tieto parametre sa rozdeľujú do dvoch základných skupín, priame a nepriame faktory. Do skupiny nepriamych parametrov, ktoré ovplyvňujú kvalitu východiskového nástroja, patria hydrodynamické parametre, zmiešavacie parametre a parametre abrazíva. Vytvorený nástroj pomocou týchto nepriamych parametrov vstupuje do technologického procesu úberu materiálu, ktorý sa uskutočňuje na veľkom počte lokalít, pomocou priamych parametrov. Medzi priame parametre patrí rýchlosť posuvu, zdvih, uhol dopadu AWJ, smer posuvu. Pomocou týchto parametrov sa vytvára obrobená plocha ako obalová plocha trajektórie pracovného pohybu AWJ. Ide o podstatne špecifický spôsob úberu materiálu charakteristický tým, že sa používa mnohoklinový nástroj, ktorého klíny sú tvorené brúsnymi zrnami abrazíva.



Obr. 1 Diagnostika príčin a dôsledku - faktory ovplyvňujúce kvalitatívne charakteristiky obrobenej plochy

Abrázivo je pevná korpuskulárna zložka prúdu abrazívneho vodného lúča (AWJ), ktorá je hlavnou zložkou v suspenzii zmesi s použitým permeátom. Táto zmes pozostávajúca z veľkého obsahu vzduchu, prúdi z fokusačnej trubice nadzvukovou rýchlosťou a tvorí flexibilný rezný nástroj hydromechanického charakteru.

Pomocou faktorov (obr. 2) sa vytvára obrobená plocha a tvorí sa ako obalová plocha trajektórie pracovného pohybu vysokorychlostného hydroabrazívneho prúdu (obr. 2). Ide o zložitý špecifický spôsob obrábania charakteristický tým, že sa používa mnohoklinový nástroj, ktorého rezné klíny sú tvorené brúsnymi zrnami (abrazívom), ktoré sú v kvapaline náhodne orientované [4, 6]. Vysokorychlostný hydroabrazívny prúd studeným spôsobom vytvára na obrobku reliéf, s dvoma zreteľnými oblasťami pozdĺž steny rezu, ktoré sú charakterizované odlišnou textúrou povrchu. Vytvorený reliéf sa z hľadiska kvality (posudzovanej pomocou parametra profilu drsnosti Ra povrchu vo zvislom smere) rozdeľuje na hornú eróznú zónu, ktorá sa vyznačuje nižšími číselnými hodnotami parametra profilu drsnosti Ra a na dolnú eróznú zónu, ktorá sa vyznačuje vyššími číselnými hodnotami parametra profilu drsnosti Ra .

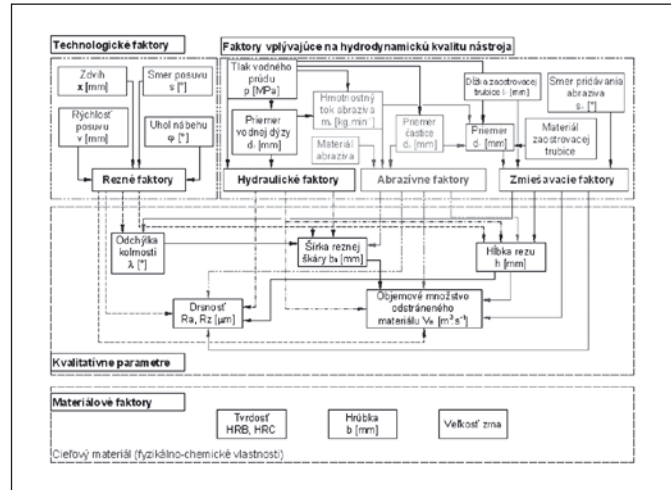


Obr. 2 Pôsobenie faktorov na rezaný materiál

Rozsah a veľkosť týchto zón uvedených na obr. 2 závisí od procesných faktorov [4]. Na kvalitatívne charakteristiky obrobenej plochy a na úber materiálu vplyva množstvo faktorov prostredníctvom pracovného nástroja a jeho kvalitatívnych charakteristík, ktoré sa rozdeľujú do dvoch skupín (priamych a nepriamych procesných faktorov) ovplyvňujúcich aj okrem iných parametrov (odchýlka kolmosti, aj parameter profilu drsnosti Ra). Vplyv a vzájomnú interakciu procesných faktorov na kvalitu obrobenej plochy charakterizuje bloková schéma na obr. 3. Ako bolo uvedené, technologický proces delenia materiálov vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom je z fyzikálno-mechanického modelu veľmi zložitým procesom. Na dezintegrácii materiálu sa podieľa súčasne veľký počet faktorov (obr. 2). Najdôležitejšie z nich sú technologické faktory a materiálové faktory (obr. 3).

Pri delení vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom vznikajú nepresnosti, ktoré sú definované odchýlkami rozmerov, tvarov

a vzájomnej polohy, ako aj drsnosťou povrchu. Kvalita povrchu delením VHAP v hornej časti obrobku, kde prevláda rezný mechanizmus opotrebenia, má stochastickú štruktúru. Povrch v dolnej časti obrobku, kde prevláda deformačný spôsob opotrebenia, sa viac prejavuje pravidelnou vlnitou textúrou. Táto vlnitá štruktúra je navrstvená na stochastickej štruktúre. V dôsledku úbytku kinetickej energie tvoriace ryhy prebiehajú paralelne s dráhou prúdu a stáčajú sa proti smeru rezného pohybu.



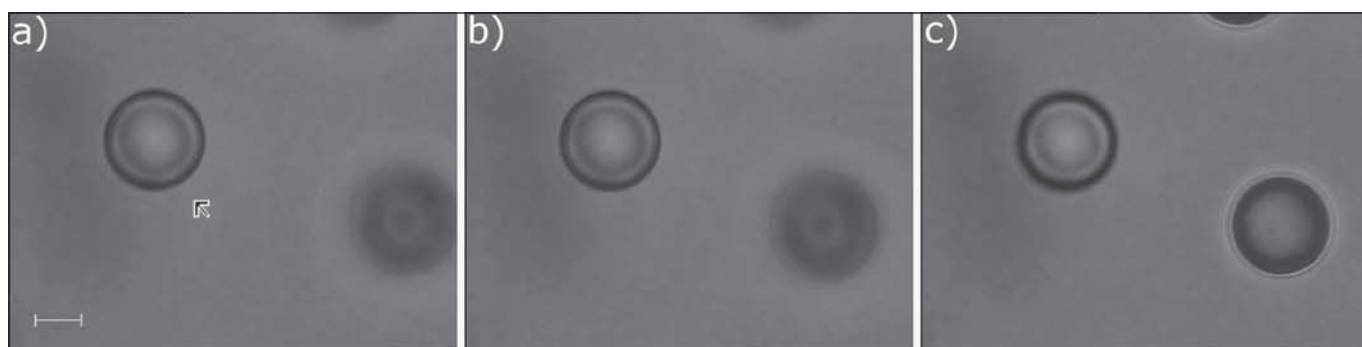
Obr. 3 Bloková schéma pôsobenia procesných faktorov na kvalitatívne parametre

HODNOTENIE VPLYVU FAKTOROV NA KVALITU POVRCHU

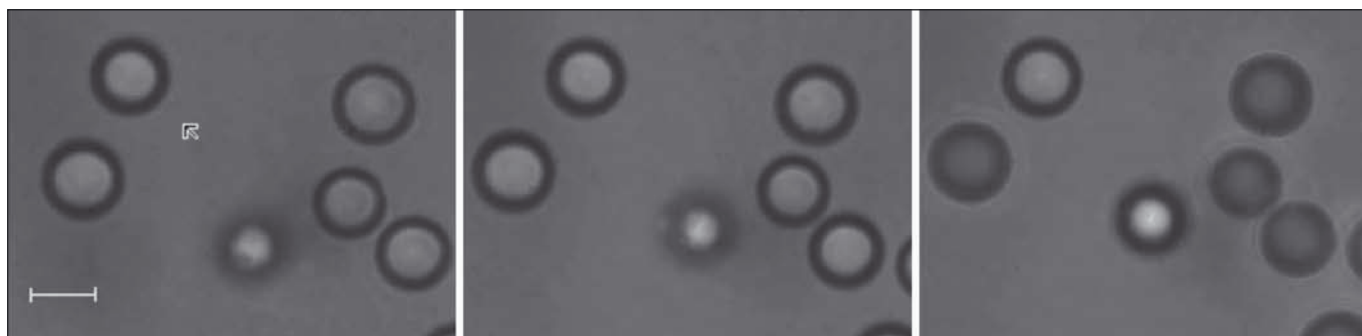
Vplyv faktorov vysokorychlostného hydroabrazívneho prúdu na kvalitu povrchu doposiaľ nie je úplne zvládnutý. Nie sú známe presné hodnoty niektorých premenných, ktoré sa v čase menia a ich dosadzovanie do množstva empirických a analytických odvodených rovnic je problematické. Preto sa dodnes v príprave riadenia technológie výrobného procesu uplatňuje najmä intuícia a skúsenosť riadiaceho technológa, ktorú je možné získať iba mnohonásobným vykonávaním činnosti, čo je z časového hľadiska nákladné a neefektívne. Matematicko štatistické metódy naopak umožňujú zostavenie štatistického modelu i z relatívne veľkého počtu vstupných údajov a môžu byť preto jednou z ciest riadenia naznačeného problému i v problematike technológie AWJ. V prevádzke nepôsobia procesné faktory technológie vždy iba aditívnym spôsobom, ale spoločne vo vzájomnej interakcii. Pre takúto analýzu procesných faktorov, ich optimalizáciu a vzájomné závažnosti ich vplyvu na kvalitu obrobenej plochy je možné využiť plánovaných experimentov, ktoré šetria čas a zefektívňujú prípravu a riadenie procesu delenia nielen počas experimentálneho výskumu. Množstvo takýchto experimentov bolo zrealizovaných na Katedre prevádzky technologických systémov. Ako experimentálny materiál sa použila nehrdzavejúca oceľ AISI 304, ktorá patrí k najpoužívanejším druhom materiálu medzi nehrdzavejúcimi ocelami s veľmi dobrou odolnosťou voči korózii, tvárnosťou za studena a zvarateľnosťou, odolnosťou voči vode, vodnej pare, vlhkosti vzduchu, jedlým kyselinám, slabým organickým a anorganickým kyselinám [7]. Ako druhý experimentálny materiál bol použitý hliník. Výroba vzoriek z nehrdzavejúcej ocele a hliníka vysokorychlostným hydroabrazívnym prúdom sa vykonala vo firme Wating, s.r.o., podľa plánu experimentov.

PREZENTÁCIA ČIASTKOVÝCH VÝSLEDKOV FAKTOROVEJ ANALÝZY

Významnosť sledovaných faktorov pri delení hliníka a nehrdzavejúcej ocele AISI 304 na parameter profilu drsnosti Ra , ktorý bol zisťovaný v hĺbke 1 mm a hĺbke 9 mm, je graficky znázornená v Paretových diagramoch na obr. 4.



Obr. 4 Zachycení polystyrénové mikročástice (označena šipkou) o velikosti 10 μm (4K-10 Duke Scientific) v kapce filtrované vody. Na obrázku a) a b) je v pravé části neostrý objekt ležící na krycím skle, jehož poloha se při horizontálním pohybu vzorkem mění. Zachycená ostrá částice označená šipkou však v zorném poli nemění svou polohu. Na pravém obrázku byl mikroskopový stolek vertikálně posunut a objekt ležící na dně se zaostřil. Zachycená částice však stále zůstává ostrá, protože sleduje pohyb ohniskové roviny. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm . Použitý optický výkon dopadající na částici byl 55 mW.



Obr. 5 Zachycení mikročástice (označena šipkou) o velikosti 5 μm (4K-05 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Mikročástice v optické pasti je zachycena uprostřed shluku nezachycených mikročástic a vertikálním posuvem mikroskopového objektivu je přiblížena ke krycímu sklu. Během pohybu se mění ostrost nezachycených mikročástic. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 5 μm . Použitý optický výkon dopadající na částici byl 55 mW.



Obr. 6 Zachycení mikročástice (označena šipkou) o velikosti 2 μm (4K-02 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Mikročástice je zachycena v objemu vzorku a v optické pasti přesouvána dále od krycího skla, obraz nezachycené mikročástice na podložním skle se rozostřuje. Pohyb zachycené mikročástice je omezen optickou pastí o dopadajícím výkonu 55 mW. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 1 μm .



Obr. 7 Zachycení polymerové kuličky (označena šipkou) o velikosti 520 nm (3K-500 Duke Scientific) v kapce filtrované vody kompaktní optickou pinzetou s laserovou diodou. Vertikálním pohybem mikroskopového objektivu je přesouvána optická past spolu se zachyceným objektem (zůstává stejně ostrý) a současně se zaostřuje obraz objektu na krycím skle. Dopadající výkon byl 55 mW. Úsečka na prvním obrázku odpovídá vzdálenosti 1 μm .

- [8] Hloch, S. et al.: Acoustic environment evaluation of manufacturing system with abrasive waterjet technology. In: ICMPM 2005: Advances in materials, product design & manufacturing systems: Proceedings of the international conference: 12 - 14 December 2005. India: Bannari Amman Institute of Technology, 2005. p. 568-575.
- [9] Valíček, J., Držík, M., Ohlídal, M., Mádr, V., Hlaváč, L. M.: Optical method for surface analyses and their utilization for abrasive liquid jet automation. In: Proceedings of the 2001 WJTA American Waterjet Conference, M. Hashish (ed.), WJTA, Minneapolis, Minnesota, 2001, p. 1 – 11.
- [10] Valíček, J., Držík, M., Ohlídal, M., Hlaváč, L. M.: Application of optical methods for analyses of surfaces made by abrasive liquid jet. In: METAL 2001 – Proceedings of the 10th International Metallurgical and Materials Conference, TANGER spol. s r. o., Ostrava, 2001, paper 104, p. 1 – 7.
- [11] Valíček, J., Louis, H., Schenk, A., Držík, M., Hlaváč, L. M., Chlpík, J.: Utilization of the optical methods for analyses of cutting edges. BHR Group, 2004, p. 487 – 501.
- [12] Hatala, M., Čep, R. Parameters influence on cross size of cut rift at plasma arc cutting. In: Scientific Bulletin: Serie C. Baia Mare: North University, 2006. p. 135-140. ISSN 1224-3264.
- [13] Hatala, M. Vplyv rýchlosti posuvu plazmového horáka na drsnosť reznej hrany výrezkov kruhového charakteru. In: Automation and CA Systems in Technology Planning in Manufacturing. (2005), s. 89-92. ISSN 1335-3799.
- [14] Kadnár, M., Rusnák, J.: Teoretický výpočet hrúbky mazacieho filmu pri elasto-hydrodynamickom mazaní. In: Sborník z medzinárodnej vedeckej konferencie poriadanej počas konania 11. medzinárodného strojárskeho veľtrhu v Nitre, Nitra, 2004, s. 55-58.

Ing. Sergej Hloch, PhD., Katedra prevádzky technologických systémov, Fakulta výrobných technológií, TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, Slovenská republika, tel.: 051/7723504, Fax: 051/7733453, e-mail: hloch.sergej@fvt.sk
 Ing. Jan Valíček Ph.D., Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava – Poruba, Česká republika, tel.: +420-59-7323 128, fax: +420-59-6918 589, e-mail: valicek.jan@vsb.cz

Vilém NEDĚLA, Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, Brno
 Jiří MAXA, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, Brno

Hydratační systém pro environmentální rastrovací elektronové mikroskopy

Článek se zabývá popisem hydratačního systému, který je vhodný zejména pro pozorování preparátů o vysoké vlhkosti a k realizaci některých dynamických „in situ“ experimentů v mikroskopech typu EREM. Schopnost systému jemně regulovat tlak vodní páry v okolí vzorku byla ověřena měřením tlaku vodní páry v závislosti na její teplotě a na nastavení ventilu. Praktické použití přístavku bylo odzkoušeno demonstračními experimenty.

Klíčová slova: Hydratační systém, environmentální rastrovací elektronový mikroskop, dynamické „in situ“ experimenty, biologické vzorky.

ÚVOD

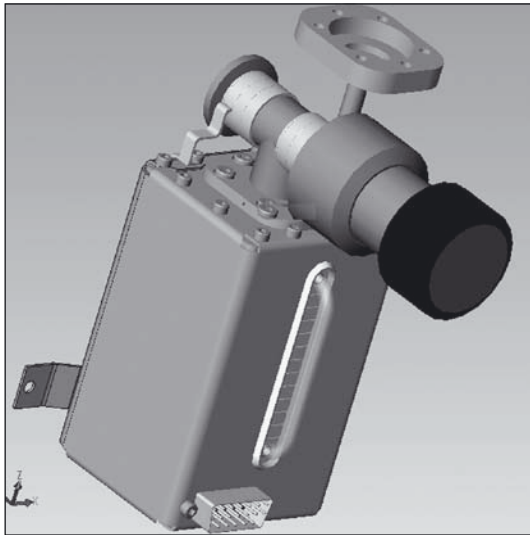
Jednou ze základních výhod environmentálního rastrovacího elektronového mikroskopu (EREM) je možnost pozorovat přirozeně vlhké struktury silně hydratovaných nevodivých preparátů bez nutnosti pokrytí jejich povrchu vodivou vrstvou. První práce zabývající se možnou přítomností vlhkého plynu (vodní páry) v komoře vzorku elektronového mikroskopu publikovali Lane [1] a Robinson [2]. Přítomnost vodních par v komoře vzorku EREM má významný vliv také na detekci sekundárních elektronů pomocí detektorů, využívajících principu zesílení signálu prostředím vysokého tlaku plynu prostřednictvím efektu nárazové ionizace molekul plynu urychlenými elektrony, jak ukazuje Fletcher aj. [3].

Tlak vodní páry v komoře vzorku EREM spolu s teplotou vzorku určuje podmínky pro dosažení a udržení stavu termodynamické rovnováhy nasycených vodních par mezi prostředím komory vzorku a vzorkem samotným, jak ukazují Cameron a Donald [4] nebo Methews a Donald [5]. Nemá-li docházet ani k vypařování

vody z povrchu vzorku, ani ke kondenzaci par na povrchu, je nutné respektovat křivku závislosti tlaku nasycených vodních par na teplotě vzorku, což v případě biologických vzorků prakticky demonstrovala Stokes [6]. To klade na hydratační systém EREM vysoké nároky a často to vyžaduje i použití chlazeného držáku vzorku, jakým je např. držák chlazený Peltierovým článkem.

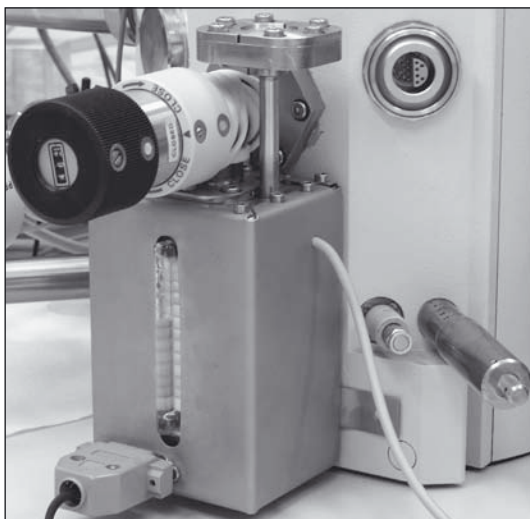
POPIS SYSTÉMU

Popisovaný hydratační systém je konstrukčně jednoduchý a levný, nicméně vysoce účinný. Na obr. 1 je provedení pro experimentální EREM, avšak připojení na komory vzorku různých EREM by nemělo činit větší potíže (viz obr. 2). Hydratační systém je vybaven malým, velmi přesným mikrometrickým ventilem (rozsah regulace 0-999 s přesností 0,2 dílku), kterým lze manuálně řídit průtok vodní páry ze zásobníku systému do komory vzorku EREM. Pro jemnou regulaci průtoku vodní páry je systém také vybaven topným



Obr. 1 Počítačový model hydratačního systému pro EREM

článkem, který zajišťuje vyhřívání vodního zásobníku i mikrometrického ventilu a tím, mimo jiné, zabraňuje možnému zamrznutí ventilu. Teplota vodní páry v zásobníku vody je měřena přesným teplotním senzorem, tepelně odstíněným od stěny zásobníku, a lze ji s přesností na 0,1 °C regulovat proporcionalním integračně-derivacním regulátorem (PID regulátorem). Jednotka obsahující PID regulátor je k hydratačnímu systému připojena kabelem a vedle současného zobrazení aktuální teploty vodní páry a teploty požadované umožňuje mnoho dalších pokročilých funkcí regulace. Hydratační systém je dále vybaven měrkou aktuální úrovně hladiny vody v zásobníku. Destilovanou vodu lze do zásobníku vody doplňovat přes přírubu, na kterou může být také připojena kapacitní měrka (Pfeiffer CMR 2xx) tlaku vodní páry v zásobníku vody. Systém je uložen ve dvojitěm krytu, mezi jehož stěnami je umístěna tepelná izolace pro zajištění konstantní teploty zásobníku vody, nezávislé na teplotě okolí. Zásobník vody je vyroben z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí, minimalizující přechodovou ztrátu tepla mezi topením a konstrukcí zásobníku.



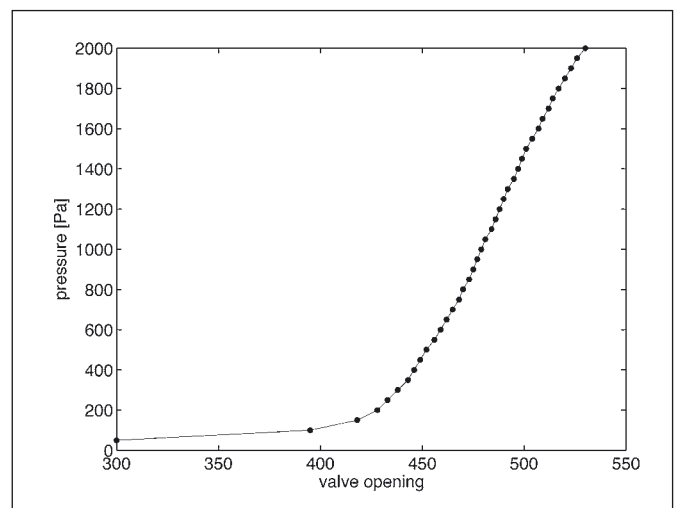
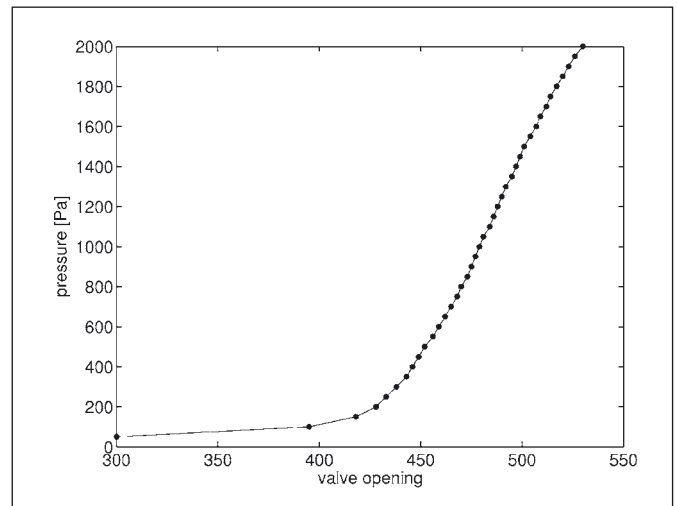
Obr. 2 Hydratační systém připojený ke komoře vzorku experimentálního EREM AQUASEM II

Hydratační systém je vakuově těsný a umožňuje tak přesně stanovit teplotu vodní páry, velikost průtoku vodní páry do komory vzorku EREM a tlak vodní páry v zásobníku vody. Lze také sledovat množství vody v systému a změnu tohoto množství v průběhu experimentu.

Veškeré experimenty probíhaly na experimentálním nekomerčním EREM AQUASEM II vybaveném elektronově optickým tubusem typu VEGA od firmy Tescan s.r.o. a instalovaném v nových laboratořích elektronové mikroskopie v ÚPT AVČR (<http://www.isibrno.cz/lem>). Mikroskop je schopen pracovat v módu vysokého vakuu (0,001 Pa) a v režimech LV (low vacuum, do 300 Pa) a EREM (do 2000 Pa). Byl zkonstruován pro účely výzkumu a vývoje detekčních systémů pracujících v podmínkách vysokého tlaku v komoře vzorku EREM a pro provádění některých dynamických „in-situ“ experimentů. Komoza vzorku mikroskopu AQUASEM II má objem cca 2 litry a v EREM módu je čerpána pouze pomocí rotační vývěvy otvorem o průměru 0,5 mm. Hydratační systém je však schopen dostatečně zásobit vodní parou i komoru o větším objemu, čerpanou systémem s vyšší čerpací rychlostí. Konstrukce hydratačního systému umožňuje vést vodní páru až těsně k povrchu vzorku pomocí tenké vyhřívatelné nerezové kapiláry. Tuto kapiláru lze jednoduše nasadit z vnitřní strany komory vzorku.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Základní vlastností hydratačního systému je schopnost dodávat vodní páru do komory vzorku EREM, a to tak, aby nárůst tlaku byl pozvolný a bylo možné jej jemně regulovat. Obr. 3 ukazuje závislost tlaku vodní páry v komoře vzorku na velikosti otevření ventilu hydratačního systému při pokojové teplotě 24 °C. Z obrázku je patrné, že v podmínkách daného mikroskopu je nárůst tlaku



Obr. 3 Závislost tlaku nasycených vodních par v komoře vzorku AQUASEM II na velikosti otevření mikrometrického ventilu hydratačního systému (měřeno při pokojové teplotě hydratačního systému 24 °C)

pozvolný až do cca 200 Pa při otevření ventilu kolem 425 jednotek jeho stupnice. Citlivost regulace tlaku v intervalu 0 – 200 Pa je průměrně 1,2 Pa na jednotku otevření ventilu. Při větším otevření ventilu začíná hodnota tlaku narůstat s větší strmostí. V intervalu 200 Pa až 2000 Pa je citlivost regulace průměrně 17,7 Pa na jednotku otevření ventilu (krok regulace činí 0,2 jednotky otevření). Ke zvýšení citlivosti regulace tlaku v oblasti 200 Pa – 2000 Pa a současně k prevenci rizika zamrznutí ventilu je hydratační systém vybaven systémem ohřevu vodní páry. Jemná regulace tlaku vodní páry při konstantním otevření mikrometrického ventilu (428 a 452 dílků) v závislosti na teplotě vodní páry v zásobníku vody je demonstrována na obr. 4. Z grafu je patrné, že při otevření ventilu na 428 jednotek lze dosáhnout citlivosti regulace asi 1,7 Pa na 0,1 °C, což je nejjemnější možná regulace teploty vodních par. V rozsahu tlaků 480 Pa - 1132 Pa při otevření ventilu na 452 dílků lze dosáhnout průměrné citlivosti regulace 4,1 Pa na 0,1 °C. Tato citlivost je z hlediska praktického použití přístroje dostatečná.

Účinnost hydratačního systému a schopnost dosažení a udržení požadovaných termodynamických podmínek byla testována při pozorování kondenzace a vypařování vodních kapek na čisté kře-

míkové destičce a rovněž při pozorování vysoce vlhkých preparátů živé hmoty. Obr. 5 ukazuje kondenzaci vodních kapek na povrchu epitelu lidského tenkého střeva, ke které dochází při zvýšení tlaku vodní páry z 600 Pa na 800 Pa, což je hodnota odpovídající přesyceným parám vody při pokojové teplotě.

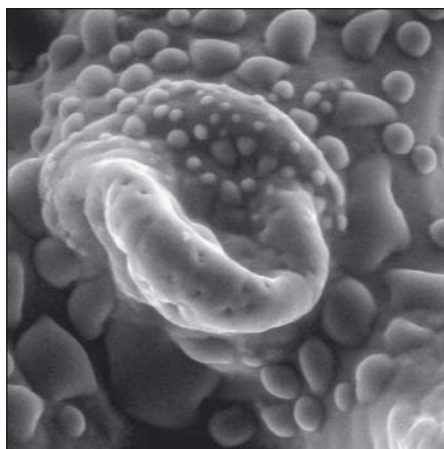
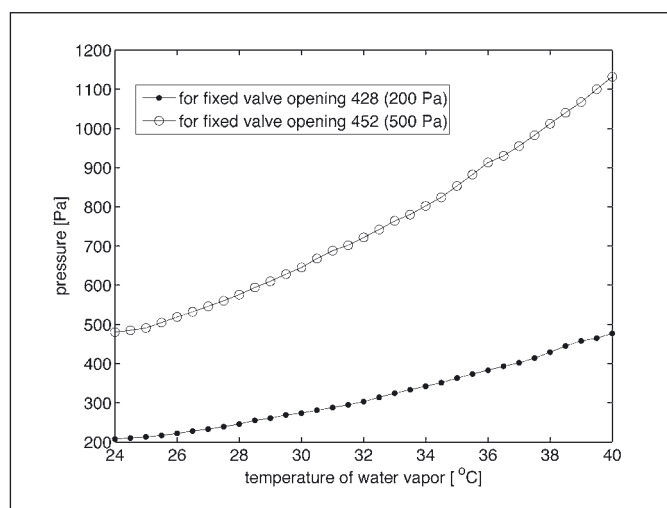
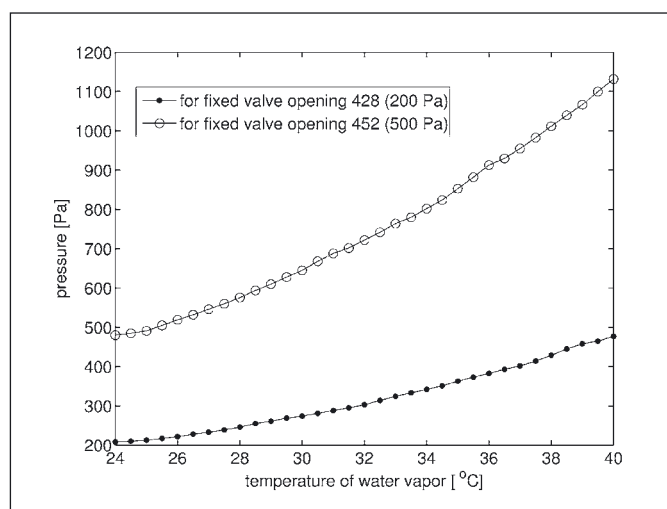


Fig. 5 Kondenzace vodních kapek na povrchu epitelu tenkého střeva člověka po změně tlaku vodních par v komoře vzorku EREM AQUASEM II ze 600 Pa na 800 Pa při konstantní teplotě vzorku 0° C, zobrazení v sekundárních elektronech, zorné pole 200 mikrometrů



Obr. 4 Závislost tlaku nasycených vodních par v komoře vzorku AQUASEM II na teplotě vodních par v hydratačním systému (měřeno pro konstantní otevření mikrometrického ventilu 428 a 452 jednotek)

ZÁVĚR

Popisovaný hydratační systém pro experimentální EREM se osvědčil jako zařízení schopné vytvořit v okolí preparátu atmosféru nasycených vodních par a udržovat tak vlhký povrch preparátu v původním stavu bez vysychání a současně i bez kondenzace vody z prostředí. Experiment prokázal dostatečnou citlivost regulace tlaku vodní páry, prováděné jednak mechanicky pomocí jemně nastavitelného přívodního ventilu, jednak regulovaným ohříváním páry. Hydratační systém byl ověřován i při praktickém provozu EREM na vysoce vlhkých vzorcích, silně se smršťujících a deformujících při ztrátě vlhkosti.

Poděkování

Děkuji prof. B. Lencové za pomoc s přípravou rukopisu. Tato práce byla podporována granty GAČR pod č. GA 102/05/0886 a GAAV pod č. KJB 200650602.

Literatura

- [1] Lane W. C. (1970) The environmental control stage. Scanning Electron Microscopy, IITRI, Chicago. 41-48.
- [2] Robinson, V. N. E. (1975) A wet stage modification to a scanning electron microscope. J. Microscopy. 103, 71-77.
- [3] Fletcher, A. L., Thiel, B. L., Donald, A. M. (1997) Amplification measurements of alternative imaging gases in environmental SEM. Journal of Physics D: Appl. Phys. 30, 2249 – 2257.
- [4] Cameron R. E, Donald A. M. (1994) Minimizing sample evaporation in the environmental scanning electron microscope. J. Microscopy, 173(3), 227-237.
- [5] Mathews, R. G., Donald A. M. (2002) Conditions for Imaging Emulsion in the Environmental Scanning Electron Microscope. Scanning, 24, 75-85.
- [6] Stokes, D. J. (2003) Investigation biological ultrastructure using Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM). Book Chapter in: Science, Technology & Education of Microscopy: An Overview, pp. 564 – 570.

Ing. Vilém Neděla, Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, Královopolská 147, 612 64 Brno, tel.: +420 541 514 333, fax: +420 541 514 402, e-mail: vilem@isibrno.cz

Ing. Mgr. Jiří Maxa, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, Údolní 53, 638 00 Brno, tel.: +420 541 146 356, fax: +420 541 146 149, e-mail: maxa@feec.vutbr.cz

Olympus E-400: nejmenší a nejlehčí digitální zrcadlovka na světě

OLYMPUS

Vaše Představy, Naše Budoucnost

Praha, 14. září 2006 – Olympus představuje nejmenší a nejlehčí digitální zrcadlovku na světě – Olympus E-400. Kompaktní rozměry a nízká hmotnost tohoto nejnovějšího přírůstku řady Olympus E-System čtyř-třetinového standardu, umožňují fotografům vzít si svůj fotoaparát kamkoli s sebou a přitom neztratit výhody zrcadlového fotoaparátu. Tento model je osazen nově vyvinutým snímačem CCD s rozlišením 10 milionů pixelů. Protože je E-400 kompatibilní se 4/3 standardem, mají uživatelé téměř neomezené možnosti. Široká nabídka prvotřídních objektivů, včetně profesionálních objektivů ZUIKO DIGITAL Top Pro, ohodnocených oceněním EISA, plus mnoho dalšího příslušenství poskytuje fotografům naprostou svobodu projevu. Díky otevřenému standardu je nabídka objektivů navíc rozšířena o objektivy jiných výrobců, které jsou s E-400 kompatibilní. Stejně jako ostatní digitální zrcadlovky Olympus je i E-400 vybavena jedinečným ultrazvukovým filtrem, zajišťujícím permanentní ochranu snímače před prachem.



Kompaktní rozměry s inovativní D-SLR technologií

Díky malým rozměrům a nízké váze se E-400 nikdy nemůže stát přítěží. Je ideální zrcadlovkou pro cestování, na prázdniny nebo dokonce i na motorku či na kolo, protože nezabere mnoho místa.

Uvnitř velmi kompaktní schránky se skrývají nejmodernější technologické prvky. Nově vyvinutý snímač CCD s rozlišením 10 megapixelů prokreslí detailně i ty nejdrobnější detaily. Navíc je vysoce výkonný senzor energeticky úsporný. Nejmodernější zesilovací obvody efektivně eliminují výskyt šumu. Samotný senzor je extrémně rychlý a umožňuje sekvencí snímání až 3 snímků za sekundu a to i ve formátu RAW.

Jako všechny digitální zrcadlovky Olympus je i E-400 vybavena unikátním ultrazvukovým filtrem Supersonic Wave Filter. Tato patentovaná technologie zajišťuje bezstarostnou výměnu objektivů v libovolném prostředí. Pořízené snímky jsou vždy čisté, bez nepříjemných prachových artefaktů. Speciální filtr umístěný před CCD



snímačem, vyvinutý společností Olympus, generuje při každém zapnutí fotoaparátu sérii ultrazvukových vibrací, které doslova setřesou všechny prachové částice pryč. Pro nový model E-400 byl celý antiprachový systém zmenšený a byla zvýšena frekvence jeho vibrací pro ještě větší efektivitu.

Profesionální funkce s jednoduchým ovládáním

Olympus dokazuje, že i funkcemi překypující digitální zrcadlovka se dá velmi jednoduše ovládat. E-400 nabízí zcela samozřejmě plně manuální kontrolu expozice a zároveň poskytuje 32 předprogramovaných scénických režimů, pokrývajících většinu běžných fotografických situací. Patří mezi ně např. režimy Makro, xD Panorama (s použitím paměťových karet xD Picture Card), Noční scéna, Podvodní režimy apod. Noví majitelé dále využijí výhody černobílých filtrů, tak jak je známe z filmové černobílé fotografie.

Aby samotné fotografování nebylo příliš časově omezováno, používá E-400 zcela novou vysokokapacitní nabíjecí baterii. Pro neomezené množství záběrů lze do přístroje vložit dva typy paměťových karet – CompactFlash a xD-Picture Card. Menu fotoaparátu je nabízeno v mnoha jazykových mutacích, včetně češtiny. Celkem 25 jazyků, srozumitelných v 39 evropských státech, činí z E-400 jazykového odborníka.

Nekonečné možnosti příslušenství 4/3 standardu

Jako všechny fotoaparáty řady E-System, také E-400 podporuje 4/3 standard. Olympus a někteří další výrobci produkují vysoce kvalitní objektivy a příslušenství kompatibilní se 4/3 standardem, specificky určené pro digitální zrcadlovky. Kromě jen několika málo výjimek je E-400 kompatibilní s téměř celou řadou příslušenství Olympus E-System. Patří sem i celá řada objektivů ZUIKO DIGITAL Top Pro, která nedávno získala prestižní ocenění EISA. V prodeji bude dokonce i potápěčské pouzdro (PT-E03) pro E-400, které dovolí amatérským a profesionálním potápěčům pořizovat úchvatné záběry v hloubce až 40 m.

Nové objektivy řady E-System

Pro lepší výsledky a komfortnější ovládání jsou objektivy založené na 4/3 standardu vybaveny téměř telecentrickou optickou soustavou, která bere v úvahu specifické požadavky kladené na optiku s digitálním snímacím senzorem, jehož charakteristika a vlastnosti jsou zcela odlišné od klasického filmu. Začátek prodeje modelu E-400 doprovází také představení dvou nových digitálních objektivů: Pro běžné situace naprosto univerzální objektiv EZ-1442 ED 14-42 mm 1 : 3,5-5,6 (ekv. 28-84mm 35mm fotoaparátu) a dále teleobjektiv EZ-4015-2 ED 40-150mm 1 : 4,0-5,6 (ekv. 80-300 mm). Oba objektivy jsou extrémně kompaktní a ideálně doplňují malé tělo zrcadlovky E-400. Jsou navrženy tak, aby se velice snadno ovládaly a zároveň poskytují špičkové optické vlastnosti. Oba objektivy jsou provedeny ve velmi elegantním designu a uprostřed nesou modrý kroužek – nový symbol všech objektivů řady Olympus E-System.

E-400 výborně vyvažuje kombinaci světa digitálních zrcadlovek na jedné straně a zároveň kompaktnosti, nízké hmotnosti a lehkosti užití na straně druhé. Svými rozměry se velmi podobá vyspělejším kompaktním fotoaparátům, optickou kvalitou a funkcemi se však jedná o prvotřídní, plnohodnotnou zrcadlovku. V prodeji se objeví v říjnu 2006.

Olympus E-400 digitální zrcadlovka – hlavní charakteristika:

- Nejmenší a nejlhčí D-SLR a světěč*
- 10 milionů pixelů
- 6,4 cm/2.5" LCD
- Ultrazvukový antiprachový filtr - Supersonic Wave Filter pro ochranu snímků proti prachu
- Dva sloty pro karty (xD-Picture Card a CompactFlash)
- 32 scénických režimů (např. Makro, xD Panorama, několik podvodních režimů apod.)
- Vestavěný výklopný blesk (GN 10)
- 3 až 5 snímků za sekundu v RAW formátu
- Manuální vyvážení bílé
- TruePic TURBO obrazový procesor
- AF-lock funkce
- Funkce náhledu hloubky ostrosti
- Zdokonalené 49 zónové ESP a bodové měření expozice
- Expoziční bracketing
- Stavový displej na LCD – základní nebo podrobné info
- Prohlížení s podrobnými informacemi a histogramem
- Extrémně snadné zacházení díky intuitivnímu menu v českém jazyce
- JPEG & RAW formáty
- Založena na 4/3 standardu

Nové – ultra kompaktní objektivy – hlavní charakteristika**:

ZUIKO DIGITAL ED 14-42 mm (28-84 mm) 1 : 3,5-5,6

- Velmi krátká zaostřovací vzdálenost - 25 cm
- ED člen a 2 asférické čočky
- 65,5 x 61 mm
- 190 g

ZUIKO DIGITAL ED 40-150 mm (80-300 mm) 1 : 4,0-5,6

- Krátká zaostřovací vzdálenost - 90 cm
- ED členy
- 65,5 x 72 cm
- 250 g

Olympus E-System objektivy**:

Top Pro - objektivy

- ZUIKO DIGITAL ED 7-14 mm (14-28 mm) 1 : 4,0
- ZUIKO DIGITAL ED 14-35 mm (28-70 mm) 1 : 2,0 (v prodeji od 2007)
- ZUIKO DIGITAL ED 35-100 mm (70-200 mm) 1 : 2,0
- ZUIKO DIGITAL ED 90-250 mm (180-500 mm) 1 : 2,8
- ZUIKO DIGITAL ED 150 mm (300 mm) 1 : 2,0
- ZUIKO DIGITAL ED 300 mm (600 mm) 1 : 2,8

Pro - objektivy

- ZUIKO DIGITAL 11-22 mm (22-44 mm) 1 : 2,8-3,5
- ZUIKO DIGITAL 14-54 mm (28-108 mm) 1 : 2,8-3,5
- ZUIKO DIGITAL ED 50-200 mm (100-400 mm) 1 : 2,8-3,5
- ZUIKO DIGITAL ED 8 mm 1:3.5 Fisheye
- ZUIKO DIGITAL ED 50 mm (100 mm) 1 : 2,0 Macro

Standard - objektivy

- NEW!! ZUIKO DIGITAL ED 14-42 mm (28-84 mm) 1 : 3,5-5,6
- ZUIKO DIGITAL 14-45 mm (28-90 mm) 1 : 3,5-5,6
- ZUIKO DIGITAL ED 18-180 mm (36-360 mm) 1 : 3,5-6,3
- ZUIKO DIGITAL 40-150 mm (80-300 mm) 1 : 3,5-4,5
- NEW!! ZUIKO DIGITAL ED 40-150 mm (80-300 mm) 1 : 4,0-5,6
- ZUIKO DIGITAL 35mm Macro (70 mm) 1 : 3,5

* K červenci 2006

** Hodnoty v závorkách označují ekvivalentní ohnisko na 35mm fotoaparátu

Ilustrační obrázky některých technických zařízení k tomuto článku jsou uvedeny na 2. straně obálky.

Kontakt: Ondřej Typolt, marketingový ředitel, Olympus C&S, tel.: 221 985 252, e-mail: typolt@olympus.cz

Filozofie firmy Olympus

Jako špičkový výrobce profesionálních opticko-digitálních produktů je firma Olympus průkopníkem klíčových technologií v oboru zpracování obrazu a zvuku, endoskopii, mikroskopii, bioanalytice a diagnostice.

Značka Olympus představuje

- inovační opticko-digitální technologie, vynikající design a špičkovou kvalitu

- intenzivní orientaci na zákazníka a rychlou implementaci přání zákazníků a požadavků trhu
- kreativitu a originalitu při vývoji nových produktů a efektivních systémových řešení

Westland, S. – Ripamonti, C.: Computational Colour Science using MATLAB. John Wiley & Sons, New York 2004. 220 stran, ISBN: 0-470-84562-7, 85.00 USD

Kolorimetrické výpočty se široce používají v nejrůznějších oblastech vědy a techniky (optické zobrazování, barevná reprodukce, optické měřicí metody, apod.). Tyto výpočty se v současné době provádějí pomocí vhodných počítačových algoritmů. Předložená publikace se snaží ukázat možnost provádění jednoduchých i složitějších kolorimetrických výpočtů s pomocí výpočetního prostředí Matlab. Nesnaží se být učebnicí nebo teoretickou příručkou kolorimetrie, ale poskytuje a popisuje prostředky, jak provést konkrétní kolorimetrické výpočty a analýzy na počítači. Vzhledem k tomu je nutné, aby byl čtenář alespoň částečně obeznámen s teoretickými pojmy a základními principy kolorimetrie a prací s počítačovým systémem Matlab pro matematické modelování.

Kniha je tématicky rozčleněna na jedenáct kapitol, jež jsou doplněny obsáhlým seznamem odborné literatury o kolorimetrii a stručným věcným rejstříkem. Téměř každá kapitola je doplněna vytvořenými programy v Matlabu, které umožňují provádění příslušných kolorimetrických výpočtů.

Po úvodní kapitole, která se velmi stručně zabývá přehledem standardizovaných systémů, používaných pro měření barev podle norem Mezinárodní osvětlovací komise (CIE), je v druhé kapitole provedeno stručné opakování základů lineární algebry, zejména matematických operací s maticemi a vektory a řešení soustav lineárních rovnic, jelikož tyto operace se nejčastěji používají při nejrůznějších kolorimetrických výpočtech a transformacích. Třetí kapitola velmi stručně popisuje základní úvod do práce s Matlabem, který není ovšem ani zdaleka dostačující pro pochopení všech řešených problémů v knize. Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny teoretické vztahy a algoritmy pro výpočet trichromatických složek a souřadnic podle norem CIE. Dále se kapitola zaměřuje na interpolaci a extrapolaci kolorimetrických dat a zobrazování barevných souřadnic v trichromatických diagramech. Pátá kapitola se potom zabývá teoretickým vyjádřením a praktickým výpočtem prostorového rozdílu barev v barevných prostorech CIELAB a CIELUV, které se dají získat transformací standardizovaného barevného prostoru CIE 1931. V šesté kapitole jsou uvedeny teoretické modely a výpočty, jež se užívají v praxi pro vnímání barev při různých typech osvětlení. Sedmá až devátá kapitola poté postupně prezentují modely a algoritmy používané pro přiřazení barev generovaných pomocí počítačových displejů, digitálních kamer a tiskáren do barevných složek (CIE XYZ), které nejsou závislé na použitém zařízení. Desátá kapitola knihy se zabývá oblastí metod multispektrálního zobrazování, které umožňují získat spektrální informaci o objektu pozorovaném pomocí digitálních kamerových systémů. Poslední jedenáctá kapitola obsahuje seznam vytvořených počítačových programů pro kolorimetrickou analýzu, které jsou jako doplněk této knihy volně dostupné na internetové stránce <http://www.colourware.co.uk/compute/>.

Publikace popisuje různé algoritmy a matematické postupy v kolorimetrii a ilustruje praktické použití teoretických matematických modelů s použitím výpočetního systému Matlab. Je nutno poznamenat, že knihu vzhledem k její koncepci nemůže použít začátečník, který se s Matlabem a kolorimetrickou teorií ještě nesešel. Výhodou knihy je ovšem to, že všechny programy uvedené v knize jsou též volně dostupné na internetové stránce této publikace, což umožňuje čtenáři jejich přímé použití a případnou vlastní modifikaci. Důraz je kladen především na konkrétní použití a aplikaci výpočetních algoritmů nežli na teoretický popis dané problematiky. Kniha tedy není klasickou učebnicí kolorimetrie, ale spíše příručkou pro praktické použití vybraných kolorimetrických metod na počítači. Knihu a příslušné programy mohou využít jak pokročilejší studenti, tak odborníci zabývající se oblastí měření a vnímání barev.

J. Novák

Meschede, D.: Optics, Light and Lasers: The Practical Approach to Modern Aspects of Photonics and Laser Physics. Wiley-WCH Verlag, Weinheim 2004. 410 stran, ISBN: 3-527-40364-7, Cena: 75 EUR

Autor této publikace se pokusil o vytvoření vysokoškolské učebnice pro studenty fotoniky, aplikované optiky a laserové techniky, která by zahrnovala jak klasické partie optiky, tak vybrané partie z oblasti optoelektroniky a moderní optiky. Vzhledem k obrovskému rozsahu současné fotoniky jsou autorem vybrány pouze některé důležité oblasti, které jsou poté podrobněji probírány.

Kniha je tématicky rozčleněna na třináct kapitol a dva dodatky. Výklad je vhodně doplněn množstvím schématických obrázků a fotografií, které usnadňují čtenáři pochopení teoretické problematiky. Dále jsou v každé kapitole prezentovány řešené příklady, které slouží ke snadnějšímu pochopení a aplikaci teoretických vztahů použitých při výkladu v technické praxi. Na závěr knihy je uveden rozsáhlý seznam odborné literatury k dalšímu studiu a přehledný věcný rejstřík. Každá z kapitol knihy vždy začíná stručným teoretickým úvodem do probírané problematiky, ve kterém jsou vysvětleny základní pojmy a principy potřebné pro další výklad.

Úvodní kapitola se zabývá geometrickou (paprskovou) optikou, zejména základními principy a zákony geometrické optiky, elementárními optickými prvky (čochky, zrcadla, optická vlákna) a výpočtem průchodu paprsku složenou optickou soustavou. Druhá kapitola je částečně zaměřena na oblast tzv. vlnové optiky, zejména s ohledem na šíření elektromagnetických vln prostředím, polarizaci a difrakci světla. Ve třetí kapitole jsou rozebírány principy šíření světla v izotropním a anizotropním prostředí a princip optických modulátorů. Čtvrtá kapitola obsahuje stručně popis geometricko-optického zobrazování pomocí základních optických přístrojů (lidské oko, lupa, mikroskop, dalekohled) a popis základních typů aberací optického zobrazení. V páté kapitole jsou poté vysvětleny pojmy koherence a interference světla a jsou uvedeny některé aplikace interferenčních jevů v optických měřicích metodách. Šestá kapitola se stručně zaměřuje na interakci světla a látky, zejména pak na stimulovanou a spontánní emisi záření. V sedmé až deváté kapitole jsou vysvětleny základy fungování laserů a jsou popsány různé typy laserů, které jsou široce využívány v technické praxi. Desátá kapitola se zabývá vlastnostmi tepelných a kvantových detektorů elektromagnetického záření. V jedenácté kapitole se autor stručně zabývá metodami laserové spektroskopie. Poslední dvě kapitoly této knihy se zabývají oblastí nelineární optiky. Dva dodatky knihy poté obsahují partie z oblasti matematiky a základů kvantové fyziky, které jsou potřebné pro pochopení textu.

Publikace se snaží shrnout některé nejdůležitější poznatky z oblasti fotoniky do jedné relativně málo obsáhlé učebnice. Tomu je přizpůsoben i výklad, který je v některých místech až velmi stručný a některé důležité oblasti optiky jsou vynechány. I když je kniha psána srozumitelným a relativně hutným způsobem, je nutno poznamenat, že ji nelze vzhledem k jejímu charakteru použít jako komplexní učebnici nebo příručku fotoniky (jako např. knihu Saleh, Teich: Fundamentals of Photonics). Podle autora je kniha psána pro začátečníky v daném oboru, nicméně ani začátečník nemůže tuto knihu číst bez alespoň základních znalostí z optiky a kvantové fyziky nebo bez další podpůrné odborné literatury. Knihu je tak možno doporučit studentům optiky a souvisejících oborů pouze jako podpůrnou studijní literaturu, resp. příručku, kde lze nalézt relativně stručně vysvětlenou danou problematiku s vazbou na aplikace v nejrůznějších oblastech vědy a techniky.

J. Novák

SVÁTEK STROJÍRENSTVÍ V PRAZE – tentokrát v dubnu 2007



Změny znamenají budoucnost...toto je budoucnost:

FOR INDUSTRY 2007

Vážení obchodní partneři, vystavovatelé,

dovolujeme si Vám oznámit, že v termínu **od 11. do 13. dubna 2007 pořádá ABF, a.s. v areálu PVA Letňany následující akce:**

- **FOR INDUSTRY – veletrh strojírenských technologií**
- **FOR SURFACE – veletrh strojů, zařízení a technologií pro povrchové úpravy**

V tomto termínu se v areálu PVA Letňany nebude konat žádný další veletrh.

Nabízíme Vám plynulé pokračování spolupráce se zkušeným obchodním týmem, který se Vám věnoval v předchozích letech a je připraven zodpovědně zajistit Vaši prezentaci.

Těšíme se na vzájemnou spolupráci a na Vaši účast.

Ing. Pavel Sehnal
předseda představenstva ABF, a.s.

Ing. Hana Pokorná
ředitelka OT Průmysl

Ing. Miloslava Veselá
generální ředitelka ABF, a.s.

Ing. Regina Matoušková
manažerka veletrhu

FOR SURFACE 2007

PVA Letňany

- osvědčená adresa pro úspěšnou prezentaci a reprezentativní nabídku v oblasti strojů, zařízení, nástrojů a komponentů pro strojírenství, povrchové úpravy a metalurgii

Výhody

- termín, kdy není omezeno vystavování strojů pravidly veletrhu EMO Hannover 2007 (Výrobci vystavující kovoobráběcí stroje na veletrhu EMO nemohou v témže roce, během pevně stanoveného 6měsíčního období od 1. 5. do 31.10., přímo nebo nepřímo, vystavovat obráběcí a tvářecí stroje na jakékoli výstavě organizované v členské zemi CECIMO.)
- pokračování spolupráce se zkušeným obchodním týmem, který se Vám věnuje již od roku 2000
- možnost konzultace umístění expozice
- projednání individuální doby pro návoz a odvoz těžkých, objemných a náročných exponátů

Záruky

- pořádkující veletržní správa ABF, a.s. je majitelem Pražského veletržního areálu Letňany, má dlouhodobou tradici a zkušenosti na poli organizace výstav a veletrhů, vlastní odpovídající zázemí a nabízí kvalitní realizační servis.
- přípravu veletrhů FOR INDUSTRY a FOR SURFACE zajišťují vzájemná spolupráce se špičkovými specialisty z odborných svazů, sdružení, cechů, vysokých škol a s významnými výrobci a dovozci.
- mediální kampaň veletrhů FOR INDUSTRY a FOR SURFACE zahrnuje propagaci ve více než 60 odborných titulech a webech. Návštěvníci veletrhů budou osloveni billboardy na hlavních dálničních tazích a přímé pozvání s čestnou vstupenkou direct mailem obdrží na 20 000 obchodníků a odborníků.

ABF, a.s., veletržní správa, Václavské nám. 29, 111 21 Praha 1, pracoviště: Mimoňská 645, 190 00 Praha 9 – Prosek, tel.: 222 891 264-6, fax: 222 891 199, e-mail: forindustry@abf.cz, www.abf.cz

CONTENTS

Considerable anniversary of Professor Jan Peřina (Z. Hradil, Z. Bouchal)	295
XVth Czech-Polish-Slovak Conference on Optics (M. Jedlička)	295
Comparison of simulations of total joint artificial wear with results of its measurement by the optical 3D methods (D. Mandát, M. Pochmon, M. Hrabovský, T. Rössler).....	297
The paper gives the comparison of results of total joint artificial wear measurement with simulation carried out using the knowledge of its mechanical wear. The used methods are the 3D scanning profilometry topografie and Fourier profilometry. The results are compared with the latest used measurement method – gravimetry. The uncertainties of methods are not introduced in text but only the primary results of measurements, which are the basic of methodology of verification of possibility of application of these methods for the given purpose.	
Visual clarity improvement of electronic radiograms (J. Sedláček).....	299
Interference modulated laser beam in moiré topography (L. Bartoněk, J. Keprt)	302
More effective method for description of the form of a 3D object and curved surface, than shadow moiré topography, was proposed. Interference modulated laser beam that illuminates reference plane screen and the object using modification of the interference pictures by means of maxima of interference fringes, enables characterization of the object by map of contour lines. Due to the change of the position of contour lines by shift of original phase we get more precisely description of the 3D surface and also the space imagine of the studied object.	
Conference EOS Topical Meeting 2006 in Paris (J. Pala)	307
An influence of double imaging on the optical transfer function (R. Melich, Z. Melich).....	308
Prisms or prism systems in optical systems are used in different fields of science and engineering very frequently. Their technological deviations (e.g. degree of deviation between sides, etc.) induce an image doubling. In this paper we present a detailed analysis of the image doubling influence on the Modular Transfer Function (MTF) of the optical system. Relations that enable to determine the acceptable technological tolerances of optical prism elements so that allowed image doubling does not create the unacceptable decrease of MTF of optical system under a test are derived.	
Measurement of the spectrum of luminescent diode by means of interference spectroscopy (P. Pavlíček, O. Hýbl).....	312
The article describes the measurement of spectrum of a luminescent diode by means of interference spectroscopy. The form of the spectral density is determined from the measured autocorrelation function. The autocorrelation function is measured by means of Michelson interferometer. Basic relations for the calculation of spectral density from the measured autocorrelation function are derived. The focus of the article is concentrated on the correct setting of sampling parameters of the interference spectrometer.	
Compact optical tweezers (M. Šerý, Z. Lošťák, M. Kalman, P. Jákl, P. Zemánek).....	316
In this article we present laser diode based tool for optical manipulation with microobjects. This tool is very suitable for micromanipulations with large spectrum of specimens in the diameter range 0.5 - 30 µm. Adapter is directly mounted to the microscope without any additional improvements and fits to many commercially available microscopes. Key feature of this adapter is compactness, usability and simple handling. With this adapter user takes advantage of wide spectrum of commercially available laser diodes with different wavelengths. For this reason the tool can be used in many areas such as biology, medicine and measurements.	
Surface topography optical identification generated by abrasive waterjet (J. Valíček, S. Hloch)	320
The paper deals with a newly developed optical no-contact measurement method and its importance in comparison with classical measurement by contact profilometer used for quality measurement of the surfaces created by abrasive waterjet technology. There are defined and determined measured parameters, the way of creating a database of values measured, the way of data statistical and analytical processing for optimising the technology, improving the quality of output control.	
Measuring technique for quality control	322
Relationship analysis of tooled surface morphology and time cutting (M. Gombár)	323
The article deals with relation identification of cutting time and morphology of tooled surface, expressed by surface roughness profile parameters – average roughness and creation of mathematical – statistical model of the investigated dependence.	
Estimation of abrasive waterjet technology factors significance at the cutting of aluminum and stainless steel (S. Hloch, J. Valíček)	326
Article deals with an estimation of abrasive waterjet technology factors significance at the cutting of aluminum and stainless steel by means of factor analysis.	
Hydration System for Environmental Scanning Electron Microscopes (V. Neděla, J. Maxa)	329
The paper is concerned with description of the unique hydration system suitable in particular for observation of specimens in a moist/liquid state and for realization of certain dynamic „in situ” experiments, using the environmental SEM type microscopes. Water vapour pressure values were measured in the microscope specimen chamber, depending on valve opening and water vapour temperature, thus proving capability of fine pressure control by the system. We also demonstrate a wide scope of practical applications of the system.	
Olympus E-400: The smallest digital reflex camera on the world	332
From technical library (J. Novák).....	334
ENGINEERING FEAST IN PRAHA - this time in April 2007	335

Skálava 89, 511 01 Turnov, Czech Republic, e-mail: vod@cas.cz, www.optikavod.cz
tel.: +420 481 322 622, fax: +420 481 322 913

Vývojová optická dílna se více než 40 let zabývá vývojem a výrobou optických prvků na zakázku, převážně v kusovém a malosériovém množství. Jsou uvedeny příklady optických prvků, jejichž zhotovení je možné objednat:

Krystalová optika, hlavně z křemene a vápence, například:

- monochromatické dvojlomné polarizační filtry Šolcova a Lyotova typu, používané v astronomii, laserové technice a speciálních aplikacích, pro vlnový rozsah 280-2500 nm, s pološířkou 0,05 - 10 nm
- přesné fázové destičky $\lambda/4$ a $\lambda/2$ i s obecnou hodnotou fáze, pro požadovanou vlnovou délku, jednoduché i složené, z krystalického křemene, používané k úpravám stavu polarizace
- klasické krystalické polarizátory a depolarizátory pro širokou spektrální oblast. Jednopaprskové polarizátory (Nicol, Glan, Glan-Thompson, Frank-Ritter, Foster) i dvojpaprskové (Rochon, Sénarmont, Wollaston) včetně speciálních úprav, využitelné ve funkci dokonalých polarizujících prvků a děličů svazku
- Savartovy dvojdesky, používané ke konstrukci polariskopů a interferometrů
- Nakamurovy a Soleilovy dvojdesky pro velmi přesné vyhodnocení polarizačního stavu světla
- kompenzátory Soleilovy, Babinetovy a Šolcovy, sloužící k plynulému nastavení či měření hodnoty fázového zpoždění
- dvojlomné destičky pro chromatickou polarizaci na principu dvojlomu i rotační polarizace, využívané například ke kalibračnímu proměnnému nastavení jemných odstínů požadovaných barev
- obecné výbrusy z dvojlomných materiálů, orientované dle speciálních požadavků.

Klasické optické prvky z optických skel, taveného křemene i ostatních optických materiálů (Si, Ge, CaF₂, Sital, plasty atd.), k sestavení prototypů a menších sérií přístrojů, zejména:

- jednoduché čočky, čočky s minimalizovanými vadami, dublety a složené vícečočkové soustavy, asférické čočky
- planoparalelní desky, klíny a hranoly včetně spektrálních, optické kyvety, optické koule
- zrcadla rovinná, sférická, asférická
- torické a válcové plochy čoček a zrcadel (pouze do průměru < d80 mm)
- fóliové polarizátory
- barevné a neutrální filtry a klíny
- optické soustavy přístrojů obsahující uvedené optické prvky.

Laserová optika (kromě krystalových rezonátorů), například: zrcadla rezonátorů, průhledy, zrcadla, čočky, díly rezonátorových trubíc, Brewsterova okénky, klasické polarizátory, kontinuální děliče. Optické prvky jsou optimalizované pro použitou vlnovou délku a obrobeny s maximální proleštěností a čistotou ploch.

Astronomická optika pro sestavení všech typů astronomických přístrojů, hlavně zrcadlové, čočkové a zrcadlo-čočkové objektivy, speciální okuláry, čočkové a hranolové převracející soustavy, filtry barevné i neutrální absorpční, včetně sad fotometrických filtrů UBVRIN. Úzkopásmové interferenčně-polarizační filtry (protuberanční i chromosférické). Hranoly jednoduché i spektrální. Pokovení zrcadel, včetně tvrdé ochranné vrstvy.

Rentgenová optika, zejména objektivy ke konstrukci teleskopů a mikroskopů, pracujících přímo se zobrazujícími rentgenovými svazky. Tyto zrcadlové optické prvky využívající tečných paprsků, jsou používané hlavně pro kosmický výzkum a aplikace ozařování (ve spolupráci s fy Reflex s.r.o.).

Optika tenkých vrstev - interferenční úzkopásmové filtry, filtry hradicí, dielektrická i kovová zrcadla, děliče, antireflexní vrstvy.

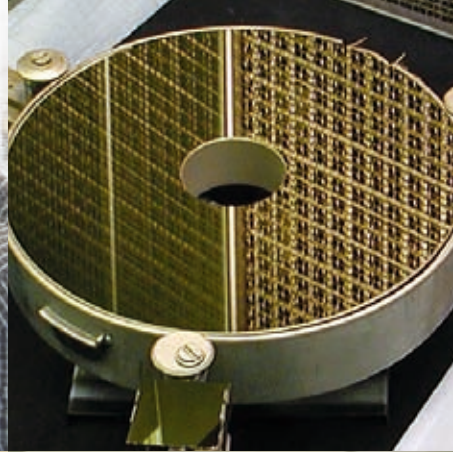
Čočky z plastických hmot, hlavně z PMMA a styrenu vyráběné stříkáním (spolupráce s fy Creaplast).

Technická poradenská služba - návrhy a konzultace optických dílů a soustav. Měření optických parametrů optických dílů a soustav. Posudky v oblasti optických přístrojů. Měření vnitřního nnutí, šlíř, indexu lomu, spektrální propustnosti optických materiálů.

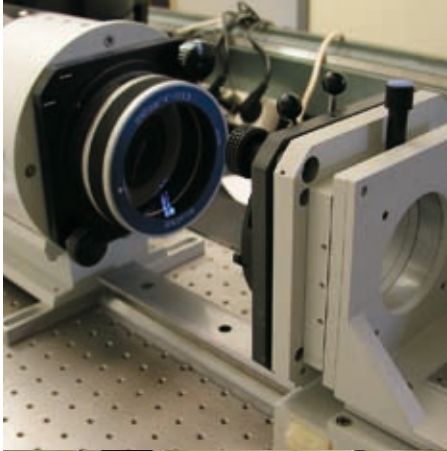
Diskuse nad
optickými krystaly



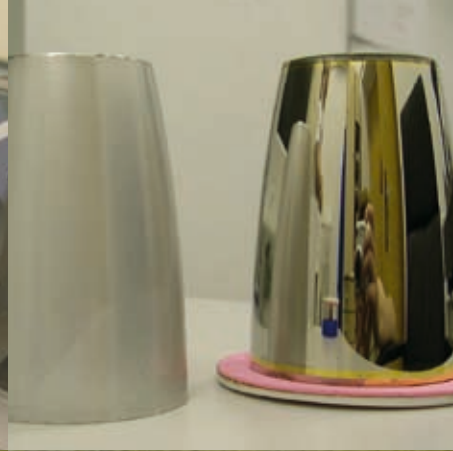
Přesné paraboloidické zrcadlo
pro IČ obor



Sférointerferometr firmy
Fisba umožňuje přesnou
kontrolu tvaru



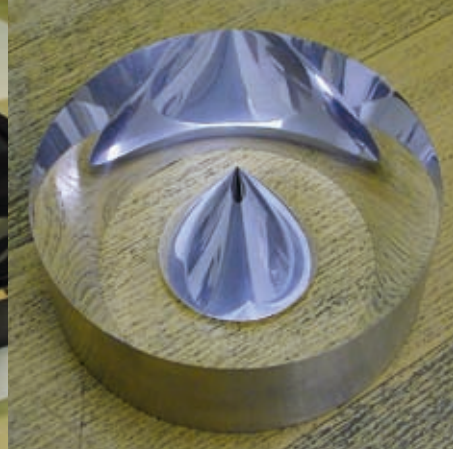
Polotovary RTG kolimačních
asférických zrcadel



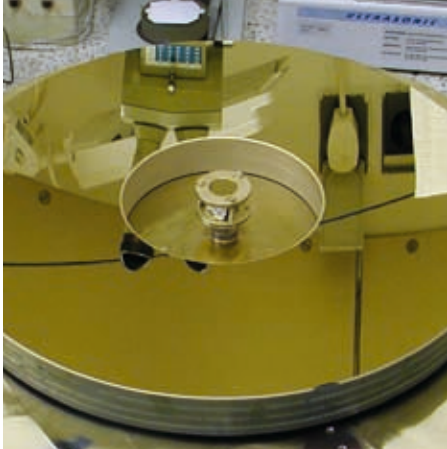
RTG kolimační objektivy



Kuželová zrcadlová optika



Asférické zrcadlo Cassegrainova
teleskopu d 500



Práce s mikroskopem s digitálním
odečtem rozměrů

