

Zveme Vás na veletrh nejmodernějších technologií

13. - 16. 4. 2010

PVA Letňany Praha

 **OPTONIKA**

1. mezinárodní veletrh optických technologií a aplikací

Souběžně probíhající veletrhy

AMPER[®] 2010

18. mezinárodní veletrh elektrotechniky a elektroniky

COMMTEC

1. veletrh komunikačních technologií



 **TERINVEST**
prestížní veletrhy.com

REDAKČNÍ RADA

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

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

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

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

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

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

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

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

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

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

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

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

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

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - EF, Univerzitní 1, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.utc.sk

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

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

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2009

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 54 11 - 12/2009

OBSAH

OPTONIKA 2010 – veletrh optických technologií a aplikací poprvé v ČR	303
Vlnová dynamika elektronů a fotonů v jednotném rámci jednočásticové nerelativistické Schrödingerovy rovnice (J. Pospíšil, K. Šafařová).....	304
Technický boroskop - optická část zařízení na monitorování spalovacích procesů (J. Keprt, L. Pospíšil, S. Zábaj, L. Bartoněk, J. Hradil, P. Pospíšil, M. Švarc, P. Fuchs, Š. Bloch).....	308
ICO Topical meeting Emerging trends & Novel materials in Photonics (2009 Delphi Photonics) (P. Tománek).....	311
Heliový kryostat pro studium turbulentního proudění při přirozené konvekci (P. Urban).....	312
Coulombovské interakce elektronů v blízkosti Schottkyho katody (I. Liška, P. Adamec, B. Lencová).....	315
OPTA se stěhuje do většího pavilonu (M. Střítecký).....	318
EOS Annual Meeting 2009 (M. Jedlička, P. Tománek).....	319
Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci (R. Kubínek, P. Horváth).....	320
Hodnocení strukturních změn v epoxidové pryskyřici sledováním vnitřního tlumení (D. Kroisová).....	322
V Rusku se připravuje ke startu Industrial Trade Fair Moscow (B. Mahnken).....	324
Měření drsnosti obrobených ploch optickou metodou založenou na fázové vizualizaci (J. Valíček, M. Držák, P. Hlaváček, M. Kušnerová).....	325
Uplatnenie simulačného systému v procese experimentálneho merania (R. Krehel, J. Dobránsky).....	329
EMO MILANO 2009 (J. Kür).....	332
Problematika využití biopaliv pro aplikace ve vznětových motorech a jejich emisní analýza (V. Hönig, J. Hromádka, J. Hromádka).....	333
„Virtuální násobič pixelů“ zvyšuje rozlišení (P. Pavlíček).....	338

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

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

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, 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.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Bohumila LENCOVÁ - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), František MÁČA, Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Miroslav MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STUĐENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

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

FINE MECHANICS AND OPTICS

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

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

Editor: Miroslav HRABOVSKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

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

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

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

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

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

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

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

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2009

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 54 11 - 12/2009

CONTENTS

OPTONIKA 2010 – trade-fair of optical technologies and their applications for the first time in the Czech Republic	303
Wave dynamics of electrons and photons under unified framework of the one-particle nonrelativistic Schrödinger equation (J. Pospíšil, K. Šafářová)	304
Technical boroscope – optical part of the device for combustion processes monitoring (J. Kepřt, L. Pospíšil, S. Zábaj, L. Bartoněk, J. Hradil, P. Pospíšil, M. Švarc, P. Fuchs, Š. Bloch).....	308
ICO Topical meeting Emerging trends & Novel materials in Photonics (2009 Delphi Photonics) (P. Tománek)	311
Helium cryostat for experimental study of natural turbulent convection (P. Urban).....	312
Coulomb interactions of electrons in the vicinity of the Schottky source (I. Liška, P. Adamec, B. Lencová).....	315
OPTA moving in the larger fair pavillon (M. Střítecký)	318
EOS Annual Meeting 2009 (M. Jedlička, P. Tománek)	319
New technologies in applied physics at Faculty of Science of Palacky University in Olomouc (R. Kubínek, P. Horváth)	320
An Internal Damping Observation as a Method of Characterization Epoxy Resin Structure Changes (D. Kroisová).....	322
Industrial TradeFair Moscow gets ready for launch in Russia (B. Mahnken).....	324
Roughness Measurement of the Machined Areas by Optical Method Based on Phase Visualization (J. Valíček, M. Držík, P. Hlaváček, M. Kušnerová).....	325
Application of simulation system in the experimental measurement process (R. Krehel, J. Dobránský)	329
EMO MILANO 2009 (J. Kůr).....	332
Problems of biofuels usage in applications for diesel engines and their emission analysis (V. Hönig, J. Hromádka, J. Hromádka).....	333
“Virtual pixels multiplier” can improve the resolution (P. Pavlíček)	338

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

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531.

Price for single copy: 80 Kč incl. VAT

OPTONIKA 2010 – veletrh optických technologií a aplikací poprvé v ČR



Vzhledem k prudce se rozvíjejícím optickým oborům, jejichž aplikace sledujeme dnes a denně v mnoha průmyslových odvětvích, se veletržní správa Terinvest spol. s r.o. rozhodla zařadit do svého kalendáře jarních veletrhů nový **mezinárodní veletrh optických technologií a aplikací OPTONIKA 2010**. Tento veletržní projekt, který zatím nemá v České republice obdobu, se bude konat souběžně s tradičním 18. mezinárodním veletrhem elektrotechniky a elektroniky AMPER 2010 v termínu 13. – 16. 4. 2010 v PVA Letňany Praha.

Zeptali jsme se přímo generálního ředitele Terinvestu Ing. Jiřího Švivy, co ho vedlo k tomu, pustit se do tohoto veletržního projektu?

Již delší dobu sleduji rostoucí význam optiky v nejrůznějších odvětvích průmyslu a vidím v této prudce se rozvíjející oblasti, zejména v oblasti průmyslových aplikací optiky, silný potenciál do budoucna. Vzhledem k tomu, že v České republice zatím takto zaměřený veletržní projekt není, chápu to jako velkou výzvu a nejen to. Ve spolupráci s naším odborným partnerem časopisem JMO chceme umožnit firmám, které se touto oblastí zabývají, kvalitní prezentaci svých nejnovějších trendů a novinek v kvalifikovaném prostředí, které zajišťuje právě oborově velmi úzce spjatý veletrh AMPER 2010, jehož masivní účast tvoří každoročně především odborná veřejnost.

Na jaké konkrétní oblasti optiky bude veletrh OPTONIKA 2010 zaměřen?

Nomenklaturu nového veletrhu jsme se snažili ušít na míru především českým firmám zabývajících se aplikacemi optiky v průmyslu – optické materiály a komponenty, optomechanika a optoelektronika, fotovoltaika, vláknová optika, laserové technologie, optická přenosová a informační technologie a další. Jelikož trendy v oblasti optiky se velmi rychle vyvíjí, jednotlivé oblasti nomenklatury hodláme neustále aktualizovat v souladu s vývojem a tržní poptávkou.

Zmiňujete odbornou účast na veletrhu AMPER. Jak plánujete zajistit účast odborníků z oblasti optiky a mediální podporu tohoto projektu?

Nutnou přípravou každého odborného veletrhu je spolupráce s renomovanými asociacemi, organizacemi a médii. Na veletrhu OPTONIKA 2010 jednáme s **Českou a slovenskou společností pro fotoniku (ČSSF), Ústavem fotoniky a elektroniky AV ČR**

a s předními odborníky z **Fyzikálního ústavu AV ČR**. Tento veletrh bude jednak podpořen rozsáhlou souběžnou kampaní v rámci veletrhu AMPER 2010 a také samostatnou kampaní nejen v tuzemsku, ale projekt propagujeme také prostřednictvím mediálních partnerů v zahraničí. V tuzemsku spolupracujeme s řadou odborných periodik v čele s časopisem **Jemná mechanika a optika**, dále časopisy **ELEKTRO, AUTOMA, SVĚTLO, Elektrotechnický magazín, Elektrotechnika v praxi, Automatizace, Technický týdeník, Technika a trh, MM Průmyslové spektrum** a mnoha dalšími. V zahraničí to je např. německý časopis **Netz Praxis**, v Polsku **Spektrum, Electronica Oggi** v Itálii, **Electronic Technology** v Číně, dále **EP&DEE, ELEKTRONet, Eurokontakt, Elektronik** a další.

V současné době dojednáváme spolupráci se zahraničními odbornými organizacemi - European Optical Society (EOS), Commission for Optics (ICO) s odbornými magazíny Optics & Laser Europe magazine, Photonics Spectra a dalšími.

Plánujete nový veletrh spojit také s odbornými konferencemi, jak je to obvyklé u velkých německých veletrhů – např. Laser World of Photonics v Mnichově?

Ano, cílem tohoto nového projektu je nejen přehlídka nejnovějších trendů a aplikací v oblasti optiky, ale připravujeme řadu přednášek a konferencí pro odborníky z výzkumu i praxe. V tomto směru jednáme s **Českou a slovenskou společností pro fotoniku (ČSSF), Ústavem fotoniky a elektroniky AV ČR** a s **Fyzikálním ústavem AV ČR**.

Osobně věřím, že veletrh OPTONIKA 2010 zprostředkuje dostatek příležitostí ke kvalitní marketingové komunikaci a získávání obchodních kontaktů na mezinárodní úrovni.

Více informací o novém veletrhu naleznete na www.optonika.cz.

NOMENKLATURA VELETRHU OPTONIKA 2010

1. Optické materiály
2. Optické komponenty
3. Optomechanické komponenty
4. Optoelektronické komponenty
5. Fotovoltaické komponenty
6. Optické aplikace
7. Optické systémy
8. Technologie výroby optiky

Vlnová dynamika elektronů a fotonů v jednotném rámci jednočásticové nerelativistické Schrödingerovy rovnice

Článek prezentuje některé analogické formy jednočásticové nerelativistické trojrozměrné časově nestacionární a stacionární Schrödingerovy kvantové rovnice pro vodivostní elektrony a fotony v přiměřených homogenních nebo nehomogenních a izotropních látkových prostředích. Jejich interpretace a srovnání umožňují usuzovat na podmínky pro přímý vzájemný převod některých si odpovídajících charakteristických veličin a funkcí.

1. ÚVOD

Analogie, tj. obdoby existencí některých stejných vlastností u jinak netotožných objektů a jevů, mohou být v tomto článku uvažovaných případech vlnové dynamiky (vlnového šíření) vodivostních elektronů (elektronových vln) a optických fotonů (optických vln) studovány klasicky například využitím nerelativistických Maxwellových elektromagnetických rovnic (viz např. [1-11]). Je však užitečný i fakt, že lze zjistit i analogie mezi jistými jevy mikroelektroniky a optiky v jednotném rámci jednočásticové nerelativistické Schrödingerovy kvantově-mechanické rovnice [2, 4, 5, 7-15]. Takový sjednocený kvantový přístup k vlnové nerelativistické dynamice elektronů a fotonů je pro některé trojrozměrné případy naznačen v následujícím textu. Jde o šíření elektronů v přiměřeném izotropním kovovém prostředí a v případě šířících se fotonů je uvažováno přiměřené izotropní dielektrikum. Přitom se předpokládá absence parazitních polí v těchto prostředích, která jsou obvykle postulována jako energeticky neabsorpční při jen elastickém (energeticky neztrátovém) rozptylu zmíněných částic, zachovávajícím koherenci přidružených vln [2-5, 14-17].

Článek obsahuje základní trojrozměrné tvary nerelativistické Schrödingerovy rovnice elektronu a potom je uvedeno odvození jejich formálně analogických fotonových modifikací. Tím, že zahrnují veličinu, která má roli potenciální (interakční, vazební) energie, bývá umožněn přímý převod mnoha typických kvantově-mechanických výsledků pro elektrony (obecně pro látkové částice) do optické oblasti pro polní (elektromagnetické) částice (fotony) [18].

2. ZÁKLADNÍ TROJROZMĚRNÉ TVARY NERELATIVISTICKÉ SCHRÖDINGEROVY ROVNICE PRO ELEKTRON

Z kvantové mechaniky je známé (viz např. [12-15]), že struktura základního trojrozměrného tvaru časově nestacionární (časově závislé, úplné, časoprostorové) nerelativistické Schrödingerovy rovnice představuje zákon časové změny fyzikálního stavu látkové částice (případně systému látkových částic). Je charakteristická tím, že splňuje tato základní strukturální kritéria: Je to lineární parciální diferenciální rovnice prvního řádu podle času t dané částici přidružené obecně komplexní charakteristické vlnové (účinkové) funkce $\psi = \psi(\mathbf{r}, t)$ v místě o polohovém vektoru $\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z)$ v pravouhlé souřadné soustavě (x, y, z) , v němž působí potenciálové energetické pole (potenciální energie) $\mathcal{U}(x, y, z)$. Též zahrnuje prostorový člen, obsahující parciální derivace druhého řádu vlnové funkce $\psi = \psi(\mathbf{r}, t)$ se zřetelem k prostorově proměnným souřadnicím (x, y, z) , a setrvačnou nerelativistickou hmotnost m částice. Jde o kvantovou pohybovou (dynamickou) rovnici (neboť obsahuje Diracovu kvantovou konstantu \hbar , související s Planckovou kvan-

tovou konstantou h vztahem $\hbar = h/2\pi$), která v limitním přechodu $\hbar \rightarrow 0$ přechází v odpovídající klasickou pohybovou (vlnovou) rovnici. V uvažovaném případě absence jiných energetických polí její základní tvar je

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + \mathcal{U}(\mathbf{r}, t) \right] \psi(\mathbf{r}, t), \quad (1)$$

kde $i = (-1)^{1/2}$ je imaginární jednotka a symbol

$$\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2)$$

reprezentuje Laplacův skalární diferenciální (del) operátor v souřadné soustavě (x, y, z) , který je skalárním součinem dvou Hamiltonových vektorových diferenciálních (nabla) operátorů typu

$$\nabla = \mathbf{x}^0 \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{y}^0 \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{z}^0 \frac{\partial}{\partial z}. \quad (3)$$

Přitom $\mathbf{x}^0, \mathbf{y}^0$ a \mathbf{z}^0 jsou jednotkové vektory ve směrech x, y a z .

Řešení rovnice (1), tj. vlnová funkce $\psi = \psi(\mathbf{r}, t)$, úplně a jednoznačně určuje fyzikální stav látkové částice [v tomto článku jde o vázaný vodivostní elektron vlivem vazebního potenciálového pole $\mathcal{U}(\mathbf{r}, t)$] při zadaných okrajových a počátečních podmínkách. Platí-li $\mathcal{U}(\mathbf{r}, t) = 0$, jde o volnou (nevázanou) látkovou částici (elektron).

V rámci běžné statistické interpretace vlnové funkce $\psi = \psi(\mathbf{r}, t)$ je požadováno splnění normovací podmínky

$$\int \psi^* \psi d^3\mathbf{r} = \int |\psi|^2 d^3\mathbf{r} = 1, \quad (4)$$

kde integrace se vztahuje na celý obor proměnné vlnové funkce $\psi = \psi(\mathbf{r}, t)$ a její komplexně sdružené formy $\psi^* = \psi^*(\mathbf{r}, t)$. Tato interpretace nutně vyžaduje, aby vlnová funkce splňovala standardní podmínky, tj. aby byla spojitá a měla spojitě derivace, byla jednoznačná a konečná. Příslušný součin

$$\rho = \psi^* \psi = |\psi|^2 \quad (5)$$

tvoří v kvantové mechanice hustotu pravděpodobnosti částice a výraz

$$\mathbf{j} = \frac{\hbar}{2im_0} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) \quad (6)$$

reprezentuje hustotu (vektor hustoty) toku pravděpodobnosti částice.

Jestliže potenciální energie $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r}, t)$ částice není funkcí času, tj. $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r})$, platí

$$\frac{\partial \hat{\mathcal{H}}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + \mathcal{U} \right] = 0. \quad (7)$$

Přítom

$$\hat{\mathcal{H}} = \mathcal{H}(\mathbf{r}) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + \mathcal{U}(\mathbf{r}) \quad (8)$$

je časově stacionární (časově nezávislá, nečasová, prostorová) forma časově nestacionárního Hamiltonova energetického kvantového operátoru (hamiltoniánu) $\hat{\mathcal{H}}(\mathbf{r}, t)$, která představuje kvantový operátor celkové energie W částice. V tomto případě lze rovnici (1) řešit metodou separace proměnných s vlnou funkcí ve tvaru

$$\psi(\mathbf{r}, t) = \Psi(\mathbf{r})\chi(t). \quad (9)$$

Její dosazení do rovnice (1) vede k vyjádření

$$i\hbar \frac{\partial \chi(t)/\partial t}{\chi(t)} = \hat{\mathcal{H}} \frac{\Psi(\mathbf{r})}{\Psi(\mathbf{r})} = W. \quad (10)$$

Odtud vyplývají dvě rovnice:

$$\hat{\mathcal{H}}\Psi(\mathbf{r}) = W\Psi(\mathbf{r}), \quad (11)$$

$$i\hbar \frac{\partial \chi(t)}{\partial t} = W\chi(t). \quad (12)$$

Z nich tvar (11) je rovnicí pro vlastní hodnoty W Hamiltonova operátoru $\hat{\mathcal{H}} = \mathcal{H}(\mathbf{r})$ a určuje časově stacionární energetické stavy částice v potenciálovém poli $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r})$, tj. stavy s určitou hodnotou celkové energie W .

Vyjádření (11) se nazývá časově stacionární (časově nezávislá, nečasová, prostorová) nerelativistická Schrödingerova rovnice a její názornější tvar lze získat dosazením součinu (9) do její časově nestacionární formy (1). Po jednoduché úpravě vychází vyjádření

$$\nabla^2 \Psi(\mathbf{r}) + \frac{2m}{\hbar^2} [W - \mathcal{U}(\mathbf{r})] \Psi(\mathbf{r}) = 0, \quad (13a)$$

neboli

$$\left[-\frac{\hbar^2 \nabla^2}{2m} + \mathcal{U}(\mathbf{r}) \right] \Psi(\mathbf{r}) = W\Psi(\mathbf{r}). \quad (13b)$$

Uvážíme-li řešení časově závislé rovnice (12) v monoenergetických tvarech

$$\chi_n(t) = \exp\left(-\frac{i}{\hbar} W_n t\right), \quad (14)$$

kde W_n jsou vlastní diskretní kvantované energetické hodnoty operátoru $\hat{\mathcal{H}} = \mathcal{H}(\mathbf{r})$ pro kvantová čísla $n = 0, 1, 2, \dots$, pak lze odpovídající vlastní diskretní kvantované hodnoty $\Psi_n(\mathbf{r}, t)$ vlnové funkce $\psi(\mathbf{r}, t)$ vystihnout pomocí součinu (9) ve formě

$$\Psi_n(\mathbf{r}, t) = \Psi_n(\mathbf{r}) \exp\left(-\frac{i}{\hbar} W_n t\right). \quad (15)$$

V ní vystupující člen $\Psi_n(\mathbf{r})$ tvoří vlastní časově stacionární diskretní kvantované vlnové funkce. Přítom se zřetelem k platnosti principu superpozice lze též akceptovat sumy

$$\psi(\mathbf{r}, t) = \sum_n c_n \Psi_n(\mathbf{r}, t) = \sum_n c_n \Psi_n(\mathbf{r}) \exp\left(-\frac{i}{\hbar} W_n t\right), \quad (16)$$

kde znaky c_n reprezentují reálné součinitele rozkladu.

Z rovnice (15) vyplývá, že exponenciální časová závislost vlastní vlnové funkce $\Psi_n(\mathbf{r}, t)$ pro časově stacionární kvantový stav $\Psi_n(\mathbf{r})$ jednoznačně závisí na vlastní energii W_n tohoto stavu. V takovém stavu veličiny (5) a (6) a i střední hodnota nebo pravděpodobnost určité hodnoty libovolné fyzikální veličiny jsou nezávislé na čase.

Kvantovaná časově stacionární vlastní vlnová funkce $\Psi_n = \Psi_n(\mathbf{r})$ látkové částice, splňující rovnice (13) a (15) a vztažená k potenciálovému poli $\mathcal{U}(\mathbf{r})$, může být vyjádřena v jednoduchém tvaru

$$\Psi_n(\mathbf{r}) = \exp(i\mathbf{k}_n \mathbf{r}) \quad (17)$$

o možném akceptování parabolického kvantového disperzního vztahu

$$W_n(k_n) = \frac{\hbar^2}{2m} k_n^2 + \mathcal{U}. \quad (18)$$

Přítom k_n jsou kvantované hodnoty vlnového (vlnočtového) směrového vektoru $\mathbf{k}_n = \mathbf{k}_n(k_n, k_n, k_n)$ pro příslušnou látkovou částicovou vlnu a dané okrajové podmínky v homogenním a izotropním prostředí, kdy $\mathcal{U} = \text{konst.}$, nebo v nehomogenním a izotropním prostředí pro $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r} = \text{konst.})$. Při slabém potenciálovém poli lze uvažovat rovnost $\mathcal{U} \approx \mathcal{U}(\mathbf{r}) = 0$ [1, 2, 4, 9, 12]. Jestliže se však přihlídně k detailnímu mřížkovému rozložení $u_{\mathbf{k}_n}(\mathbf{r})$ funkce $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r})$ v atomové škále, je přiměřenější Blochovo řešení

$$\Psi_n(\mathbf{r}) = u_{\mathbf{k}_n}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k}_n \mathbf{r}). \quad (19)$$

3. FOTONOVÉ MODIFIKACE TROJROZMĚRNÉ NERELATIVISTICKÉ SCHRÖDINGEROVY ROVNICE

Předcházející relace jsou aplikovatelné na elektron v izotropním kovovém prostředí. K získání jejich analogických tvarů pro foton je přiměřené izotropní dielektrikum při odpovídající fotonové modifikaci jednočásticové nerelativistické časově nestacionární nebo časově stacionární trojrozměrné Schrödingerovy rovnice typu (1) nebo (13). K jejímu odvození lze využít klasickou vlnovou rovnici pro elektrickou složku elektromagnetické vlny o vektoru intenzity $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ v místě $\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z)$ a v čase t . Její užitečný obecný tvar může mít například podle publikací [2-5, 19, 20] formu

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{P}(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2}. \quad (20)$$

V ní

$$c = \frac{1}{(\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}} = v_f(\epsilon_r \mu_r)^{1/2} = v_f N \quad (21)$$

je rychlost elektromagnetické vlny ve vakuu, konstanty ϵ_0 a μ_0 jsou permitivita a permeabilita vakua, písmena ϵ_r a μ_r označují skalární relativní permitivitu a skalární relativní permeabilitu daného dielektrika o absolutní permitivitě a absolutní permeabilitě $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ a $\mu = \mu_0 \mu_r$ a o absolutním indexu lomu $N = c/v_f$ (pro vakuum je $\epsilon_r = 1$ a $\mu_r = 1$; zde uvažovanému nemagnetickému dielektriku lze přiřadit hodnotu $\mu_r = 1$). Veličina v_f reprezentuje fázovou rychlost zmíněné vlny v daném dielektriku, jejíž monofrekvenční (monovlnočtová, harmonická) forma o konstantní časové frekvenci f a úhlové frekvenci $\omega = 2\pi f$, vlnové délce λ a úhlovým vlnočtu $k = 2\pi/\lambda$ splňuje disperzní vztahy

$$k = \frac{\omega}{v_f} = \frac{N\omega}{c}, \lambda = \frac{v_f}{f} = \frac{c}{Nf}. \quad (22)$$

Veličina $\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$ na pravé straně rovnice (20) reprezentuje vektor elektricky indukované dipólové polarizace uvažovaného dielektrika, který pro vakuum je nulový ($\mathbf{P} = 0$).

Pro další úvahy je dostačující skalární tvar rovnice (20), tj.

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) E(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} \frac{\partial^2 P(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2}, \quad (23)$$

neboť v uvažovaném izotropním dielektriku mají vždy vektory \mathbf{E} a \mathbf{P} stejný směr. Přitom k dosažení požadované struktury pro časově nestacionární Schrödingerovu rovnici je nutné uvažovat jen slabou signálovou aproximaci elektrického pole $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ a přiměřené dipólové polarizace $\mathbf{P} = \mathbf{P}(\mathbf{r}, t)$. To znamená, že zatímco v případě odvozování tvaru (1) pro látkovou částici (elektron) musí být apriorně předpokládány malé energetické deviace od Einsteinovy energie mc^2 příslušné její hmotnosti m , ve fotonovém případě je třeba analogicky předpokládat malé frekvenční deviace od zvolené fixované optické frekvence $\omega_0 = 2\pi f_0$. Takže v případě fotonu lze veličiny \mathbf{E} a \mathbf{P} přiměřeně aproximovat tvary

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathcal{E}(\mathbf{r}, t) \exp(-i\omega_0 t), \quad (24)$$

$$\mathbf{P}(\mathbf{r}, t) = \mathcal{P}(\mathbf{r}, t) \exp(-i\omega_0 t). \quad (25)$$

V nich se předpokládá dostatečně pomalá časová závislost amplitudových veličin (obálek) $\mathcal{E}(\mathbf{r}, t)$ a $\mathcal{P}(\mathbf{r}, t)$ tak, aby bylo možné zanedbat jejich druhé časové derivace po dosažení vztahů (24) a (25) do rovnice (23). Výsledek takového dosažení lze napsat ve tvaru

$$i\hbar \frac{\partial \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m_0} \nabla^2 [\varepsilon_0 \mathcal{E}(\mathbf{r}, t)] - \frac{1}{2} \hbar \omega_0 \mathcal{D}(\mathbf{r}, t). \quad (26)$$

V něm veličina $\mathcal{D} = \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)$ má význam elektrické indukce uvažovaného dielektrika (dielektrické indukce, dielektrického posuvu), definované lineární relací

$$\mathcal{D}(\mathbf{r}, t) = \varepsilon_0 \mathcal{E}(\mathbf{r}, t) + \mathcal{P}(\mathbf{r}, t), \quad (27)$$

a

$$m_0 = \frac{\hbar \omega_0}{c^2} \quad (28)$$

reprezentuje v souladu s obecným Einsteinovým vztahem $W = m_0 c^2$ nerelativistickou hmotnost fotonu o energii $W = \hbar \omega_0$ a úhlové frekvenci ω_0 ve vakuu. Půjde-li o homogenní a izotropní a nemagnetické dielektrikum o konstantní relativní permitivitě

$$\varepsilon_r = \varepsilon_0 = \text{konst.}, \quad (29)$$

lze akceptovat vyjádření

$$\mathcal{D}(\mathbf{r}, t) = \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathcal{E}(\mathbf{r}, t) \quad (30)$$

a tudíž i vztah

$$\mathcal{P}(\mathbf{r}, t) = \varepsilon_0 (\varepsilon_r - 1) \mathcal{E}(\mathbf{r}, t). \quad (31)$$

Takže rovnice (26) nyní přechází na tvar

$$i\hbar \frac{\partial \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2\varepsilon_0 m_0} \nabla^2 - \frac{1}{2} \hbar \omega_0 \right] \mathcal{D}(\mathbf{r}, t). \quad (32)$$

Tvar (32) je formální analogií vyjádření (1). Představuje tudíž časově nestacionární nerelativistickou Schrödingerovu rovnici, modifikovanou pro foton o konstantní efektivní hmotnosti $\varepsilon_0 m_0$ a konstantní potenciální energii \mathcal{U} o hodnotě $-0,5\hbar\omega_0$ v homogenním a izotropním dielektriku o elektrické indukci $\mathcal{D} = \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)$. Formální přepis Schrödingerovy rovnice (1) pro elektron v modifikovanou Schrödingerovu rovnici (32) pro foton tedy vyžaduje využití převodů

$$\psi(\mathbf{r}, t) \rightarrow \mathcal{D}(\mathbf{r}, t), m \rightarrow \varepsilon_0 m_0, \mathcal{U}(\mathbf{r}, t) \rightarrow -\frac{1}{2} \hbar \omega_0. \quad (33)$$

Přitom poloviční hodnota $0,5\hbar\omega_0$ elektromagnetické energie fotonu v rovnici (32) vyplývá z toho, že jeho celková energie $\hbar\omega_0$ je

rovnoměrně rozdělena mezi jeho elektrickou a magnetickou složku.

V obecnějším případě, kdy v uvažovaném homogenním a izotropním dielektriku se projevuje i nějaká na konstantní veličině ε_0 nezávislá účelně minimalizovaná časoprostorová elektrická polarizační porucha $\mathcal{P}' = \mathcal{P}'(\mathbf{r}, t)$, lze akceptovat vztah

$$\mathcal{P}(\mathbf{r}, t) = \varepsilon_0 (\varepsilon_r - 1) \mathcal{E}(\mathbf{r}, t) + \mathcal{P}'(\mathbf{r}, t). \quad (34)$$

Splnění definice (27) pak zajišťuje podmínka typu

$$\varepsilon_0 \mathcal{E} = \frac{\mathcal{D} - \mathcal{P}'}{\varepsilon_0}, \quad (35)$$

jejíž dosazení do bezporuchové rovnice (26) vede k obecnější elektrickou polarizační poruchou modifikované trojrozměrné nerelativistické časově nestacionární Schrödingerově rovnici

$$i\hbar \frac{\partial \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2\varepsilon_0 m_0} \nabla^2 + \mathcal{U} \right] \mathcal{D}(\mathbf{r}, t). \quad (36)$$

V ní obsažený výraz

$$\mathcal{U} \mathcal{D} = -\frac{1}{2} \hbar \omega_0 \left(\mathcal{D} - \frac{c^2}{\varepsilon_0 \omega_0^2} \nabla^2 \mathcal{P}' \right) \quad (37)$$

vystihuje kvantový operátor potenciální energie (potenciálový operátor) $\hat{\mathcal{U}} = \hat{\mathcal{U}}(\mathbf{r}, t)$, který je přidružen veličině $\mathcal{D} = \mathcal{D}(\mathbf{r}, t)$. Jde obecně o lokální a nelineární časově nestacionární pseudopotenciálový operátor, který se v mnohočásticové fyzice nazývá vlastní energetická funkce. I když v mnohočásticových statistických soubořích je třeba rozlišovat, že elektrony jsou fermiony podléhající Pauliho kvantovému vylučovacímu principu a fotony představují bozóny bez platnosti tohoto principu (viz např. [5, 12-15, 21]), lze při jejich jednočásticových kvantových popisech účelně předpokládat jejich podobnost [5].

Záleží na okolnostech, kdy se potenciálový operátor $\hat{\mathcal{U}}$ v poruchové rovnici (36) zredukuje v obyčejnou časově stacionární potenciální energii $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r})$, závislou jen na polohovém vektoru \mathbf{r} . K tomu například dochází při platnosti rovnosti

$$\mathcal{P}' = \varepsilon_0 [\varepsilon_r(\mathbf{r}) - \varepsilon_0] \mathcal{E} \quad (38)$$

pro $\mathcal{P}' = \mathcal{P}'(\mathbf{r})$ a $\mathcal{E} = \mathcal{E}(\mathbf{r})$ a veličinu $\varepsilon_r(\mathbf{r})$ měnící se jen mírně se vzdáleností \mathbf{r} o velikostech řádově rovných vlnové délce fotonu. V tomto případě lze uvažovat relaci

$$\mathcal{D} = \mathcal{D}(\mathbf{r}) = \varepsilon_0 \varepsilon_r(\mathbf{r}) \mathcal{E}(\mathbf{r}) \quad (39)$$

a tudíž i vztah

$$\mathcal{P}'(\mathbf{r}) = \frac{\varepsilon_r(\mathbf{r}) - \varepsilon_0}{\varepsilon_r(\mathbf{r})} \mathcal{D}(\mathbf{r}). \quad (40)$$

Možná aproximace

$$\nabla^2 \mathcal{P}'(\mathbf{r}) = -\frac{\omega_0^2 \varepsilon_r(\mathbf{r})}{c^2} \mathcal{P}'(\mathbf{r}) \quad (41)$$

pak umožňuje vyjádření přiměřené efektivní potenciální energie $\mathcal{U} = \mathcal{U}(\mathbf{r})$, příslušející výrazu (37), výsledným tvarem

$$\mathcal{U}(\mathbf{r}) = -\frac{\hbar \omega_0 \varepsilon_r(\mathbf{r})}{2\varepsilon_0}. \quad (42)$$

Je třeba si při aplikaci vztahu (32) nebo (36) uvědomit, že přiměřená časově stacionární nerelativistická Schrödingerova rovnice pro foton o možných tvarech

$$\nabla^2 \mathcal{D}(\mathbf{r}) + \frac{2\varepsilon_0 m_0}{\hbar^2} [W - \hat{V}(\mathbf{r})] \mathcal{D}(\mathbf{r}) = 0, \quad (43a)$$

$$\left[-\frac{\hbar^2 \nabla^2}{2\varepsilon_0 m_0} + \hat{V}(\mathbf{r}) \right] \mathcal{D}(\mathbf{r}) = W \mathcal{D}(\mathbf{r}) \quad (43b)$$

platí pouze pro malé fotonové energie W , tj. pro

$$|W| \ll \hbar\omega_0. \quad (44)$$

V jiných fotonových případech by totiž zmíněné pomalé časové změny obálek $\mathcal{E}(\mathbf{r}, t) \approx \mathcal{E}(\mathbf{r})$ a $\mathcal{P}(\mathbf{r}, t) \approx \mathcal{P}(\mathbf{r})$ v relacích (24) a (25) nebylo možné předpokládat. Naproti tomu nějaká větší energetická omezení není nutné uvažovat u elektronů.

Vztahy (43) umožňují pro předpokládané izotropní dielektrikum zavést parabolický fotonový disperzní vztah

$$W(k) = \frac{\hbar^2}{2\varepsilon_0 m_0} k^2 - \frac{1}{2} \hbar\omega_0, \quad (45)$$

kteřý je nekvantovanou analogií kvantovaného elektronového disperzního vztahu (18) a který vyžaduje lineárně proměnné strmosti

$$\frac{dW(k)}{dk} = \frac{\hbar^2}{\varepsilon_0 m_0} k. \quad (46)$$

Přitom pro $k = k_0$ při platnosti relací

$$k_0 = \frac{\omega_0}{c} (\varepsilon_0)^{1/2}, \quad \omega_0 = \frac{m_0 c^2}{\hbar} \quad (47)$$

přechází tvar (46) v konstantní strmost

$$\frac{dW(k_0)}{dk_0} = \frac{\hbar c}{(\varepsilon_0)^{1/2}} = \text{konst.} \quad (48)$$

Takže lze pro hodnoty k blízké k_0 prakticky očekávat lineární disperzní vztah

$$W(k) \approx \frac{\hbar c}{(\varepsilon_0)^{1/2}} k - \frac{1}{2} \hbar\omega_0, \quad (49)$$

kteřý je možné pokládat za lineární aproximaci fotonového disperzního vztahu (45).

Zmíněné nutné energetické omezení (44) pro fotony a i jiné možné neanalogie vyžadují obezřetnost při přímých i zpětných převodech elektronové a fotonové vlnové dynamiky. Též je obecně potřebné kvalifikovaně přihlídnout k druhu, struktuře, geometrii, rozměrnosti a k funkčnímu využití daného látkového prostředí [2, 5, 12, 13, 18].

4. ZÁVĚR

Tento článek se týká některých formálně analogických tvarů jednočásticové nerelativistické trojrozměrné Schrödingerovy kvantové rovnice pro vodivostní elektrony a fotony v přiměřených izotropních a nehomogenních nebo homogenních objemných látkových prostředích. Tím, že všechny tyto tvary zahrnují potenciální energii částice, lze usuzovat na přímý vzájemný převod některých si odpovídajících charakteristických veličin a funkcí. Konkrétně jde

o sjednocenou interpretaci a srovnání analogických časově nestacionárních a časově stacionárních tvarů Schrödingerovy rovnice a jejich možných obecných a kvantovaných řešení (vlnových funkcí) a přiměřených disperzních vztahů. Zároveň je uvedeno odvození fotonových modifikací Schrödingerovy rovnice využitím klasické vlnové rovnice pro elektrickou složku elektromagnetické vlny a je diskutován vliv elektrické polarizační poruchy na výsledky. Vzhledem k prezentovanému nutnému energetickému omezení fotonů k získání jejich Schrödingerovy rovnice je nutná opatrnost při přímých převodech elektronové dynamiky do fotonové oblasti a zpět.

Článek vznikl v rámci spolupráce na řešení Výzkumného záměru FZÚ AV ČR č. AVOZ 10100522 a Projektu AV ČR číslo KAN 301370701.

Literatura

- [1] Klemperer O., *Electron Physics of the Free Electron*. Butterworths, London 1972.
- [2] Ishimaru A., *Wave Propagation and Scattering in Random Media*. Academic Press, New York 1978.
- [3] Kvasnica J., *Teorie elektromagnetického pole*. Academia, Praha 1985.
- [4] Rodriguez S., *Electron Theory of Solids*. Pardue Univ. Press, Pardue 1987-1988.
- [5] Van Haeringen W., Lenstra D. (Eds.), *Analogies in Optics and Microelectronics*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht 1990.
- [6] Jha S. S., *Properties in Optoelectronics*. World Sci. Publ. Comp., Singapore 1995.
- [7] John S., Toader O., Busch K., *Encyclopedia of Science and Technology*. Vol. 12. Academic Press, Berlin 2001.
- [8] Guozhong C., *Nanostructures and Nanomaterials*. World Sci. Publ. Comp., London 2004.
- [9] Datta S., *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2005.
- [10] De Los Santos H. J., *Principles and Applications of Nano-MEMS Physics*. Springer-Verlag, Dordrecht 2005.
- [11] Busch K., Powell A., Röthig C., Schön G., Weissmüller J. (Eds.), *CFN Lectures on Functional Nanostructures*. Vol. 1. Springer-Verlag, Berlin 2005.
- [12] Marcuse D., *Principles of Quantum Electronics*. Academic Press, New York 1980.
- [13] Mitin V.V., Kochelap V.A., Strosio M.A., *Quantum Heterostructures-Microelectronics and Optoelectronics*. Cambridge Univ. Press, New York 1999.
- [14] Schiff L.I., *Quantum Mechanics*. McGraw-Hill Book Comp., New York 1955.
- [15] Formánek J., *Úvod do kvantové teorie*. Části I a II. Academia, Praha 2004.
- [16] Schwarzschild B., *Physics Today*, **41**, 1988, 17.
- [17] Webb R.A., Washburn S., *Physics Today*, **41**, 1988, 46.
- [18] Mandel L., Wolf E., *Coherence and Quantum Optics*. Plenum Press, New York 1990.
- [19] Fuka J., Havelka B., *Elektřina a magnetismus*. SPN, Praha 1965.
- [20] Štrba A., *Všeobecná fyzika 3-Optika*. Alfa, Bratislava a SNTL, Praha 1979.
- [21] Kvasnica J., *Statistická fyzika*. Academia, Praha 1983.

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav Pospíšil, DrSc., Mgr. Klára Šafařová, katedra experimentální fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého a Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc; tel. 585 634 283; e-mail: pospis@prfnw.upol.cz

Technický boroskop - optická část zařízení na monitorování spalovacích procesů

Předložený článek navazuje na práci [1] Optická soustava boroskopu I, přičemž uvádí schéma mechanické stavby tubusu, hlavy boroskopu s clonou a posledního zobrazovacího členu. S hlavou boroskopu je měchem spojena barevná CCD kamera, která přenáší barevné signály a složený bílý signál na obrazovku počítače, resp. jeho barevné složky (červenou, zelenou a modrou) a jejich intenzity. Monitorovaný obraz pak dává dokonalejší informace o kvalitě plamene a pomocí nich umožňuje efektivnější ovlivňování účinnosti a ekologie spalovacího procesu.

Klíčová slova: Boroskop, mechanicko-optická soustava, tubus, hlava boroskopu, barevná CCD kamera, spektrální složky obrazu plamene, spalovací proces

1. ÚVOD

Zvyšování účinnosti spalovacích procesů v různých odvětvích techniky a průmyslu (tepelné elektrárny, teplárny, cementárny, chemické provozy, spalovny odpadu, hutnictví a pod.) se v současné době neobejde bez zařízení, které spalovací proces v reálném čase sleduje, přičemž na základě fyzikálních zákonitostí, spojených s hořením plamene, umožňuje ovlivňování tohoto procesu tak, aby při maximální účinnosti spalování paliva bylo dosaženo minimálního znečištění ovzduší. K tomuto účelu byla navržena metoda video-počítačového sledování, případně měření, spektrální teploty plamene během spalovacího procesu.

Aby bylo možno tuto metodu aplikovat, je nutno studovaný hořící plamen zobrazit v různých podmínkách teplotních provozů jednotlivých průmyslových odvětví.

Jak je všeobecně známo, spektrální informace je charakterizována barevnými složkami plamene, tudíž pro monitorování spalovacího procesu se naskytá možnost využití barevných CCD kamer (nejlépe hranolových kamer se třemi CCD čipy pro červenou, zelenou a modrou složku barevného obrazu). Úroveň intenzity těchto složek se mění v závislosti na ovlivňování procesu hoření podle složení paliva a přiváděného kyslíku, resp. přídavných plynů.

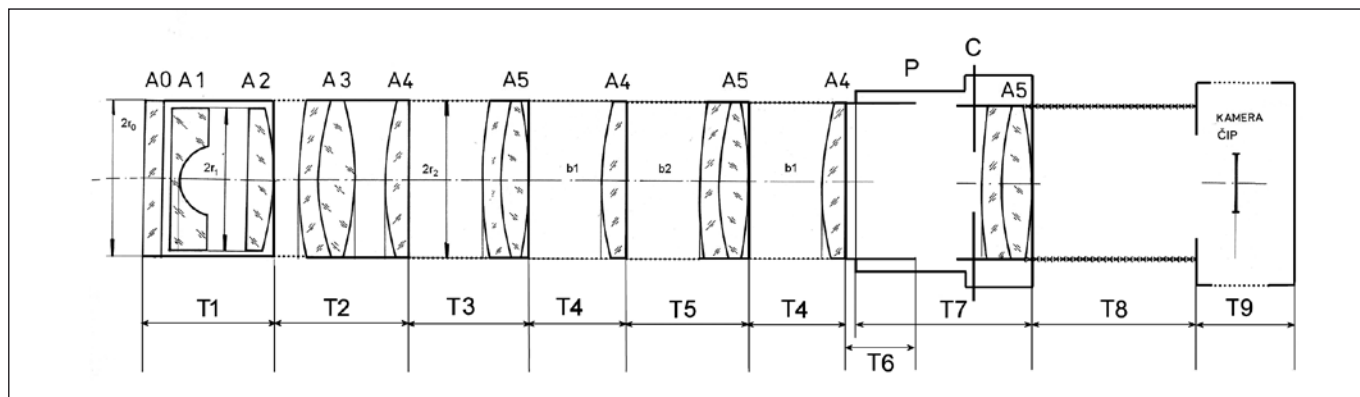
Jednou z hlavních podmínek úspěšného řešení tohoto problému je vývoj a realizace optického zařízení (technický boroskop), které v podmínkách různých typů spalovacích provozů s lišícími se typy žárových kotlů, a ne vždy stejnou tloušťkou stěny kotle, umožní kvalitní zobrazení plamene na CCD čip použité barevné kamery.

2. REALIZACE TECHNICKÉHO BOROSKOPU

V článku [1] je podrobně popsána optická část technického boroskopu, tj. optická soustava boroskopu typu A o maximálním průměru optických členů 9 mm a soustava typu B o maximálním průměru optiky 16 mm. Mechanické díly boroskopu (tubus boroskopu) jsou realizovány ve tvaru ocelových trubek T1, T2, ..., T6 (obr. 1), navzájem spojených závity, přičemž v koncové části jednotlivých trubek je u vnějšího závitu vybrání pro optický člen, který je zajištěn proti vypadnutí matkou. U dílů T3, T4, T5 a T7 je matka z umělé hmoty, u dílů T1, T2 jsou použity matky kovové (bezprostřední blízkost ohně).

Vnější mechanický průměr tubusu typu A je 16 mm, tubusu typu B 25 mm. Tubusy boroskopů typu A i B mají většinou nejčastěji používanou délku 830 mm, kterou lze podle potřeby (síla stěny kotle) zkrátit nebo prodloužit dvojicí dílů T4, T5 na délky 530 mm nebo 1130 mm. Díl T1 obsahuje čočky A1=B1 a A2=B2, uložených a zajištěných matkami z obou vnějších stran dílu T1. Frontální rozptylka A1=B1 je chráněna krycím sklem A0=B0 (safír), které snáší vysoké teploty. Krycí sklo je natmeleno do čelní příruby. Díl T2 obsahuje dublet A3(B3), který je v kovovém pouzdře uložený v přední části dílu T2 a kolektiv A4(B4). V dílu T3 je ve vzdálenějším konci umístěn dublet A5(B5).

Další prodloužení tubusu zajišťují vždy dvojice dílů T4 a T5. Poslední díl prodloužovací dvojice tubusů T4 je spojen závitem s dílem T6 bez optiky, který je vsunut do vodícího pouzdra P hlavy T7 boroskopu. Posouváním dílu T6 ve vodícím pouzdře



Obr. 1 Mechanické díly boroskopu

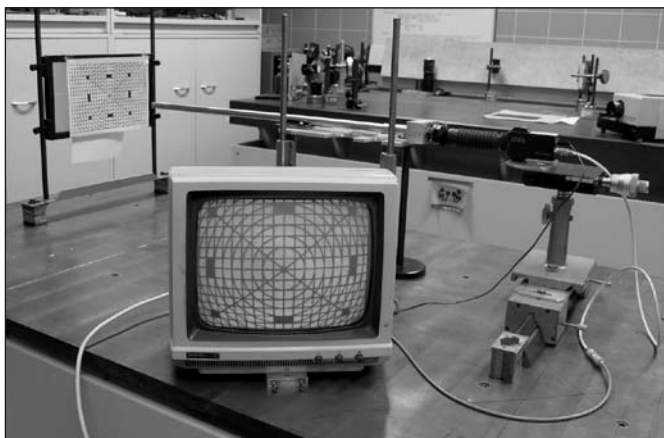
P je umožněno nastavení různé vzdálenosti optických členů A4(B4) a posledního zobrazovacího dubletu A5(B5). Tyto vzdálenosti se mění v závislosti na typu frontální rozptylky A1 = B1 a velikosti čipu CCD kamery podle parametrů uvedených v odkaze [1].

Hlava boroskopu dále obsahuje clonu C a poslední dublet A5(B5). Za tímto objektivem následuje na křížovém justážním stolku umístěná CCD kamera T9 spojená měchem T8 s hlavou T7. Oba popsané typy boroskopů jsou demonstrovány snímkem boroskopů typu A a typu B (obr. 2).



Obr. 2 Technický boroskop typu A a typu B

Na obr. 3 a obr. 4 je ukázána justážní sestava technického boroskopu se zobrazením čtvercového testu na černobílém monitoru.



Obr. 3 Justážní sestava

Pro různé pozorovací úhly je k justážním účelům využíván čárový test zobrazený na monitoru počítače



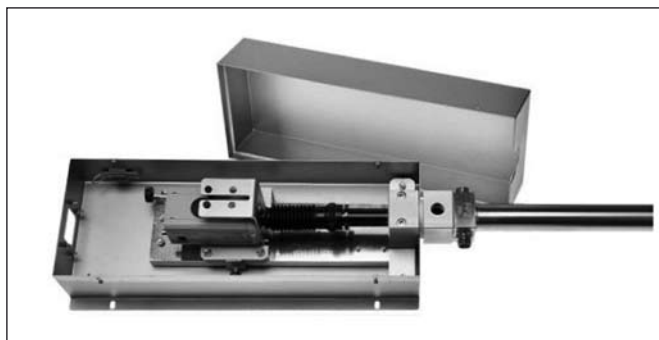
Obr. 4 Počítač pro digitální vyhodnocení obrazu

Pro justážní účely se používá běžná černobílá CCD kamera. K monitorování plamene je k boroskopu připojena hranolová barevná tří-čipová CCD kamera (obr. 5)



Obr. 5 Ovládací prvky CCD kamery

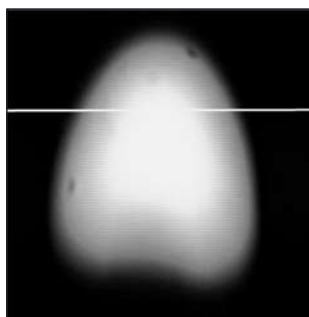
Funkční boroskop se následně vkládá do chladicího tubusu, přičemž hlava T7 s měchem a kamerou jsou umístěny v přídatné skříni s křížovým stolkem (obr. 6). CCD kamera je elektronicky spojena s běžným PC počítačem (obr. 4).



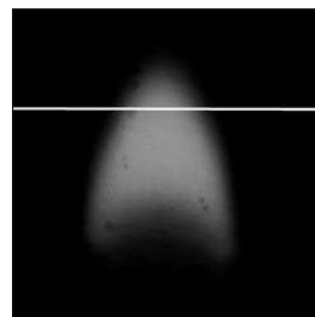
Obr. 6 Skříň a chladicí tubus

3. SPEKTRÁLNÍ STUDIUM PLAMENE

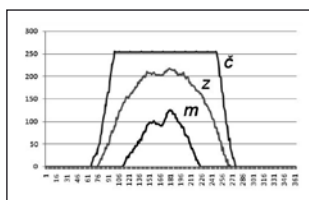
Barevný obraz plamene svíčky (obr. 7) je nutno nejprve upravit tak, aby úroveň intenzity světla nezpůsobila saturaci obrazu. K tomu účelu slouží clona C. Na obr. 8 je zaznamenán obraz plamene po zaclonění. Vodorovná přímka v obr. 7 a obr. 8 značí řez obrazu



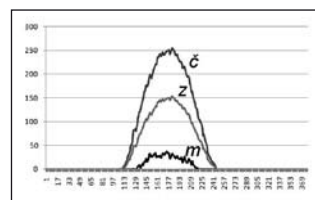
Obr. 7 Obraz plamen svíčky



Obr. 8 Clonou upravený obraz



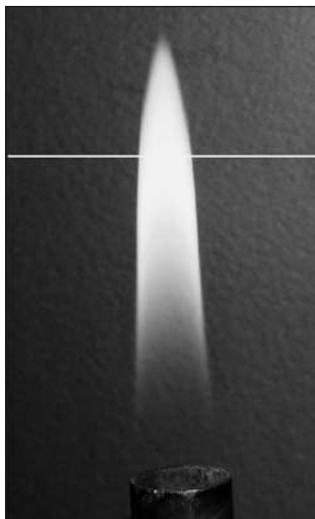
Obr. 7a Spektrální složky plamene



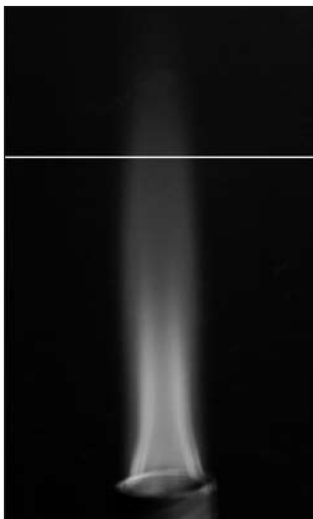
Obr. 8a Spektrální složky po odstranění saturace

plamene v ose y a graf v *obr. 7a* a *obr. 8a* přiřazuje ose x hodnoty intenzity spektrálních složek bílého světla, tj. světla červeného \check{c} , světla zeleného z , resp. modrého m .

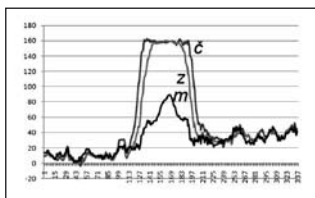
Provedeme-li tutéž studii u plamene kahanu, tj. zobrazíme-li plamen redukční (*obr. 9*) a oxidační (*obr. 10*), je složený obraz zcela jiného barevného charakteru, jak je zřejmé i očima, bez použití kamery. Barevnou kamerou zobrazený obraz plamene pak zřejmě vykazuje zcela odlišný průběh intenzity složek červeného, zeleného a modrého světla (*obr. 9a*, *obr. 10a*).



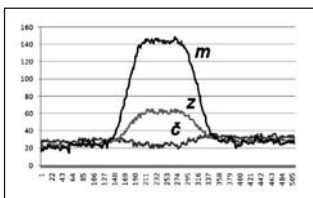
Obr. 9 Obraz redukovaného plamene kahanu



Obr. 10 Upravený oxidační obraz plamene



Obr. 9a Spektrální složky redukovaného plamene v saturaci

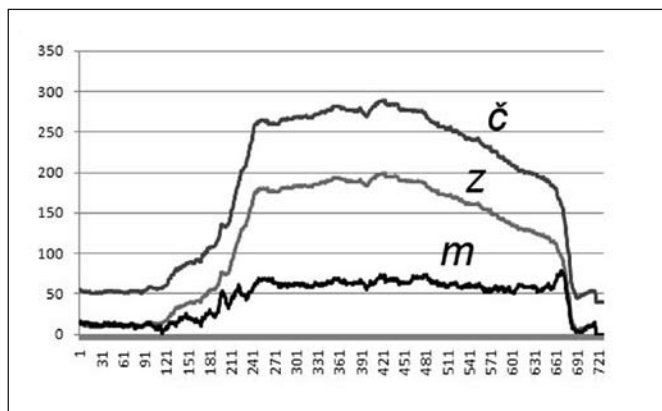


Obr. 10a Barevné složky oxidačního plamene

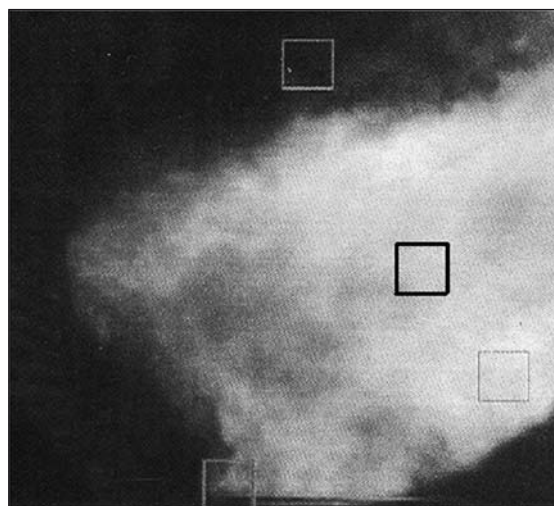
Přejdeme-li od školského experimentu k průmyslové praxi, můžeme stejným způsobem sledovat plamen (*obr. 11*) např. v cementárenské peci, kde můžeme pozorovat přímo barevné obrazy plamene (*obr. 11a*, *obr. 11b*, *obr. 11c*) a jeho spektrální intenzity v libovolném x, y řezu (*obr. 11d*). Vzájemná kvantitativní úroveň spektrálních intenzit jednotlivých složek dává zřejmě pozorovateli informaci o kvalitě spalovacího procesu, a tím umožňuje jeho následné ovlivňování.

Vybereme-li malou oblast plošně hořícího paliva, případně hořáku (*obr. 12*) a provedeme-li záznam vzorku rychlou barevnou kamerou, dostáváme průběh intenzity barevných složek ve tvaru znázorněném na *obr. 12a*.

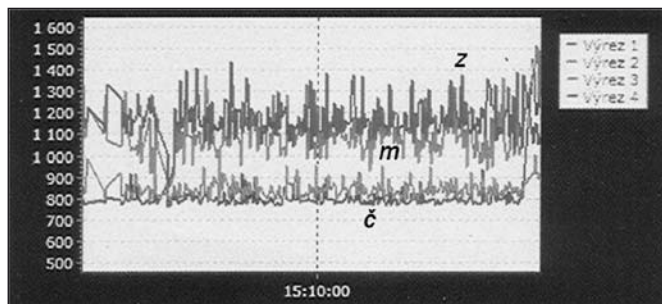
Uvažované případy spektrálního studia plamene jsou názorněji doloženy barevnými snímky na přední straně obálky.



Obr. 11d Barevné složky řezu plamene



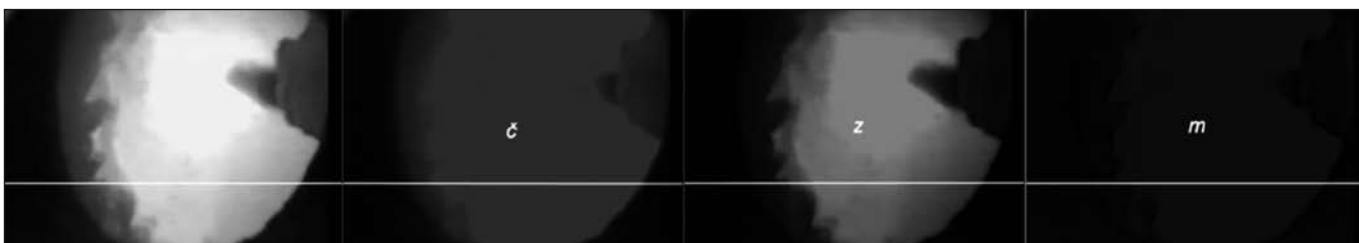
Obr. 12 Obraz vzorku studované části plochy plamene



Obr. 12a Barevné složky studovaného vzorku

4. ZÁVĚR

Vyhodnocování a průmyslové využití spektrální analýzy obrazu plamene není předmětem řešení na našem pracovišti. Naším cílem je navrhnout a realizovat mechanicko - optickou soustavu technického boroskopu, která po všech stránkách vyhovuje podmínkám průmyslového využití v praxi.



Obr. 11, 11a, 11b, 11c Bílý a barevné obrazy plamene cementárenské pece

Vývoj a výrobu optické části technického boroskopu výhradně zajišťuje SLO (Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu AV ČR). Mechanická část byla navržena a je dále zdokonalována jak konstrukčně, tak i výrobně ve spolupráci SLO, fy INDEL s.r.o. a fy. Trystom s.r.o. (bývalé Laboratoře a dílny UP Olomouc). Ověřovací zkoušky funkčních vzorků a prototypů, resp. budoucích výrobků, zajišťuje inženýrská fa INDEL s.r.o. Košice, která kamerové on-line monitorování spalování a počítačové zpracování informací řeší speciálním počítačovým programem.

Analýza spektrálního obrazu plamene uvedená v této práci je připojena z důvodů oživení problematiky, resp. určité propagace vyvinutého přístroje (technický boroskop) a celého zařízení, které bezesporu je významným přínosem pro zvyšování účinnosti spalovacích procesů. Současně je ovšem také přínosem k pedagogickému programu Přírodovědecké fakulty UP v oblasti výuky aplikované fyziky, např. v rámci předmětu počítačová analýza obrazu apod.

Publikovaná práce navazuje odborně na článek [1], kde obecně optické řešení bylo navrženo s podporou projektu MŠMT ČR č. 1N06002, konkrétně aplikace a realizace funkčních vzorků, pak (v obou publikacích) s podporou projektu MPO ČR č. 2A-2TP1/114. Autoři děkují pracovníkům společností INDEL s.r.o. Trystom s.r.o. a pracovníkům SLO UP a FZÚ AV ČR za spolupráci při technickém výzkumu a vývoji boroskopů, což umožnilo jejich aplikaci v konkrétních provozních podmínkách konečných uživatelů.

L i t e r a t u r a

- [1] J. Kepřt, L. Pospíšil: Optická soustava boroskopu I, JMO 9, 2009, str. 235
- [2] Edmund Scientific, Optics and Optical Instruments, Catalog 2007, p. 336, 264, 265
- [3] Propagační tiskovina fy Indel Košice 2009

RNDr. Jiří Kepřt, DrSc., Ladislav Pospíšil, Ing. Stanislav Záboj, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 631 507, e-mail: jiri.keprt@upol.cz

doc. Ing. Luděk Bartoněk, Ph.D., katedra experimentální fyziky PřF UP, Olomouc, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: +420 585 634 291, e-mail: ludek.bartonek@upol.cz

Jaroslav Hradil, Ing. Petr Pospíšil, Ing. Marek Švarc, TRYSTOM, s.r.o., Pasteurova 67/15, 772 00 Olomouc, tel., fax: +420 585 225 262, e-mail: trystom@trystom.cz

Ing. Peter Fuchs, Ing. Štefan Bloch, INDEL s.r.o., Masarykova 2, 040 01 Košice, tel.: fax: +421 55 632 1139, e-mail: indel@indel.sk

ICO Topical meeting Emerging trends & Novel materials in Photonics (2009 Delphi Photonics)

Mezinárodní komise pro optiku (ICO), ve spolupráci s řeckou optickou společností Helios, uspořádala ve dnech 7.-9. října 2009 v Evropském kulturním centru v Delfách v Řecku, které dle mytologie byly středem světa, v němž se nachází Apolonův chrám (chrám boha světla), tématickou konferenci o Nových trendech a nových materiálech ve fotonice.

Hlavními tématy konference byly Nové fotonické materiály, Funkční fotonické struktury, Silná pole, kvantové a ultrarychlé jevy ve fotonických materiálech a strukturách, Biofotonika, Technické a technologické trendy ve fotonice. Jemnější členění potom obsahovalo: Pokročilé fotonické materiály – organické a hybridní, Nanokomposity pro fotoniku, Nanosyntéza a nanovýroba fotonických materiálů, Světlem indukovaná organizace materiálů, Kovová rozhraní pro fotoniku, plasmonika, Optické spínání, Optické senzory, Kvantové řízení a kvantové počítání v nanomateriálech a nanostrukturách, Kvantová a nelineární optika v aktivních fotonických prostředích, Lokalizace světla a manipulace s ním, Pomalé světlo a rezonanční jevy v nanomateriálech a nanostrukturách a jejich aplikace, Materiály s fotonickým pásem, metamateriály, fotocitlivé materiály, Vlákna z fotonických krystalů.

Paralelně s touto konferencí proběhlo i setkání řešitelů dvou projektů COST: MP0604 „Optical Micro-Manipulation by Non-linear Nanophotonics“ (s českou účastí pracovníků ÚPT AV ČR, v.v.i) a MP0805 on „Novel Gain Materials and Devices Based on III-V-N Compounds“, na něž měli přístup i účastníci konference. Dalšími velmi zajímavými akcemi byl kulatý stůl „Photonics and Nanotechnologies: Parallel Roads Intersect“ a speciální sekce „European Research Policy in Photonics“.

Dva členové České a slovenské společnosti pro fotoniku (ČSSF), prof. Tománek a prof. Zemánek, byli členy mezinárodního programového výboru konference, někteří další byli i zvanými řečníky.

Konečně na této evropské konferenci ICO došlo také ke slavnostnímu ocenění ICO za minulá léta. Medaili **ICO 2007 Galileo Galilei Award**, kterou pravidelně věnuje Italská společnost pro fotoniku, převzal za celoživotní úsilí o rozmach optiky na Ukrajině a za rozvoj korelační optiky prof. Oleg Angelsky z Univerzity v Černovicích, Ukrajina. Při této příležitosti přednesl přednášku „Speckles a phase singularities in polychromatic fields“. Medaili mu předala Angela Guzmán, sekretář ICO.

Poté Maria Calvo, prezidentka ICO, představila vítěze **ceny ICO Ernsta Abbého za rok 2008** Zeeva Zalevského, vedoucího Nanotechnologického výzkumného centra Bar-Ilan University z Izraele, který přednesl velmi zajímavou přednášku „Super resolved photonic sensing“.

Nakonec Fernando Mendoza Santoyo z Centro de Investigaciones en Optica, Mexico pozval účastníky konference na 22. kongres ICO, který se uskuteční ve dnech 15. - 19. srpna 2011 v Pueblu, Mexiko.

Navíc řecká optická společnost Helios uspořádala školu „Nové trendy v III-V-N materiálech a součástkách“, které se zúčastnilo 25 mladých výzkumníků nejen z Řecka.

Celkem se na všech těchto akcích podílelo jako účastníci či organizátoři více než 250 lidí, přitom se řečtí studenti a doktorandi úspěšně pocvičili v organizování a zajišťování správného chodu takové akce.

Závěrem možno říct, že hádankové proroctví Pýthie, které jsme slyšeli při návštěvě historických vykopávek, o tom, kam se bude optika a fotonika ubírat, si dobře naladěni účastníci konference vhodně vysvětlili tak, že budou pokračovat v rozvoji vědy 21. století, kterému se již dnes dostává charakterizace století fotonu.

Pavel Tománek

Prof. RNDr. Pavel Tománek, CSc., Ústav fyziky FEKT VUT, Technická 8, 616 00 Brno, tomanek@feec.vutbr.cz

Heliový kryostat pro studium turbulentního proudění při přirozené konvekci

V článku je popsán heliový kryostat s experimentální vřícovou konvekční celou pro studium proudění při přirozené konvekci za velmi vysokých Rayleighových čísel Ra (10^6 až 10^{15}). Pracovní látkou je studené ^4He (4,2 K až 8 K), které umožňuje díky výhodným fyzikálním vlastnostem dosažení velmi vysokých hodnot Ra čísel. Konvekční celou o průměru 300 mm a výšce 300 mm tvoří horní a spodní dno a výměnná střední část. Tyto díly jsou spojeny rozebíratelnými přírubami těsněnými indiem. Výměnná část umožňuje snadnou modifikaci geometrie cely. Tenké pláště horní a spodní části cely významně minimalizují parazitní tepelné toky. Celo kryostatu je navržena pro pracovní tlaky 100 Pa až 250 kPa.

Klíčová slova: heliový kryostat, turbulentní proudění, přirozená konvekce, Rayleigh-Bénardova konvekce, přenos tepla, Rayleighovo číslo

ÚVOD

Jev turbulentní přirozené konvekce se stal široce studovaným problémem v dynamice tekutin. Hraje dominantní roli v přenosu energie např. uvnitř hvězd, při proudění atmosféry a oceánu i v mnoha technických aplikacích.

Přirozená konvekce v tekutině vymezené dvěma nekonečnými horizontálními deskami o různých konstantních teplotách, umístěnými v gravitačním poli, se nazývá Rayleigh – Bénardova konvekce (RBC). Desky jsou ve vzájemné vzdálenosti L , přičemž spodní deska je ohřívána a horní deska ochlazována. Pokud je v tekutině povolena jen malá změna relativní hustoty tak, aby byla splněna Boussinesquova podmínka $\Delta\rho = \alpha\Delta T \leq 20\%$, je tekutina považována za nestlačitelnou. Z rozměrové analýzy Navier-Stokesovy rovnice, energetické rovnice a rovnice kontinuity vyplývá, že přirozená konvekce v nestlačitelné tekutině závisí na dvou podobnostních číslech, Rayleighově čísle Ra a Prandlově čísle Pr [1]. Rayleighovo číslo Ra a Prandtlovo Pr jsou definovány vztahy

$$Ra = \frac{\alpha \cdot g \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \kappa}, \quad Pr = \frac{\nu}{\kappa}$$

kde α je koeficient objemové roztažnosti, ν je kinematická viskozita, κ teplotní vodivost tekutiny.

V případě nekonečně velkých desek, které omezují vrstvu tekutiny u RBC, se tekutina uvede do pohybu překročením kritické hodnoty Rayleighova čísla $Ra = 1708$ (teoretická hodnota). Konvekční obrazec tvoří pravidelná vřícová struktura, přičemž pohyb v sousedních vřících má opačný směr. S rostoucím číslem Ra se dynamický stav RBC počne měnit až do turbulentního stavu.

Tepelný přenos konvekce je popisován Nusseltovým číslem Nu , které je definováno vztahem

$$Nu = \frac{H}{H_0}$$

což je podíl celkové hustoty tepelného toku přenášeného konvekci H a hustoty tepelného toku přenášeného vedením H_0 . Základní otázkou při studiu konvekce je najít závislost mezi Nusseltovým číslem Nu a čísly Ra a Pr , tj. závislost $Nu(Ra, Pr)$.

V laboratorních podmínkách lze RBC modelovat např. vřícovou konvekční celou charakterizovanou geometrickým faktorem $\Gamma = D/L$, kde D je vnitřní průměr cely a L je vzdálenost mezi deskami cely. Na závislost mezi Nusseltovým číslem Nu a čísly Ra a Pr bude mít obecně vliv také hodnota geometrického faktoru Γ .

Většina proudění v přírodě nastává ve velkých rozměrech L , tj. za velkých podobnostních čísel Ra . Hodnota Ra čísla charakterizující přirozenou konvekci v atmosféře v kilometrových rozměrech L dosahuje řádu 10^{17} . Aby bylo možno dosáhnout vysokých hodnot čísel Ra v laboratoři při zmenšeném rozměru L , je nutno použít pracovní tekutinu s vhodnými fyzikálními vlastnostmi, aby poměr $\alpha/\nu\kappa$, vyskytující se ve vztahu pro Rayleighovo číslo, dosáhl co nejvyšších hodnot. Takovou látkou je studené helium ^4He , které má nízkou viskozitu a teplotní vodivost ve srovnání s jinými experimentálně užívanými tekutinami (vzduch, voda, rtuť). Srovnáním fyzikálních vlastností helia ^4He v blízkosti jeho kritického bodu s vlastnostmi vzduchu, dosahuje podíl $\alpha/\nu\kappa$ u ^4He až o 9 řádů vyšší hodnoty. Užitím studeného plynu ^4He lze současně dosáhnout i širokého rozsahu hodnot Ra .

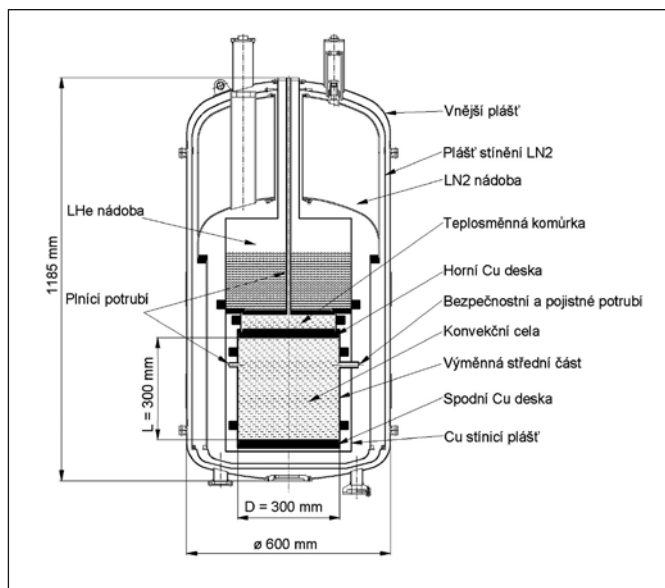
Experimenty pro studium závislosti $Nu(Ra, Pr)$ s využitím ^4He byly provedeny ve vědeckých laboratořích v Grenoblu [2] a Oregonu [3]. V Grenoblu byl použit kryostat s vřícovou konvekční celou průměru $D = 100$ mm, výšky $L = 200$ mm. Změřená závislost odpovídala závislosti $Nu \sim Ra^{2/7}$ s pozorovaným zlomem v okolí $Ra \sim 10^{11}$, který byl interpretován jako přechod do tzv. Kraichnava režimu [4]. V Oregonu byla použita konvekční cela pětikrát větších rozměrů, změřená závislost $Nu \sim Ra^{1/3}$ byla bez zlomu pozorovaného v Grenoblu.

Na Ústavu přístrojové techniky v Brně byl skupinou kryogeniky a supravodivosti navržen a realizován heliový kryostat s experimentální vřícovou konvekční celou o průměru $D = 300$ mm a se základní výškou $L = 300$ mm. Celo je dělitelná a umožňuje změnu geometrického faktoru Γ . Konvekční cela byla navržena tak, aby bylo možno experimentálně objasnit rozpory v publikovaných experimentálních závislostech $Nu(Ra, Pr)$ [2, 3]. Hlavní předností této cely spočívá v minimalizaci parazitních tepelných toků stěnami cely, kterých je dosaženo tenkou tloušťkou částí stěn a speciální konstrukcí spoje dna se stěnou.

KRYOSTAT

Schéma navrženého experimentálního kryostatu s vřícovou konvekční celou je na obr. 1. Kryostat sestává z vnějšího vakuového pláště, ve kterém je umístěna konvekční cela spojená prostřednictvím teplosměnné komůrky (plněné plyným heliem) s nádobou s kapalným heliem (LHe nádoba) o teplotě 4,2 K. Konvekční cela, teplosměnná komůrka a LHe nádoba jsou zavěšeny ve vakuovém prostoru vnějšího pláště na centrálním tenkostěnném hrdle z nerezavějící oceli s velmi nízkou tepelnou vodivostí. Všechny

části chlazené LHe jsou stíněny pláštěm spojeným s nádobou s kapalným dusíkem (LN2 nádobou) proti tepelným tokům z vnějšího pláště na pokojové teplotě. Nádobka s kapalným dusíkem je stíněna proti tepelnému záření z vnějších stěn kryostatu pláštěm, který je chlazený studenými parami odpařovaného dusíku. Aby teploty cely (rozsah teplot 4,5 K až 8 K) a teplosměnné komůrky nebyly ovlivňovány radiačním tepelným tokem z nádoby s LN2, jsou tyto stíněny Cu pláštěm tepelně ukotveným k LHe nádobě. V kryostatu je kryočerpáním udržováno tepelně izolační vakuum v řádu 10^{-6} Pa. Parametry kryostatu jsou shrnuty v tab. 1. Sestava kryostatu je na obr. 4.



Obr. 1 Schéma kryostatu

Tab. 1 Parametry kryostatu

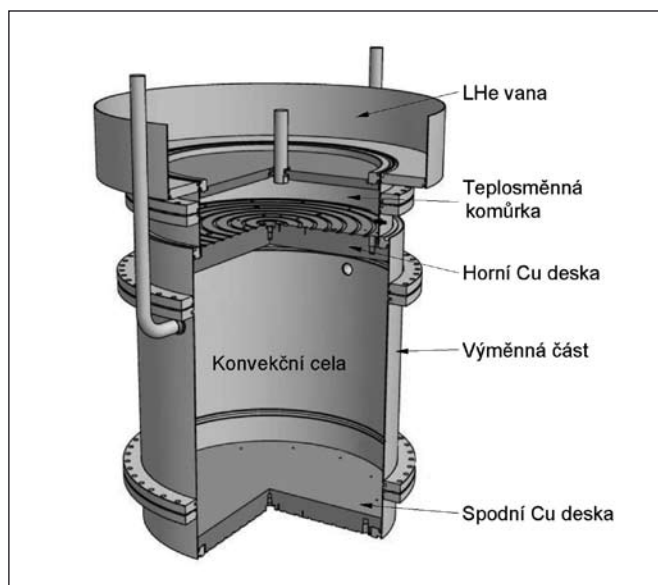
Dusíková nádoba	60 litrů (LN2), klidový odpar 5 l/den
Heliová nádoba	28 litrů (LHe), klidový odpar 1,5 l/den
Konvekční cela	21 litrů (He)

KONVEKČNÍ CELA

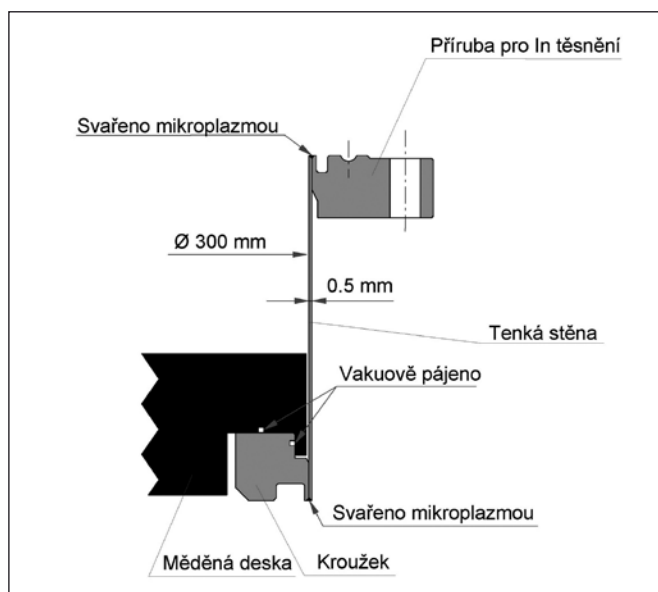
Řez 3D modelem konvekční cely, teplosměnné komůrky a částí LHe nádoby kryostatu je na obr. 2. Vlastní cela je složena ze tří částí, spodního dna, horního dna a střední části, přičemž střední část je výměnná a umožňuje změnu geometrického faktoru Γ v rozsahu 1 až 2,5.

Válcové pláště cely, komůrky a heliové nádoby jsou vyrobeny z nerezavějící austenitické oceli DIN 1.4301. Dna cely jsou uzavřena deskami z žíhané OFHC (Oxygen Free High Conductivity) mědi s vysokou tepelnou vodivostí (2 kW/m/K při 4,2 K). Dno heliové nádoby nad teplosměnnou komůrkou je vyrobeno z běžné elektrochemické mědi. Pláště den cely přiléhající k měděným deskám mají z důvodu nízké tepelné vodivosti minimální tloušťku (0,5 mm).

Konstrukce den cely a technologie spojů je zobrazena na obr. 3. Spojení plášťů z nerezavějící oceli a měděných desek je provedeno prostřednictvím kroužků z nerezavějící oceli, které jsou připájeny na měděné desky. Na elektrochemicky očištěné funkční plochy kroužků je galvanicky nanášena 1 μm – 3 μm silná vrstva Ni a takto upravený povrch je s Cu spojován eutektickou pájkou Ag – Cu ve vakuové peci při definovaném teplotním režimu. S kroužky na měděných deskách jsou mikroplazmovým svařováním spojeny tenkostěnné pláště, na které jsou stejným způsobem přivařeny spojovací příruby cely. Spojovací příruby cely a kroužky na měděných deskách jsou vyrobeny z nerezavějící oceli DIN 1.4307.



Obr. 2 Řez 3-D modelem konvekční cely, teplosměnné komůrky a částí LHe nádoby



Obr. 3 Konstrukce a technologie provedení spojů dna cely

Na vnějších stranách Cu desek jsou rovnoměrně rozprostřeny drážky, do kterých jsou vlepena odporová topení. Do spodní desky se odporovým topením přivádí tepelný tok, který je odváděn konvekcí k horní desce, kterou je dále odveden přes teplosměnnou komůrku do lázně s LHe. Teplota horní Cu desky je nastavována vodivostí teplosměnné komůrky (změnou tlaku He) a regulována prostřednictvím odporového topení teplotním kontrolérem LakeShore 340.

Tab. 2 Parametry konvekční cely

Rozsah Rayleighových čísel Ra	10^6 až 10^{15}
Rozsah pracovních tlaků	od 100 Pa do 250 kPa
Zkušební tlak	350 kPa
Teploty	4,5 K až 8 K
Geometrický faktor Γ	od 1 do 2,5
Měděné desky, tl. 28 mm	tepelná vodivost 2 kW/m/K (při 4,2 K)

Hlavní příruby cely jsou těsněny indiovým těsněním, které pro udržení těsnosti vyžaduje stálý přítlak ve všech pracovních stavech. Jelikož In samotné je jen minimálně elastické, přítlak musí vyvodit předpružené listy přírub. Příruby jsou namáhány změnami tlaku v cele od 100 Pa do 250 kPa během experimentu a dále teplotními kontrakcemi při ochlazení. Těsnost přírub musí být zaručena při zkušebním tlaku 350 kPa v prochlazeném stavu na teplotu LHe.

Pro upřesnění návrhu přírub a pro zjištění chování příruby při zatížení přetlakem byly zadány podrobnější výpočty firmě SVS FEM Brno. Tato firma je předním výpočetním a školicím pracovištěm programu ANSYS (výpočty metodou konečných prvků) v ČR. Při výpočtech bylo simulováno různé počáteční předpětí šroubů a sledován vliv stoupajícího vnitřního přetlaku na mechanická napětí v listech příruby a ve šroubech, dosažení meze plasticity v těchto součástech a přítlak na In těsnění.

Výsledkem výpočtů je počet šroubů spojovacích přírub (48) a síla pro předepnutí šroubů při nulovém přetlaku (při montáži). Tyto hodnoty zaručují, že nedojde k trvalé deformaci šroubů a listů přírub ani po dosažení zkušebního tlaku 350 kPa. Parametry konečnické cely jsou shrnuty v tab. 2.

BEZPEČNOST PROVOZU

V případě porušení vakuové izolace kryostatu by dosáhl tlak v měřicí cele svého maxima v okamžiku rovnováhy mezi teplem vedeným plynem proniklým do vakuového prostoru a teplem odváděným odpařeným héliem unikajícím z cely potrubím k přetlakovému ventilu a odtud do volného prostoru.

Modelováním vedení tepla konvekcí uvnitř vakuového prostoru kryostatu (kde jsou 3 stínící pláště rozdělující vakuový prostor na 4 oblasti), v případě havarijního porušení vakua, byl odhadnut maximální tepelný výkon přenášený do měřicí cely na 1000 W. Nejneprůzračnější stav pro nárůst tlaku je výchozí naplnění cely na průměrnou hustotu He v cele asi 50 kg/m³ (tj. 6,5 l kapalného He). Těmto dvěma hodnotám, tepelnému výkonu a hustotě, odpovídá při dosažení maximálního tlaku odvod hmoty He únikovým hrdlem $dm/dt = 0,07$ kg/s. Při dimenzování trasy na dvojnásobek této hodnoty dostáváme potřebný vnitřní průměr únikového hrdla 15 mm (hladká trubka) délky 1 m pro tlakovou ztrátu na únikovém hrdle asi 28 kPa.

Pro zajištění bezpečnosti provozu je konvekční cely pojištěna jedním komerčně dostupným přetlakovým pružinovým ventilem a jedním přetlakovým ventilem s překlopnou průtržnou Ni membránou. Ventil s překlopnou průtržnou Ni membránou byl navržen a testován na Ústavu přístrojové techniky. Ni membrány pro daný pojistný tlak dodala firma Comat s.r.o.

PRŮBĚH EXPERIMENTU

Každé měření se provádí za konstantní hustoty He (0,01 kg/m³ až 70 kg/m³). Cely se plní po prochlazení na teplotu LHe (4,2 K). Pro daný bod měření se nastaví potřebná vodivost teplosměnné komůrky. Vytápěním spodní Cu desky při teplotní stabilizaci horní Cu desky se nastaví střední pracovní teplota helia T a teplotní rozdíl mezi deskami ΔT . Přenášený tepelný výkon, topný výkon do spodní Cu desky, se nastavuje teplotním kontrolérem LakeShore 340 s přesností 1 %. Teploty horní a spodní Cu desky cely jsou měřeny germaniovými teplotními snímači GR-200A-1500-1.4B, taktéž pomocí teplotního kontroléru LakeShore 340, s absolutní přesností měření ± 4 mK. Tlak v měřicí cele je měřen absolutní tlakovou měrkou Baratron 690A 53 TRB, s přesností 0,08 % z měřené hodnoty. Pro ustálený stav He (hustotu, tlak a teplotu) v cele se pomocí měřených veličin vypočtou hodnoty čísel Nu a Ra , přičemž potřebné vlastnosti helia α , ν , κ , λ , lze získat z databáze NIST, Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database. Výsledkem je jeden bod měřené závislosti. Další body

se získají změnou ΔT , tlaku a teploty He. Pro jednu hustotu He lze proměřit studovanou závislost v rozsahu asi 1,5 řádu hodnot čísel Ra . Nejvyšších hodnot čísel Ra lze dosáhnout při stavu v blízkosti kritického bodu helia (69 kg/m³, 5,2 K, 227 kPa).



Obr. 4 Sestava kryostatu

Poděkování

Výzkum přirozené konvekce s využitím heliového kryostatu, který byl vyvinut na Ústavu přístrojové techniky AV ČR v Brně v.v.i., je podpořen grantovou agenturou GAAV, KJB200650902.

ZÁVĚR

Na Ústavu přístrojové techniky AV ČR v Brně, v.v.i. byl navržen a realizován heliový kryostat s experimentální válcovou konvekční celou určený pro studium turbulentního proudění při přirozené konvekci ve velkém rozsahu Rayleighových čísel. Idea experimentu vznikla na katedře fyziky nízkých teplot MFF UK. Konvekční cely kryostatu byla navržena se záměrem objasnit rozpory mezi publikovanými experimentálními závislostmi Nusseltova čísla Nu na Rayleighově (Ra) a Prandtlově (Pr) číslu. Předností cely je výměnná střední část, což umožňuje studovat vliv změny geometrie na studovanou závislost $Nu(Ra, Pr)$. Malá tloušťka válcových stěn a konstrukce horního i spodního dna cely minimalizují podíl parazitních tepelných toků k měřenému přenosu tepla konvekcí.

Literatura

- [1] TRITTON, D. J. Physical fluid dynamics. 2nd edition. Oxford: Clarendon Press, 1988. – ISBN 0198544898.
- [2] CHAVANNE, X.; CHILLA, F.; CASTAING, B.; HÉBRAL, B.; CHABAUD, B.; CHAUSSY, J. Observation of the ultimate regime in Rayleigh-Bénard Convection. Physical review letters, 79, 1997, No. 19., pp. 3648-3651. – ISSN 0031-9007.
- [3] NIEMELA, J. J.; SKRBEK, L.; SREENIVASAN, K. R.; DONNELLY, R. J. Turbulent convection at very high Rayleigh numbers. Nature, 2000, No. 404, pp. 837-840. – ISSN 0028-0836.
- [4] KRAICHNAN, R. H. Mixing-length analysis of turbulent thermal convection at arbitrary Prandtl number. Physics of fluids, 5, 1962, pp. 1374.- ISSN 0899-8213.

Coulombovské interakce elektronů v blízkosti Schottkyho katody

Článek se zabývá problematikou výpočtu vlivu coulombovských interakcí částic na energiovou šířku emitovaného svazku v blízkosti Schottkyho katody. Popisuje model i vlastní simulaci Monte Carlo elektronového emisního zdroje a metodiku zpracování výsledků.

1. ÚVOD

Nedílnou součástí každého elektronově optického zařízení je zdroj elektronů. Ať už se jedná o elektronovou či iontovou spektroskopii, litografii nebo mikroskopii, parametry samotného zdroje významným způsobem ovlivňují výkon celého přístroje. Současné trendy v polovodičovém průmyslu kladou na zařízení využívající optiky nabitých částic často obtížné slučitelné požadavky. K těm tradičním, jako je neustálé zlepšování rozlišení, přibýlo v poslední době i výrazné zvyšování pracovních proudů ve svazcích. Vyšší proudy ovšem kromě nových možností přináší i nové problémy. S vyšší proudovou hustotou se začínají výrazněji projevovat coulombovské interakce mezi jednotlivými elektrony a způsobují tak změnu některých důležitých parametrů svazku. Jedná se zejména o rozšíření energiového rozdělení (tento efekt je známý jako Boerschův efekt) a rozšíření profilu stopy (tzv. Loefflerův efekt). V systémech jako jsou elektronové mikroskopy, kde velikost chromatické vady je hlavním limitujícím faktorem, vedou oba tyto efekty ke zhoršení rozlišení.

Z tohoto pohledu se stává právě zdroj elektronů kritickou částí mikroskopu. Elektrony emitované z povrchu katody mají na počátku malou rychlost a tedy více času k interakcím. Hustota proudu je v této oblasti mnohonásobně vyšší než dále v tubusu, kde je svazek fyzicky omezen několika aperturami. Coulombovské interakce se tudíž budou v oblasti zdroje uplatňovat častěji a mají jistě kromě vlivu na energiovou šířku svazku i vliv na další důležité parametry katody, jako je například velikost virtuálního zdroje a jas. Příspěvek dalších optických komponent zařízení k dodatečnému energiovému rozšíření lze redukovat uvážlivým návrhem [1]. Samotné efekty vzájemných interakcí nabitých částic byly již intenzivně studovány. Ačkoliv již bylo publikováno několik teoretických prací [1, 2] a Monte Carlo simulací, stále ještě existuje řada nezodpovězených otázek, zejména pro oblast katod.

Pro většinu typů zdrojů existují publikovaná měření, ve kterých je v souvislosti s vyššími emisními proudy popsáno pozorování širšího energiového rozdělení emitovaných částic než jaké předpokládá teorie. Protože ale experimenty mají omezenou přesnost a sama teorie emise je v podstatě také jakýmsi přiblížením, nelze úplně přesně říci, za jak velkou část naměřeného rozšíření jsou odpovědné vzájemné interakce a za jakou část jiné efekty. Také je takto obtížné definovat jakoukoli závislost objemu coulombovských interakcí na fyzických nebo pracovních parametrech katody.

Řešením takové úlohy se jeví Monte Carlo simulace, která by obsahovala pokud možno co nejnějnější model reálné katody. Pro iontové zdroje již byla podobná simulace úspěšně provedena [3].

V tomto článku se budeme věnovat popisu modelu i vlastní simulace jednoho z nejběžtější používaných zdrojů v elektronové mikroskopii – termoautoemisní Schottkyho katody.

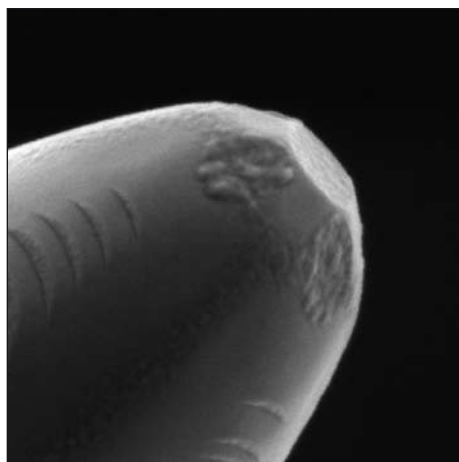
2. POPIS KATODY

Typickou Schottkyho katodu tvoří emitér z wolframového monokrystalu s orientací $\langle 100 \rangle$ připevněný k nosnému vláknou bodovým svarem. Hrot je elektrochemicky vyleptán do špičky

s poloměrem v rozmezí (0,2 – 2,0) μm . Povrch monokrystalu je dále chemicky aktivován oxidem zirkonia. Tímto je dosaženo snížení výstupní práce na přibližně 2,8 eV. Pracovní teplota katody se pohybuje okolo 1800 K a extrakční napětí v rozsahu (3 – 6) kV.



Obr. 1a Schottkyho katoda. Zorné pole 1,25 mm



Obr. 1b SEM detail hrotu s fasetou. Zorné pole 1,45 μm

3. MODEL ZDROJE

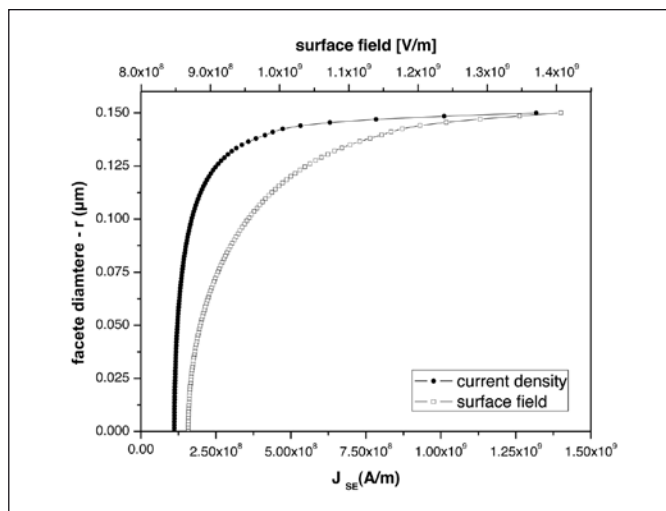
Tvar katody nám umožňuje redukovat úlohu na 2D rotačně symetrický problém. Model pro simulaci je vytvořen přenesením tvaru reálné Schottkyho katody, včetně elektrod suppressoru a extraktoru, do sítě konečných prvků v konfiguraci, která je běžná u komerčně dostupných modulů elektronových zdrojů. Prvky sítě využívají výhod metody konečných prvků druhého řádu [4], která umožňuje zaoblení jednotlivých čar a tím věrnější přenesení tvaru katody do sítě. Důle-

žitým prvkem modelu Schottkyho katody je implementace ploché fasety na špičce katody, která je v doposud publikovaných simulacích často opomíjena. Právě tato faseta ale významným způsobem ovlivňuje průběh elektrostatického pole na povrchu emitru [5] a tímto i výsledné rozložení hustoty proudu elektronů a jejich počáteční energii při emisi. Malé zaoblení fasety na jejím okraji umožňuje dostatečně přesný výpočet hodnot pole v blízkosti této hrany.

4. MODEL EMISE

4.1 Hustota proudu

Pro vygenerování počátečních poloh elektronů emitovaných z povrchu katody je potřeba spočítat rozložení hustoty proudu. Na obr. 2 je zaznamenán průběh elektrostatického pole podél poloměru ploché fasety na špičce katody. Jak je vidět z grafu, jsou spočtené hodnoty velikosti pole na kraji fasety ($r = 0,15 \mu\text{m}$) přibližně 2x vyšší a hodnoty hustoty proudu téměř 10x vyšší než na ose (extrakční potenciál $U_{\text{ex}} = 4 \text{ kV}$). Celkový proud emise z plošky je v tomto případě $18,2 \mu\text{A}$. Pokud bychom použili osovou hodnotu pole jako konstantu pro celou fasetu, byl by výsledný proud pouze $7,9 \mu\text{A}$. Hodnota celkového proudu je také výchozím bodem pro určení času emise jednotlivých elektronů.



Obr. 2 Průběh velikosti pole a velikosti hustoty proudu podél poloměru fasety

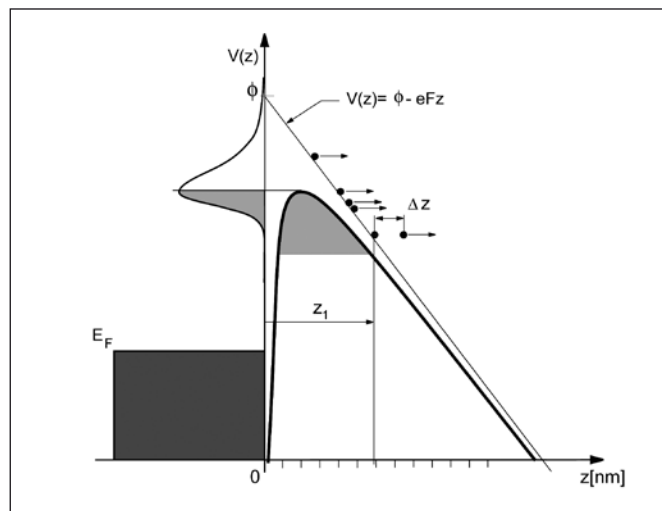
4.2 Počáteční energiové rozdělení

Elektrony opouštějící povrch katody mají své specifické energiové rozdělení, které závisí zejména na emisním módu, tj. na teplotě, výstupní práci a velikosti pole. U Schottkyho katody dochází, díky malému poloměru špičky a nízké výstupní práci, už při pracovním extrakčním napětí kromě snížení potenciálové bariéry i k tunelování elektronů přes tuto bariéru. Tento efekt ovlivňuje i výsledné energiové rozdělení emitovaných elektronů, jehož vztah lze získat z analytického modelu emise [2].

Abychom model emisního procesu co nejvěrněji, byl implementován následující postup. Volné elektrony v kovu mají, měřeno vzhledem ke spodní hladině vodivostního pásu, určitou energii. Ty, které se pohybují ve směru bariéry, mohou přes ni tunelovat (viz obr. 3) a objeví se za bariérou v bodě z_1 v závislosti na jejich energii. Tato pozice je dobrým výchozím bodem pro trasování, ale protože kinetická energie částice hned za bariérou by byla blízka nule, nebylo by možné elektronům přidělit startovací úhly. Proto posuneme elektrony za bariérou o malé Δz čímž elektron získá dodatečnou energii a bude možné vygenerovat počáteční úhlové rozdělení.

4.3 Počáteční úhlové rozdělení emise

V případě klasické termoemise je polární úhlové rozdělení emitovaných elektronů dáno Lambertovým kosinovým zákonem. Působí-li ale na povrch katody silné extrakční pole, jako je tomu



Obr. 3 Model bariéry neobsahuje Coulombův potenciál. Pravá strana bariéry je nahrazena trojúhelníkovou funkcí

u Schottkyho katody, je ovlivněno i samotné úhlové rozdělení. Jeho tvar se mění v závislosti na velikosti rozdílu energie elektronu vzhledem k Fermiho hladině. Tato vlastnost byla také implementována do simulace. Polární úhly byly generovány pomocí distribuční funkce dané vztahem (44.35) v [2]. Azimutální úhly byly generovány náhodně s rovnoměrným rozdělením v rozmezí $0 - 2\pi$.

5. SIMULACE

Pro simulaci byly vybrány standardní parametry katody, hrot s poloměrem $0,5 \mu\text{m}$ a velikostí fasety $0,3 \mu\text{m}$. Pracovní teplota je 1800 K a výstupní práce $2,8 \text{ eV}$. Potenciál supresoru je -300 V a extraktor 4000 V . Emise byla simulována pouze z oblasti plošky na špičce katody. Za těchto parametrů dosáhla úhlová intenzita svazku přibližně $460 \mu\text{A/sr}$ (měřeno v úhlu 5 mrad od osy a vzdálenosti 1 mm od emisní plochy). Jiných požadovaných hodnot úhlové intenzity lze dosáhnout iteračně - změnou napětí na extraktoru a následným trasováním.

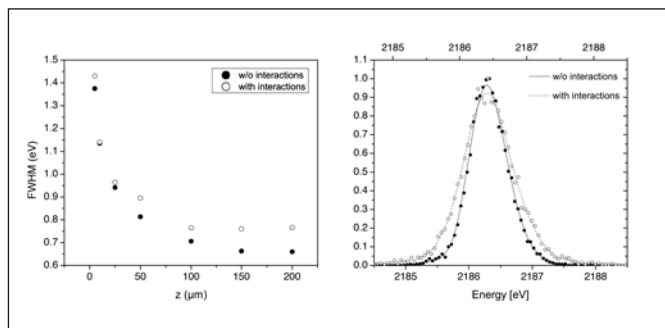
Výpočet proběhl ve dvou fázích, trasováním souboru 10000 částic až k rovině extraktoru, tedy v délce 1 mm . Nejprve bez vzájemných interakcí elektronů a potom za stejných počátečních podmínek s jejich plným započtením. Vlastní interakce byly počítány přímou metodou. V prostoru trasování bylo zvoleno několik rovin, ve kterých byly zaznamenávány aktuální hodnoty poloh, energie a směrnice elektronů.

Abychom zamezili statistickým anomáliím, získaná data je potřeba ještě před vyhodnocením zpracovat. Elektrony, které se objevily v emisním procesu mezi prvními nebo mezi posledními, mají v obrazové rovině vyšší (a ty poslední nižší) střední hodnotu energie. Tento efekt hraničních částic je způsoben absencí okolních elektronů v podélném směru na začátku a konci emise. Tyto hraniční částice je potřeba z analyzovaného souboru odstranit.

Vzhledem k tomu, že roviny, ve kterých jsou částice zachycovány, neodpovídají ekvipotenciálům, střední energie elektronů zaznamenaných dále od osy je nižší než energie elektronů v blízkosti osy. Tento rozdíl je potřeba korigovat. Bohužel, při prvním průběhu simulace nebyla zaznamenávána veškerá potřebná data pro tuto korekci. Výpočet nových dat je časově velmi náročný, protože simulace Monte Carlo zahrnující coulombovské interakce jsou zdlouhavé.

U takto upraveného souboru je možné provést analýzu požadovaných parametrů. Analýzou energiového rozložení svazku získáme informaci o případném energiovém rozšíření vlivem interakcí. Typickým parametrem popisujícím energiovou šířku je takzvaná šířka rozdělení v polovině maxima - FWHM (full width at half maximum). Přestože nebyla data korigována na odchylku obrazové roviny od ekvipotenciálu, lze i na těchto datech udělat

alespoň základní srovnání histogramů v odpovídajících si rovinách. Na obr. 4. je graf vývoje hodnoty FWHM energiové šířky svazku v jednotlivých rovinách, ve vzdálenostech (5 – 200) μm od hrotu katody. Hodnoty od vzdálenosti $z = 150 \mu\text{m}$ jsou téměř stabilizované a rozdíl polohy obrazové roviny oproti ekvipotenciále bude v oblasti svazku minimální.

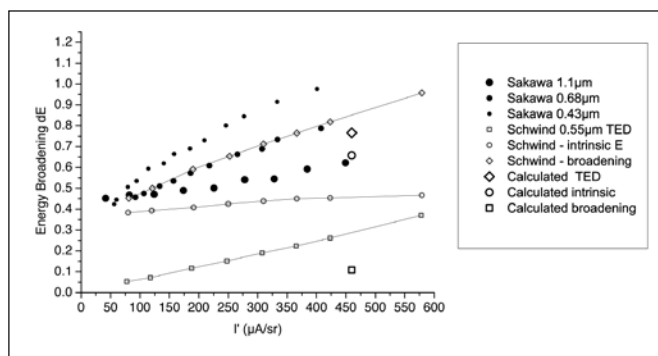


Obr. 4 Hodnoty energiové šířky svazku v různých obrazových rovinách a histogram energií v rovině $z = 200 \mu\text{m}$

Histogram energií byl normalizován a FWHM hodnota zjištěna z vyhlazené nafitované křivky. Plná čára představuje energiové rozložení emitovaného svazku bez započtení coulombovských interakcí. Hodnota FWHM je 0,658 eV, což odpovídá energiové šířce podle počátečních podmínek. Přerušovaná čára reprezentuje histogram energií ve svazku se započtenými interakcemi. Zjištěná FWHM hodnota je 0,766 eV. Rozdíl těchto hodnot – 0,108 eV je rozšíření energie svazku způsobené vlivem coulombovských interakcí.

Přímé srovnání těchto výsledků s publikovanými měřeními nebo simulacemi je obtížné. Experimenty jsou většinou zaměřeny na projevy coulombovských interakcí za speciálních pracovních podmínek nebo s výrazně odlišnými mechanickými parametry katody. V oblasti simulací provedl podobný výpočet Thomson [6], ale s řadou aproximací v modelu emiteru a také pro odlišný poloměr hrotu (0,01, 0,1 a 1 μm).

Srovnatelná experimentální data pro Schottky katodu publikovali Schwind [7] a Sakawa [8]. Srovnáme-li tyto naměřené hodnoty se simulací, najdeme zde jisté rozdíly. Na obr. 5. jsou extrapolované hodnoty FWHM z výše uvedených publikací, a také spočtené hodnoty z vlastní simulace (0,766 eV). Ta je ovšem pro srovnatelný poloměr hrotu a příslušnou úhlovou intenzitu nižší. Tento rozdíl je pravděpodobně důsledkem omezení emisní plochy v simulaci pouze na čelní plošku. Z hrany fasety a jejího okolí je emitováno podstatně více elektronů než z jejího středu a je zde tedy více prostoru pro interakce. Tyto elektrony také mají vlivem silnějšího elektrostatického pole vyšší počáteční energii (0,677 eV oproti 0,5 eV na ose). Přestože jsou emitovány relativně daleko od osy, mohou se díky úhlovému rozdělení na počátku emise dostat do její blízkosti během opouštění prostoru katody. Dalším faktorem je zřejmě délka trasování v simulaci. Experimentální data byla získána z větší vzdálenosti než je simulovaný 1 mm. Delší trasování by poskytlo více času pro další interakce.



Obr. 5 Srovnání experimentálních a spočtených hodnot

6. ZÁVĚR

Výsledky prvního průběhu simulace ukazují směr jejího dalšího vývoje. Ačkoli spočtená data nemohla být zcela vyhodnocena, připravený model katody a generování počátečních podmínek se ukázal být funkční a dostatečně přesný. Cílem následujících simulací je po drobných modifikacích spočítat příspěvek coulombovských interakcí k energiové šířce v závislosti na různých fyzických a operačních parametrech katody a také určit vliv interakcí na další důležité parametry jako je především velikost virtuálního zdroje a jas katody.

Literatura

- [1] KRUIT, P. - JANSEN, G.H. Space Charge and Statistical Coulomb Effects. In Handbook of charged particle optics. Edited by John Orloff. New York: CRC Press LLC, 1997. 512 p. ISBN 0-8493-2513-7.
- [2] HAWKES, P.W. - KASPER, E. Principles of Electron Optics. Vol. II, New York: Academic Press, 1989. 1188 p. ISBN 0-12-333352-0.
- [3] RADLIČKA, T. - LENCOVÁ, B. Coulomb interactions in Ga LMIS. Ultramicroscopy, 2007, Vol. 108, No. 5, pp. 445-454. ISSN 0304-3991.
- [4] Zhu X. - MUNRO, E. A computer program for electron gun design using second-order finite elements. J. Vac. Sci. Technol. B, Nov/Dec 1989, Vol. 7, No.6, pp. 1862-1869. ISSN 1071-1023.
- [5] TUGGLE, D.W. - SWANSON L.W. Emission characteristics of ZrO/W thermal field electron source. J. Vac. Sci. Technol. B, Jan/Feb 1985, Vol. 3, No. 1, pp. 220-223. ISSN 1071-1023.
- [6] THOMSON, M.G.R. Electron-electron scattering in microcolumns. J. Vac. Sci. Technol. B, Nov/Dec 1994, Vol. 12, No. 6, pp. 3498-3502. ISSN 0734-211X.
- [7] SCHWIND, G.A. - MAGERA, G. - SWANSON, L.W. Comparison of parameters for Schottky and cold field emission sources. J. Vac. Sci. Technol. B, Nov/Dec 2006, Vol. 24, No. 6, pp. 2897-2901. ISSN 1071-1023.
- [8] SAKAWA, S. - KATSUYOSHI, T. - YOSHINORI, T. Electron emission characteristics of ZrO/W electron sources with a wide range of tip radii. Surface and Interface Analysis, January 2003, Vol. 35, issue 1, pp.11-14. ISSN 0142-2421.

Ing. Ivo Liška, Ústav fyzikálního inženýrství, FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, physics.fme.vutbr.cz.

email: yliska00@stud.fme.vutbr.cz,

Applied Materials, ICT GmbH, Ammerthastrasse 20, 85551-Heimstetten, Germany, www.appliedmaterials.com, tel.: +49 89 90999451, e-mail: ivo_liska@amat.com

Dr. Pavel Adamec, Applied Materials, ICT GmbH, Ammerthastrasse 20, 85551-Heimstetten, Germany, www.appliedmaterials.com, tel.: +49 89 90999445, e-mail: pavel_adamec@amat.com

prof. RNDr. Bohumila Lencová, CSc., Ústav přístrojové techniky AV ČR v.v.i, Královopolská 147, Brno 61 264, www.isibrno.cz, tel.: 541 514 294, e-mail: bohunka@isibrno.cz



OPTA

16. mezinárodní veletrh oční optiky, optometrie a oftalmologie

5. - 7. února 2010

Brno - Výstaviště, Česká republika

OPTA se stěhuje do většího pavilonu

Šestnáctý mezinárodní veletrh oční optiky, optometrie a oftalmologie OPTA se uskuteční již první únorový víkend – konkrétně 5. až 7. 2. 2010 - a navíc v netradičním prostředí nového multifunkčního pavilonu P.

Expozice i konference na jednom místě

V historii veletrhu jde již o třetí stěhování, OPTA se postupně odehrávala v pavilonech E, B a V a každá změna znamenala krok vpřed v kvalitě i rozsahu prezentace. Tentokrát OPTA dostane k dispozici největší veletržní halu ve střední Evropě. Pavilon P otevřený letos v červnu je vybaven nejmodernější infrastrukturou a veškerým zázemím pro návštěvníky i vystavovatele, což umožňuje dále zatraktivnit expozice vystavovatelů a zároveň úžeji propojit veletrh s jeho odborným doprovodným programem.

V konferenčních sálech pavilonu P proběhne jak tradiční celodenní cyklus přednášek a firemních prezentací, tak Mezinárodní kongres OPTA 2010 – 3. celoevropský kongres zástupců univerzit vzdělávajících optometrii a kongres učitelů optiky a optometrie ze zemí střední a východní Evropy. Spolupořadatelem veletrhu OPTA a pořadatelem odborného doprovodného programu je Společenstvo českých optiků a optometristů, partnerem veletrhu OPTA je Optická unie Slovenska.

Veletrhy podporují obchod

Světová hospodářská krize se nevyhnula ani oboru oční optiky, který čelí výraznému poklesu poptávky. Značkoví výrobci se dlouhodobě potýkají s levnou asijskou konkurencí, kamenné oční optiky bojují s odlivem zákazníků k internetovým prodejcům a současný ekonomický tlak problémy dále prohlubuje. Odpovědí může být jediné – zatraktivnění nabídky pro koncového klienta a dobře cílená osvěta, která zdůrazní význam kvalitních a zdravotně bezpečných výrobků pro správnou péči o zrak. Důležitou roli v tomto snažení sehrávají právě odborné veletrhy jako interaktivní fórum, která vhodně propojují obchodní aktivity dodavatelů optického zboží a provozovatelů očních optik.

K účasti na veletrhu OPTA 2010 se hlásí všichni tradiční velcí vystavovatelé jako Essilor, Sagitta, Dioptra, Hoya Lens, Metzler, Johnson & Johnson, Novartis, Omega Optix, Optika Čivice a další. Oblast oftalmologických přístrojů zastupují například společnosti Oculus nebo Geodis Brno. Další významné firmy jako Rodenstock nebo Ineko se na brněnský veletrh vracejí, a to ve velkém stylu: Rodenstock připravuje velkorysou expozici o ploše přes 100 m².

Chystají se také zajímavé novinky, jejichž společným cílem je podpora obchodu a odbytu. SČOO ve spolupráci s Veletrhy Brno a vystavovateli připravují projekt „Moderní oční optika 3. tisíciletí“, který představí vzorové architektonické zpracování, moderní nábytek, vybavení a vyspělé optometrické pomůcky, přístroje a technologie. V souvislosti s potřebou zvýšené propagace se nově zdůrazní téma „osobnost a brýle“ čili „tvář značky“. Na stáncích vystavovatelů se můžeme těšit na autogramiády, soutěže, prezentace a hudební i taneční produkce. Z druhé strany chce obchodní aktivity vystavovatelů podpořit projekt „Business Point“, který jim zprostředkuje a usnadní setkání s odbornými návštěvníky z tuzemska i zahraničí.

Zvýrazněné téma Presbyopie 45+

Ve spolupráci s odbornými partnery pořadatelé každý rok zvýrazňují některou z oblastí oční optiky a optometrie. Po dětských a sportovních brýlích se na nadcházejícím ročníku upře pozornost k péči o stárnoucí zrak. Problémy spojené se zhoršeným viděním na blízkou vzdálenost současná oční optika řeší daleko komplexněji než v minulosti, takže si každý zákazník může zvolit takovou variantu či kombinaci variant, jaká jeho zraku a způsobu života vyhovuje nejlépe. Mnozí uživatelé však stále netuší, jak široká škála možností se jim nabízí, a k vlastní škodě volí zdánlivě nejjednodušší konzervativní řešení, tj. brýle na čtení, v horším případě dokonce z nejbližšího hypermarketu. Právě zviditelnění pokroku v péči o vetchozraké je jedním z cílů zvýrazněného tématu Presbyopie 45+. Pozornost se zaměří jak na diagnostiku a úskalí spojená s volbou správné korekce, tak na aplikaci korekčních pomůcek v praxi a vhodnou prezentaci možných řešení presbyopie ze strany odborného personálu očních optik. Netřeba dodávat, že vzhledem ke stárnutí populace a stále rostoucímu počtu zákazníků s presbyopií či kombinací různých refrakčních vad jde o téma velmi potřebné a závažné.

Pátý ročník soutěže TOP OPTA

Zvýrazněné téma presbyopie je zároveň jednou z kategorií soutěže o nejlepší exponáty veletrhu TOP OPTA 2010. Vedle něj se v soutěži objevují také další novinky, například brýlové obruby a sluneční brýle budou posuzovány zvlášť z pohledu technologické inovace a zvlášť z hlediska módy a designu. Podobným způsobem se do subkategorií rozdělí také technologie v oční optice, a to na vyšetřovací a měřicí přístroje pro měření zraku, optické stroje a přístroje pro opracování brýlových čoček a prodejní nástroje a systémy pro retail – maloobchod. Detailnější kategorizace má usnadnit hodnocení, ale zejména motivovat vystavovatele, aby k účasti přihlásili více exponátů a soutěž TOP OPTA tak získala na kvalitě. Odměnou vystavovatelům bude zviditelnění a propagace jejich novinek. Výsledky soutěže budou vyhlášeny na oficiálním zahájení veletrhu a úspěšné exponáty vystaveny ve speciální vitrině.

OPTA je největším a nejvýznamnějším oborovým veletrhem v zemích střední a východní Evropy. Poslední ročník proběhl na čisté výstavní ploše 4 736 m² za účasti 210 vystavujících firem z 26 zemí. Expozice si prohlédlo 5179 odborných návštěvníků, mezi nimi 1258 zahraničních ze 33 zemí. Podle průzkumu provedeného nezávislou společností IPSOS TAMBOR 71 % vystavovatelů veletrhu OPTA nevystavuje na žádných jiných oborových veletrzích ve střední či východní Evropě. Hlavním cílem návštěvy minulého ročníku byly nejčastěji informace o novinkách a trendech v oboru, ovšem 17 % návštěvníků přijelo s hlavním cílem nakupovat či objednat vystavené produkty. S návštěvou veletrhu bylo spokojeno 84 % respondentů.

Martin Střítecký

EOS Annual Meeting 2009

Evropská optická společnost (EOS) v letošním roce porušila zaběhnutý rytmus svých výročních Valných hromad, organizovaných při příležitosti veletrhů Laser World of Photonics v Mnichově v lichých letech a Opto v Paříži v sudých letech, a vrátila se na čas do dob, kdy se tyto akce konaly střídavě v různých zemích Evropy, včetně Česka. Výroční valná hromada, a s ní spojené schůze jednotlivých výborů, se v letošním roce uskutečnila v rámci dvou EOS Topical mítingů na Capri ve dnech 27. - 30. 9. 2009. Českou republiku zastupovali prof. Pavel Tománek, předseda Vědeckého poradního výboru EOS, a Ing. Miroslav Jedlička, předseda České a Slovenské společnosti pro fotoniku (ČSSF), který při této příležitosti oslavil své 80. narozeniny.

Vzhledem k tomu, že tentokrát byla Valná hromada nevolební, se šlo mnohem méně delegátů než obvykle, a proto mnoho aktů, které normálně při této příležitosti probíhají, jako je představení nových Fellows EOS a předání ceny EOS pro mladé vědce, přesunulo na významnější příležitost v příštím roce, kdy oslaví 50. výročí objevu laseru.

V posledním období se zvýšila členská základna EOS jak početně, tak i geograficky. Součástí EOS se staly, i díky práci prof. Tománka, ruská Rožděstvenského optická společnost (ROS), Lotyšská optická společnost (LOS) a Ukrajinská společnost pro čistou a aplikovanou optiku (USPAO). Další dvě národní optické

společnosti (řecká a portugalská) se připravují na vstup do EOS v nejbližším období. Díky tomu má EOS v současné době již více než 6000 členů, sestává z 10 národních poboček a 12 přidružených národních organizací, z kooperativních členů (zejména z průmyslu) a z asi 300 individuálních členů z dalších evropských i neevropských zemí.

EOS zorganizovala na Capri svůj první Topical Meeting „Lasery“ (předsedou byl Fredrik Laurel z KTH Stockholm) a třetí „Optické mikrosystémy - OMS09“ (pod vedením Ivana Rendiňy z neapolské univerzity a Eugenia Fazio z římské univerzity La Sapienza).

Konference o laserech se zúčastnilo přes 60 účastníků a pokrývala aspekty různých typů laserů: polovodičových, s kvantovými tečkami, diodově čerpaných, vláknových, ultrarychlých, parametrických a využití materiálů pro lasery a nelineární optiku. Již zaběhnuté konference o mikrosystémech se zúčastnilo přibližně 140 účastníků a pojednávala o mikrofluidických a optofluidických systémech, fotonických krystalech, nelineárních a kvantových jevech v mikrozařízeních. Většina přednesených příspěvků měla vysokou hodnotu a ukázala, kam se optika a fotonika v Evropě ubírají.

Účast delegátů z ČR byla umožněna díky grantu MŠMT INGO.

Miroslav Jedlička, Pavel Tománek

Ing. Miroslav Jedlička, CSc., Česká a slovenská společnost pro fotoniku, Jemenská 581, Praha 6, e-mail: jedlickam@volny.cz, tel.: 235 353 180

Prof. RNDr. Pavel Tománek, CSc., Ústav fyziky FEKT VUT, Technická 8, 616 00 Brno, tomanek@feec.vutbr.cz

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

Rovnice a vzorce uváděné na samostatných řádcích musí být vytvořeny modulem pro matematiku editoru MS WORD, rovnice a vzorce, které jsou součástí textu na řádku, zapisujte pomocí vložených symbolů, nikoliv zmíněným modulem. Při psaní matematických a chemických výrazů dodržujte základní pravidla: Veličiny pište kurzívou, matice tučně stojatě (antikva), vektory a skaláry tučnou kurzívou. Úplný (totální) diferenciál „d“ vždy stojatě. Ludolfovo číslo „ 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 obrázek v souboru typu *.doc. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie nejméně 200 dpi a pro barevné nejméně 300 dpi. Při generování obrázků v COREL DRAW do souboru typu *.EPS převedte text do křivek. U souborů typu *.JPG používejte takový stupeň komprese, aby byla zachována co nejlepší kvalita obrázku. Velikost písma v obrázcích by neměla klesnout pod 1,5 mm (při předpokládané velikosti obrázku po zalomení do tiskové strany).

Pokyny k předávání příspěvku

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

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

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

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

Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci

Roman KUBÍNEK, Pavel HORVÁTH

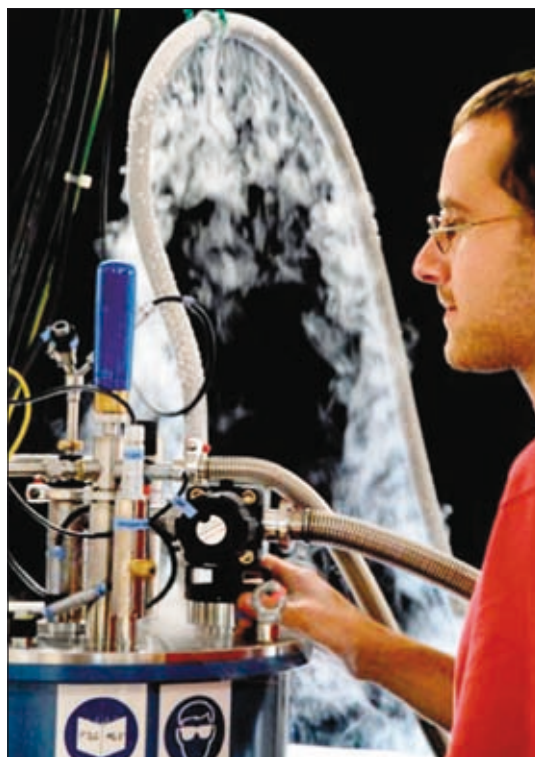
V operačním programu „Vzdělávání pro konkurenceschopnost“, v rámci Evropského sociálního fondu, získala Univerzita Palackého v Olomouci nemalé finanční prostředky. Její Přírodovědecké fakultě se podařilo získat rovněž několik projektů, z nichž většina byla zaměřena na rozvoj vzdělávání ve fyzikálních oborech. Vedle projektů zaměřených na moderní optiku, optometrii nebo moderní formy ve výuce fyziky, bylo zahájeno řešení projektu „Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky“. Garanty projektu jsou pracoviště katedra experimentální fyziky (KEF) a Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky (SLO UP a FZÚ AV ČR).

Studijní obor Aplikovaná fyzika (AF) je jediným oborem v ČR, který má akreditovány všechny stupně studia (Bc., Mgr., Ph.D.), a lze v něm konat habilitační a profesorská řízení. Hlavním cílem projektu je dosáhnout většího propojení studia s výzkumnou a vývojovou činností. K tomu, aby studenti pochopili, že implementace dosažených výsledků do reálných technických, technologických a ekonomických procesů zvyšuje konkurenceschopnost podniků a ekonomiky jako celku, je třeba posílit studium v předmětech zaměřených na základy moderních technologií a zvládnout konkrétní praktické aplikace, včetně dopadů na ekonomické indikátory konkurenceschopnosti. I z tohoto důvodu je projekt řešen společně s partnerskou organizací - Moravskou vysokou školou Olomouc (MVŠO), jejíž řešitelé budou hledat vazbu mezi výzkumem a technologickými inovacemi s ekonomickými ukazateli.

Cílové skupiny projektu tvoří nejen studenti oboru „Aplikovaná fyzika“, ale rovněž i navazujícího magisterského oboru „Nanotechnologie“ a bakalářského oboru „Přístrojová fyzika“. Do cílové skupiny patří i studenti MVŠO, kteří jsou vytipováni ze skupiny zájemců o moderní technologie a aspekty jejich implementace do praxe. Projekt je členěn do 9 klíčových aktivit, které zahrnují následující cíle:

- Inovovat obor AF jako celek ve všech stupních strukturovaného studia (Bc., Mgr., Ph.D.) tak, aby připravené kurzy a moduly inovovaly obor v souladu s požadavky znalostní ekonomiky a potřebami trhu práce a nebyla přitom narušena platnost stávající akreditace.
- Zapojit odborníky žadatele i partnera, spolupracující odborníky z praxe i ze stávajících partnerských zahraničních pracovišť. Očekává se, že jejich role v projektu povede ke zlepšení praktických (aplikačních) dovedností a znalostí studentů na příslušných úrovních studia.

- Spuštění webového portálu, jehož cílem bude poskytnout moderní platformu pro popularizaci a předávání informací potenciálním studentům i studentům oboru AF (zvýšení povědomí o existenci oborů, jejichž modernizace je předmětem tohoto projektu, přehled o uplatnění absolventů, o výzkumných projektech řešených na pracovištích předkladatelů a spolupracujících pracovištích) a zejména pro diskusi na fyzikální témata úzce či volněji vázaná k zaměření modernizovaných studijních oborů.
- Vytvářet na úrovni bakalářského studia „autonomní mikrotýmy“, zapojením studentů do projektů diplomantů pod vedením pedagoga, s cílem osvojit si metodologii vědecké práce.



Studenti oboru aplikované fyziky pracují se špičkovou technikou – aparatura umožňující měření Mössbauerových spekter v širokém rozmezí teplot a v silných magnetických polích.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Moderní technologie ve studiu aplikované fyziky
CZ.1.07/2.2.00/07.0018

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Experimentální práce studentů v optických laboratořích SLO UP a FZÚ AV ČR.

- Zapojit studenty magisterského studia do týmu se studenty doktorského studia AF, rozvíjet jejich spolupráci na projektech pracoviště i praxe, zejména na tuzemských pracovištích (AV ČR, podniky a instituce v regionu).
- Zapojit studenty doktorského studia do národních a mezinárodních projektů řešených na pracovišti garantů projektu i spolupracujících subjektů a motivovat je k přípravě vlastních projektů (FRVŠ, vnitřní granty UP apod.).
- Připravit pro jednotlivé etapy studia učební celky modulárního typu a realizovat je pro prezenční i potenciálně distanční formu studia (příprava distančních e-learningových opor).
- Připravit výukový modul zaměřený na moderní technologie pro studenty MVŠO.



Studenti doktorského programu se podílejí na řešení významných vědeckých projektů – montáž teleskopu pro oblast kosmického výzkumu v rámci mezinárodního projektu Pierre Auger Observatory v Argentině.

- Využit připravených materiálů nejenom k podpoře výuky systematického studia, ale i pro účely nejrůznějších rozšiřujících a doplňkových workshopů a kurzů.

Bylo by jistě možné předložit řadu předmětů, které budou modernizovány, i předměty, které budou zcela nové a objeví se v nabídce předmětů v kategorii povinně volitelných či volitelných a přístupných i pro ostatní studenty Univerzity Palackého. Uvedme však příklad jedné z klíčových aktivit zaměřené na tvorbu studentských výzkumných týmů. Tato aktivita sleduje vytváření propojení mezi studenty různých studijních programů. To znamená vytvářet výzkumné týmy vedené studenty doktorského studijního programu, kde jsou členy studenti magisterských a bakalářských studijních programů nejen aplikované fyziky, ale i jiných oborů. Do týmů budou zapojeni právě i studenti ekonomie a managementu MVŠO, s cílem posoudit ekonomické aspekty transferu případných výsledků do praxe, např. cestou zakládání spin-off firem. Hlavním cílem aktivity je na jedné straně nadchnout studenty již na počátku vysokoškolského studia pro vědu a vědeckou kariéru tím, že se stanou platnými členy výzkumného týmu. Na straně druhé vlastní výzkum týmu orientovat aplikačním směrem, což bude studenty



Nová budova Přírodovědecké fakulty UP na Tř. 17. listopadu 12, kde se realizuje výuka studentů v teoretických předmětech a základním kurzu fyziky včetně praktických cvičení.

nutit zamýšlet se nad využitím výsledků a ekonomickými přínosy výsledků výzkumu. Jednotlivé týmy budou řešit dílčí výzkumné úkoly a jako tým prezentovat pravidelně výsledky na seminářích. Dojde k provázání disertačních, diplomových a bakalářských prací. Studenti doktorských studijních programů budou působit ve funkcích vedoucích bakalářských a diplomových prací. Zkušenosti pedagogové a vědeckí pracovníci budou zejména konzultanti jednotlivých týmů. Konečné výsledky budou zveřejňovány formou publikací, závěrečných studentských prací, či formou průmyslové ochrany.

Základní informace o projektu lze nalézt na webových stránkách garantujících pracovišť – KEF (<http://apfyz.upol.cz/>) a SLO UP a FZÚ AV ČR (<http://jointlab.upol.cz/slo/>).

Doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc., katedra experimentální fyziky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci, Tř. 17. listopadu 1192/12, Olomouc, 771 46, tel.: 585634286, e-mail: roman.kubinek@upol.cz

RNDr. Pavel Horváth, Ph.D., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu 50a, Olomouc, 772 07, tel.: 585 631 569, e-mail: pavel.horvath@upol.cz

Hodnocení strukturních změn v epoxidové pryskyřici sledováním vnitřního tlumení

Epoxidové pryskyřice jsou polymerní materiály, které dosahují svých konečných mechanických parametrů až po vytvoření již dále neměnné vnitřní struktury. Doba 48 hodin při teplotě vytvrzování 25 °C je obecně považována za postačující k zajištění těchto parametrů. Tvorby konečné struktury ale probíhá mnohem déle. Změny, ke kterým v materiálu dochází, jsou dobře postižitelné stanovením jeho vnitřního tlumení.

Klíčová slova: vnitřní tlumení, epoxidová pryskyřice

VNITŘNÍ TLUMENÍ

Vnitřním tlumením v materiálu rozumíme pochody, které provázejí periodickou deformaci materiálu při určité velikosti vnějšího napětí. Charakter těchto pochodů je dán tím, že se část energie deformace v každém napěťovém cyklu přemění v energii tepelnou, popřípadě energii vnitřní. Vnitřní tlumení je složitým jevem spočívajícím na celé řadě dílčích a vzájemně se podmiňujících vztahů ve vnitřní stavbě materiálů.

V ideálně pružném tělese se deformace ustaví okamžitě po vložení napětí – její velikost je přímo úměrná napětí a s časem se nemění. V ideálně viskózní kapalině vztah mezi napětím σ a deformací ε vyjadřuje Newtonův zákon $\sigma = \eta \cdot d\varepsilon/dt$, kde η představuje viskozitu. Chování reálných materiálů se k chování ideálně pružného tělesa a ideálně viskózní kapaliny více nebo méně přibližuje. Amplitudy vibrací vybuzených v reálném tuhém tělese klesají v průběhu času k nule a pružná energie původně dodaná do systému se nevratně mění v energii tepelnou, která se v systému a jeho okolí postupně rozptyluje. Uvedený proces přeměny energie je způsoben řadou mechanismů, které je možné souhrnně označit jako vnitřní tlumení. Jeho velikost je popsána ztrátovým činitelem $tg\delta$, který není materiálovou konstantou. Reálné materiály se chovají anelasticky. Při jejich cyklickém zatěžování dochází ke zpoždění deformace ε za napětím σ a toto zpoždění je vyjádřeno fázovým posuvem deformace δ . Materiály, které vykazují tuto zpožděnou deformaci, se označují jako viskoelastické. Příčinou tlumení kmitů je překonávání vnitřních tření v materiálu tělesa, ke kterému je třeba určitého množství energie v každém cyklu. Celková energie kmitů se v každém cyklu zmenší o jisté množství, které se spotřebuje na překonávání odporů ve hmotě, a tím celková energie kmitů postupně klesá až k nule [1].

Experimentálně nejsnáze dosažitelná veličina k určení velikosti tlumení je logaritmický dekrement útlumu λ , který je dán vztahem

$$\lambda = \ln \frac{A_n}{A_{n+2}}, \quad (1)$$

kde A_n vyjadřuje velikost n -té amplitudy, A_{n+1} velikost amplitudy, která jí následuje v n -tém cyklu tlumených kmitů. Vzájemná závislost ztrátového činitele $tg\delta$ a logaritmického dekrementu tlumení λ je určena vztahem

$$tg\delta = \frac{\lambda}{\pi}. \quad (2)$$

VNITŘNÍ TLUMENÍ V POLYMERNÍCH MATERIÁLECH

Deformační chování polymerních materiálů vyvolané opakovaným zatěžováním je komplikované, neboť je ovlivněno jejich viskoelastickým chováním.

Viskoelastické chování polymerů se vyznačuje jistými společnými znaky. Celková deformace materiálu je funkcí napětí a času a je vratná jen zčásti. Práce spotřebovaná k deformaci zatěžovaného tělesa se ukládá částečně jako potenciální energie (tuto část je možné získat zpět), částečně se ztrácí ve formě tepla. Poměr mezi napětím a deformací není materiálovou konstantou, ale je funkcí času, po který zatížení působí (tato hodnota se nazývá časově závislý modul pružnosti). Deformace polymerního tělesa je brzděna i vnitřními odpory ve hmotě, a proto nemůže nastat okamžitě.

V případě viskoelastického chování je důležité znát teplotu, při které je materiál zatěžován. Dalším parametrem, který může zásadním způsobem ovlivnit chování materiálů, je rozdílná rychlost deformace. Celá řada polymerních materiálů je v praxi namáhána opakovanými silami. Pokud působí na polymery ve skelném nebo kaučukovitě pružném stavu proměnlivé síly, projevuje se jejich viskoelastická vnitřní tlumením. Schopnost tlumení kmitů mají viskoelastické materiály, tedy polymery, lepší než kovy. Absorbovaná energie se mění uvnitř polymeru v teplo a je tedy nutné počítat se vzrůstem teploty dynamicky namáhaného materiálu a současně s poklesem jeho pevnosti a modulu pružnosti.

Čím vyšší je hodnota velikosti ztrátového činitele $tg\delta$, tím větší je útlum kmitů a tedy i část mechanické energie, která se materiálem pohltí a přemění v teplo. V rámci širšího teplotního rozmezí se ztrátový činitel $tg\delta$ mění tak, že dosahuje maxima v oblasti teploty skelného přechodu T_g příslušného polymeru. Existence tohoto maxima souvisí s měnící se pohyblivostí úseků makromolekulárních řetězců a se značným zpožděním jejich pohybů za působícím napětím v oblasti teploty T_g . Pod teplotou skelného přechodu jsou polymerní řetězce nepohyblivé a ztrátový činitel $tg\delta$ je relativně malý. Nad teplotou skelného přechodu ve stavu kaučukovitě jsou tyto řetězce naopak značně pohyblivé a schopnost jejich pohybu se oproti působícímu napětí časově zpožďuje jen nepatrně a $tg\delta$ tedy opět klesá. Ztrátový činitel $tg\delta$ se u tétož plastu mění s teplotou a frekvencí zatěžování [2, 3].

EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE

Epoxidové pryskyřice na bázi dianu vytvrzované běžnými tvrdidly jsou tuhé až křehké hmoty se sklonem k praskání. Uvedené nedostatky se odstraňují modifikací (plastifikací a flexibilizací), čímž se dosahuje vyšší pružnosti, ohebnosti, rázové houževnatosti a nižšího vnitřního pnutí. Vytvrzené epoxidové pryskyřice jsou hmoty s vysokým modulem pružnosti, vysokými pevnostmi v tahu a ohybu. Mají výbornou tvarovou stálost, velmi dobré elektrické vlastnosti i za vysokých teplot a jsou středně navlhavé. Epoxidové pryskyřice se s výhodou využívají jako licí hmoty. Vyplňují tak oblast mezi tradičními materiály a termoplasty a nacházejí uplatnění v nejrůznějších oborech pro četné aplikace [4].

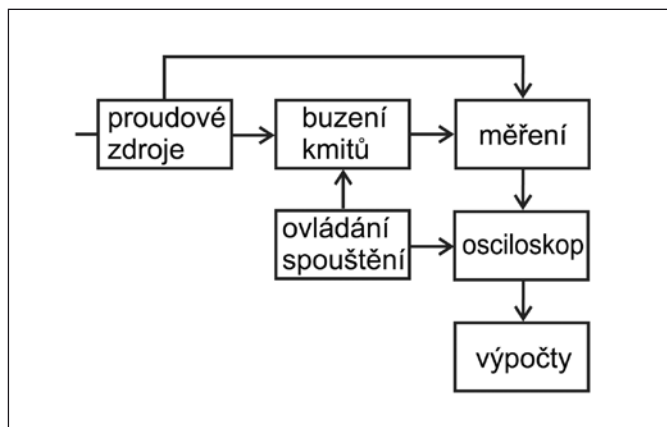
Byla sledována neplněná epoxidová pryskyřice na bázi dian-diglycidyletheru – ChS-Epoxy 371. Jedná se o středněmolekulární modifikovanou pryskyřici, reagující s vhodnými tvrdidly v doporučeném poměru při normální nebo zvýšené teplotě. Nevytvrzená pryskyřice má vzhled žlutohnědé, silně viskózní kapaliny o specifické hustotě $1,13 \text{ g/cm}^3$. K vytvrzování pryskyřice se obvykle používá tvrdidlo P11 (diethylenetriamin) [5].

MĚŘENÍ VNITŘNÍHO TLUMENÍ

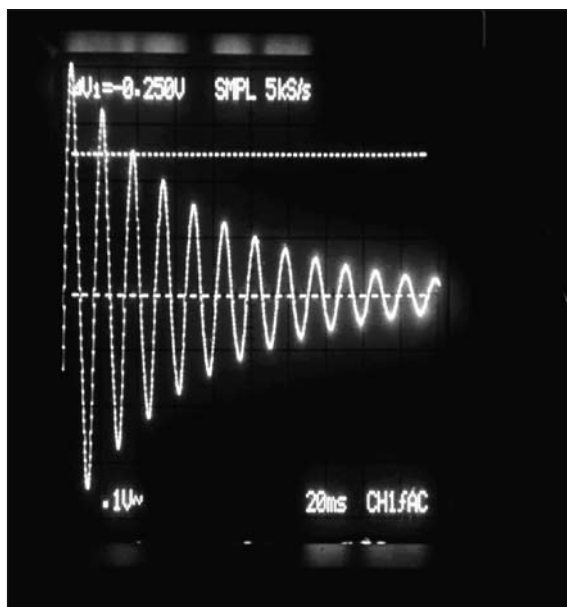
Měření vnitřního tlumení v pevných látkách je založeno na zjišťování průběhu tlumených kmitů ve sledovaných materiálech vyvolaných působením vnějších sil. K měření vnitřního tlumení bylo použito zařízení, které je jednou z modifikací dynamicko-mechanické analýzy.

Základními prvky použitého zařízení jsou: část pro buzení volných kmitů vzorků materiálů a část pro vyhodnocování jejich útlumu – viz obr. 1. Měřicí zařízení bylo určeno pro měření v oboru nízkých frekvencí (50 až 100 Hz), při laboratorní teplotě v okolí $22 \text{ }^\circ\text{C}$ a atmosférickém tlaku.

Mechanická část zařízení pro buzení kmitů je tvořena držákem pro upevnění vzorků, říditelným elektromagnetickým generátorem buzení kmitů, držákem fotoelektrického prvku výškově nastavitelným vůči cloně na vzorku a držákem osvětlovací žárovky s výstupní štěrbinou. V mezeře mezi nimi se pohybuje clona umístěná na vzorku.



Obr. 1 Blokové schéma zařízení pro měření vnitřního tlumení



Obr. 2 Typický průběh tlumeného kmitu neplněné epoxidové pryskyřice zobrazený na stínítku paměťového osciloskopu

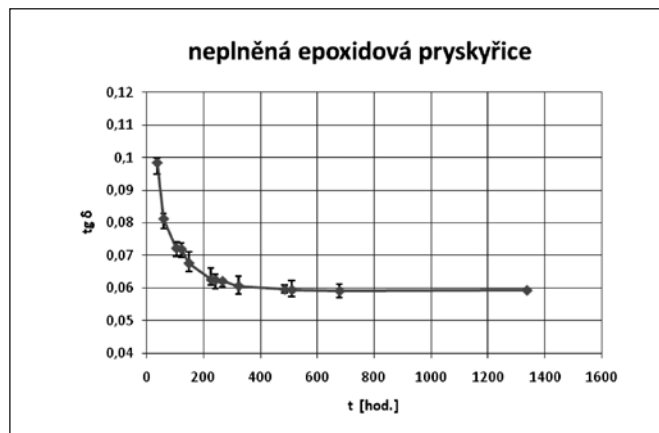
Vlastní měření probíhá při konstantní amplitudě výchozích kmitů, které zajišťuje zachování stejných podmínek pro všechny experimenty. Konstantní počáteční amplituda kmitů, daná mezivrcholovou výhylkou konců vzorků, byla 3 mm. Vyhodnocovány jsou amplitudy tlumených kmitů ve stejné části odezvy, a to pro dosažení minimálního rozptylu souboru hodnot z každého měření. Pro dané experimentální podmínky byla navržena a realizována metoda, kdy je vzorek ve tvaru trámku obdélníkového průřezu jednostranně upevněn jako vetknutý nosník.

Průběhy tlumených kmitů jsou zobrazeny na stínítku paměťového osciloskopu – obr. 2, jsou odečítány jednotlivé amplitudy a naměřené hodnoty jsou dále zpracovány výpočtem podle příslušných vztahů.

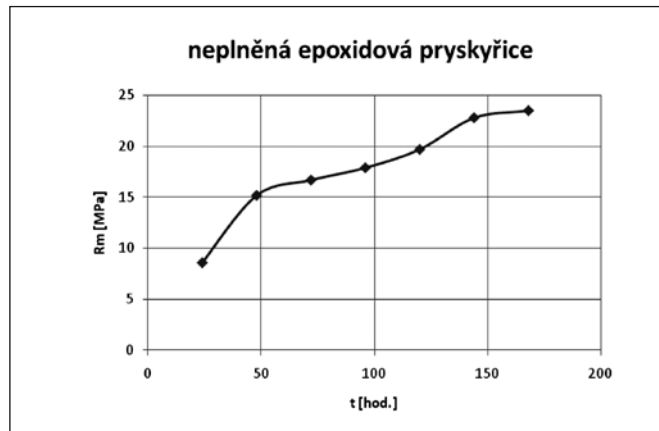
VNITŘNÍ TLUMENÍ NEPLNĚNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

Epoxidové pryskyřice vykazují po vytvrzení postupný nárůst pevnosti v tahu a modulu pružnosti, a to v delším časovém intervalu řádu stovek hodin. Sledovaná licí epoxidová pryskyřice vykazuje časovou závislost nárůstu mechanické pevnosti způsobenou zřejmě dvěma mechanismy: chemickou reakcí mezi pryskyřicí a tvrdidlem a následným navazujícím procesem zesíťování, který probíhá dlouhodobě. Změny struktury takového polymeru je možné pozorovat také na časové změně hodnot ztrátového činitele $\text{tg } \delta$, která v čase po vytvrzení exponenciálně klesá a dosahuje stálých hodnot po cca 500 hodinách (cca po 20 dnech) při běžných laboratorních teplotách v okolí $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tato důležitá skutečnost, experimentálně zjištěná – viz obr. 3, je dokladem o probíhajících změnách na molekulární úrovni. Obdobné změny hodnot vnitřního tlumení je možné pozorovat



Obr. 3 Graf závislosti ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ na době vytvrzování typické licí neplněné epoxidové pryskyřice ChS-Epoxy 371



Obr. 4 Graf závislosti růstu meze pevnosti v tahu R_m pro neplněnou epoxidovou pryskyřici

i u kompozitních materiálů vytvořených na bázi této leč pryskyřice a různých druhů plniva. Údaje o časové závislosti klesající velikosti vnitřního tlumení reprezentované měřením ztrátového činitele $tg\delta$ jsou uvedeny pro časový interval 0 až 60 dní po vlastním vytvrzení.

Z uvedeného poznatku zároveň vyplývá, že i při sledování hodnot dalších mechanických parametrů je třeba tuto časovou závislost respektovat. Tato zjištění se týkají materiálů, které nebyly po vytvrzení podrobeny temperování při zvýšených teplotách, kdy řada vnitřních procesů probíhá rychleji.

Podobnou závislost vykazuje mez pevnosti v tahu R_m , která s časem stoupá do prakticky konečné hodnoty. Údaje o této závislosti růstu mechanické pevnosti v kratším časovém intervalu (cca 10 dní) byly sledovány a popsány v disertační práci [6] – viz obr. 4 převzatý z dané práce.

ZÁVĚR

Vnitřní tlumení v pevných látkách může být zdrojem poznatků o chování reálných materiálů podrobených dynamickému namáhání v oblasti elastických deformací a rozšířit tak informace o jejich vlastnostech získávaných statickými zkouškami. Statické namáhání realizované tahovými zkouškami je metodou destruktivní – dynamické namáhání v oblasti malých deformací je citlivou metodou nedestruktivní.

Zjištěná časová závislost ztrátového činitele tlumení $tg\delta$ a současně časová závislost pevnosti v tahu [6] jsou novým a důležitým výsledkem. V literatuře [4, 5] se považuje doba vytvrzování 48 hodin za postačující k dosažení konečných fyzikálně-mechanických parametrů. Všechna měření by ale měla být prováděna po 20 dnech od zhotovení vzorků. Autoři [7, 8, 9, 10] tuto časovou závislost neuvádějí a měření provádějí na materiálech podrobených temperování.

Práce byla realizována v rámci projektu MSM 4674788501 – Optimalizace vlastností strojů v interakci s pracovními procesy a člověkem.

Literatura

- [1] Menard, K. P. Dynamic mechanical analysis. A practical introduction. CRC Press, 1999.
- [2] Sperlink, L. H. Introduction to physical polymer science. 2nd ed., New York, John Wiley & Sons, Inc. 1992.
- [3] Meissner, B., Zilvar, V. Fyzika polymerů. SNTL, Praha, 1987.
- [4] Lidařík, M. Epoxidové pryskyřice. 3. vydání, SNTL, Praha, 1983.
- [5] Firemní literatura. ChS-Epoxy 371 – epoxidová pryskyřice. Ústí nad Labem. Spolek pro chemickou a hutní výrobu a.s., 1990.
- [6] Kroisová, D. Ultramikroskopické částice v polymerních kompozitních systémech. Disertační práce. TUL, Liberec, 2002.
- [7] Rajoria, H., Jajili, N. Passive vibration damping enhancement using carbon nanotube – epoxy reinforced composites. In: Composite Science and Technology 65 (2005) 2079 – 2093.
- [8] Gu, J., Wu, G., Zhang, Q. Preparation and damping properties of fly ash filled epoxy composites. In: Materials Science and Engineering A 452 – 453 (2006) 614 – 618.
- [9] Gu, J., Wu, G., Zhang, Q. Effect of porosity on the damping properties of modified epoxy composites filled with fly ash. In: Scripta Materialia 57 (2007) 529 – 532.
- [10] Shi, G., Zhang, M. Q., Rong, M. Z., Wetzal, B., Friedrich, K. Friction and wear of low nanometer Si_3N_4 filled epoxy composites. In: Wear 254 (2003) 784 – 796.

Doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D., Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, katedra materiálu, Studentská 2, 461 17 Liberec, tel.: +420 048 535 137, e-mail: dora.kroisova@tul.cz

V Rusku se připravuje ke startu Industrial Trade Fair Moscow

Veletržní správa Deutsche Messe Hannover pokračuje ve svém kurzu zaměřeném na mezinárodní expanzi a v září 2010 v Moskvě poprvé uspořádá čtyři nové průmyslové veletrhy. Pod společnou značkou „Industrial Trade Fair Moscow“ se **od 28. září do 1. října 2010 uskuteční MDA RUSSIA, Industrial Automation RUSSIA, Surface RUSSIA a CeMAT RUSSIA**. Tyto čtyři veletrhy představí technologická řešení z oblastí techniky pohonu a fluidní techniky, průmyslové automatizace, povrchové techniky a intralogistiky. Místem konání je All-Russian Exhibition Center,

jedno ze tří nejvýznamnějších výstavišť v Moskvě. Kooperačním partnerem je ITE Group Plc, anglická veletržní společnost s pobočkami v jedenácti zemích. Jen v Rusku skupina ročně zorganizuje 50 výstav a konferencí.

Brigitte Mahnken

Další informace a fotografie naleznete na internetu na adrese www.messe.de/presseservice

Měření drsnosti obrobených ploch optickou metodou založenou na fázové vizualizaci

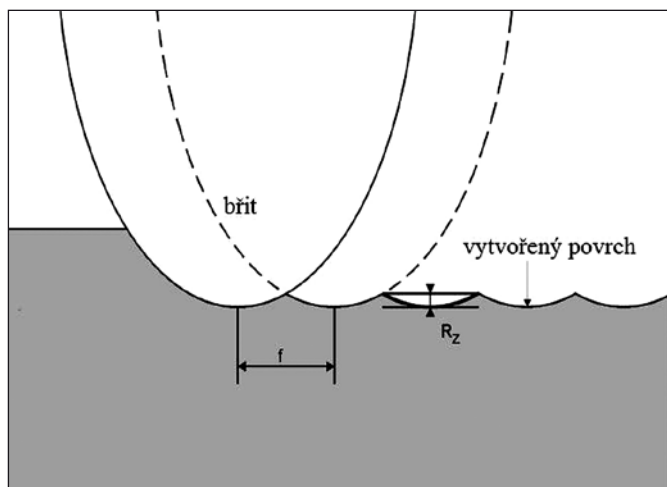
Příspěvek je věnován návrhu, rozpracování a základním výsledkům aplikace bezdotykové optické metody navržené pro měření drsnosti strojně obrobených ploch. Metoda umožňuje analýzu spektra povrchu osvětleného laserovým paprskem pomocí rozostřeného optického zobrazení. Získané výsledky poukazují na velmi dobrou korelaci mezi naměřenými parametry obráběných povrchů a etalonovými hodnotami.

1. ÚVOD

Požadavky na kvalitu a úroveň metrologických metod se zvyšují a roste potřeba vývoje co nejpřesnějších kontrolních technik. Vysoké technické úrovni dosáhl vývoj v praxi nejpoužívanějších dotykových profilometrů. Hlavní nevýhodou těchto mechanických profilometrů však zůstává nutnost přímého dotyku bříty s měřeným povrchem a destrukce povrchu součástek z měkkých materiálů. Jejich přesnost a citlivost je limitována vznikem nežádoucí rezonanční frekvence měřicího hrotu při jeho pohybu po měřeném povrchu. Tyto nevýhody mohou principiálně odstraňovat bezkontaktní měřicí přístroje vyvíjené zejména na bázi optiky. Optické metody měření mohou navíc odstraňovat přílišnou selektivnost výsledků a podávat tak komplexnější informace o stavu povrchu. Byla vyvinuta již celá řada bezkontaktních optických, ale i neoptických metod jako jsou ultrazvukové, rentgenometrické a další [1], [2], [3], [4]. Se specifickým řešením metody měření povrchů strojně generovaných souvisela i potřeba nově navrhnout a verifikovat metodu pozorování drsného povrchu pomocí optického zobrazení s následnou analýzou (frekvenční) fotoelektrického signálu.

2. FYZIKÁLNÍ PODSTATA VZNIKU NOVÉHO POVRCHU

Vytvoření nového povrchu strojního obrobku je strojně-technologickým procesem, který probíhá za složitých fyzikálních podmínek, které jsou dány bezprostředním působením obráběcího nástroje (nože) na povrchovou vrstvu materiálu obrobku do určité hloubky při současném oddělování povrchové vrstvy (třísky).



Obr. 1 Schéma vytváření nového povrchu při interakci s břitem nože

Způsob tvorby třísky z hlediska vzniku nového povrchu a jeho kvality je zkoumán ve více pracích [1], [5], [6]. Schematicky lze princip vytváření nového povrchu obrobku znázornit podle obr. 1.

Při malých posuvech lze teoretickou drsnost povrchu počítat [5]

$$Rz = \frac{f^2}{8r_e}, \quad (1)$$

kde: r_e – poloměr zaoblení hrotu [mm],
 f – rozteč [mm].

Výše znázorněné schéma je zjednodušením procesu vzniku nového povrchu obrobku a prezentuje jeho základní parametry. Jak odtud vyplývá, jde o parametry geometrické, silové a napětově deformační. Mechanismus tvorby třísky a nového povrchu bychom tedy z ryze fyzikálního hlediska označili za proces probíhající v kombinovaném silovém a napětově-deformačním poli, v čase a prostoru koncentrovaném do oblasti bříty a s parametry, které jsou závislé na okamžité interakci akčních a reakčních sil, tvaru bříty, materiálu bříty i obrobku a na technologii obrábění.

Někteří autoři [1], [2], [5] přisuzují rozdílnost teoretické a skutečné drsnosti povrchu typu třísky, která vzniká při řezání. Neplynulá (článekovitá) tříska se tvoří a odděluje od obrobku takovým způsobem, že vznikají na povrchu značné nerovnosti a trhliny. Dochází tím ke kolísání řezné síly i chvění nástroje. Podobné zhoršení vyvolávají u tzv. plynulé třísky ty řezné podmínky, při kterých se tvoří nárůstek. Nárůstek vzniká fyzikálně-chemickým ztuhnutím materiálu v oblasti bříty nože a má vliv na proces tvorby třísky, kvalitu nového povrchu a stav bříty nástroje.

Povrchové vrstvy materiálu podléhají změnám v blízkosti bříty nástroje. Zrna materiálu jsou působením nástroje deformována a tato deformace je ukončena jejich porušením, tj. lomem [5]. Druh a charakter lomu závisí na obráběném materiálu, jeho krystalické stavbě a na podmínkách deformace, které jsou pro obrábění určovány především řeznými podmínkami. Lom ve většině případů probíhá skluzovým mechanismem (dislokační proces) nebo dvojčatením. Výsledná lomová plocha musí být posuzována z hlediska zatěžovacích sil a napětí, které při jejím vzniku působilo, dále z hlediska nutné energie a rychlosti šíření počáteční trhliny a z hlediska morfologie lomové plochy.

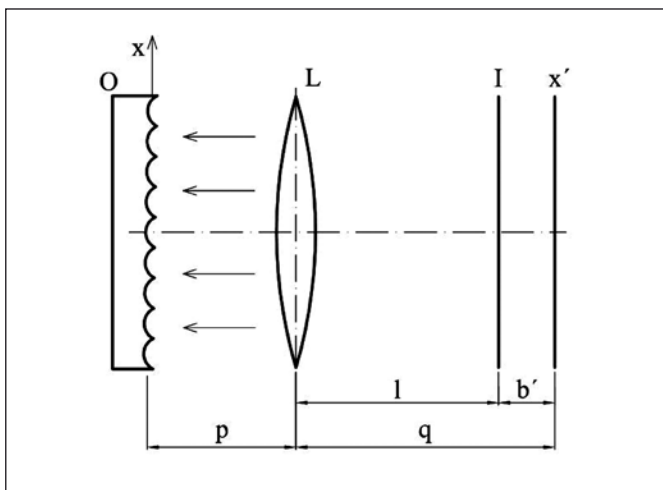
3. OPTICKÁ DETEKCE PROFILU POVRCHU

Optický princip sledování povrchového profilu vychází z představy, že povrch je složen z fázových nehomogenit. Při dopadu světelného svazku na takový povrch dochází k interakci a zejména na kovových površích k následnému zrcadlení paprsků. Fázové roz-

díly mezi jednotlivými body drsného povrchu je možné jednoduše zviditelnit např. pomocí rozostření obrazové roviny při promítnutí obrazu osvětleného povrchu.

Prakticky jde o případ daný specifickým charakterem drsnosti, který je ovšem ve strojírenských technologiích nejčastější, protože vychází ze základních technologií obrábění. Rýhy po nástroji jsou obvykle rozloženy pravidelně v jednom směru a dominantní tvar jejich profilu je cylindrický. Použité etalony byly obrobena hoblováním a broušením (vzorkovnice VP 1-4).

Vizualizace fázového rozložení světla po odrazu na povrchu objektu je prakticky provedena posunutím fotodetektoru o určitou vzdálenost l vůči zobrazovací rovině, jak znázorňuje schéma na obr. 2. Při malém rozostření vzniká „fázová vizualizace“ zrcadlově odražených kovových objektů, jejichž drsnost-vlnitost je mnohokrát větší, než je vlnová délka použitého světla [7]. Tento jev nastává vlivem faktu, že inverzní Fourierova transformace se v tomto případě neuskutečňuje úplně. Při vyšetřování vlastností metody byla určována amplituda vlnoplochy světla $t_1(x)$ v rovině I, která se nachází za čočkou L ve vzdálenosti $l \neq q$.



Obr. 2 Schéma fázové vizualizace rozostřením, kde: O je vzorek osvětlený kolimovaným svazkem světla, L – čočka vytvářející obraz vzorku ve vzdálenosti q , I – stínítko ve vzdálenosti $l \neq q$ čočky L, l – vzdálenost rozostření, p , q – předměťová vzdálenost, resp. obrazová vzdálenost

Když zavedeme parametr

$$b = \frac{\lambda}{4\pi}(q-l) \quad (2)$$

a $T(\omega)$ je Fourierův obraz fázového objektu $t(x)$, potom

$$t_1(x) = \frac{1}{2\pi} \int T(\omega) \exp(i\omega x) \exp(ib\omega^2) d\omega \quad (3)$$

Jestliže je b dostatečně malé, můžeme vzít pouze první členy rozvoje

$$\exp(ib\omega^2) \approx 1 + ib\omega^2, \quad (b\Omega^2 \ll 1), \quad (4)$$

kde Ω je maximální prostorová frekvence obsažená ve spektru funkce $t(x)$, tedy

$$\begin{aligned} t_1(x) &= \frac{1}{2\pi} \int T(\omega) \exp(i\omega x) [1 + ib\omega^2] d\omega = \\ &= t(x) + \frac{ib}{2\pi} \int T(\omega) \omega^2 \exp(i\omega x) d\omega \end{aligned} \quad (5)$$

Vycházíme z vlastnosti Fourierovy transformace

$$\int T(\omega) \omega^2 \exp(i\omega x) d\omega = -\frac{d^2 t(x)}{dx^2}, \quad (6)$$

potom komplexní amplituda rozostření zobrazení

$$t_1(x) = t(x) - id \frac{d^2 t(x)}{dx^2}. \quad (7)$$

Je-li pro fázový objekt $t(x) = \exp[i\varphi(x)]$,

potom

$$\frac{d^2 t(x)}{dx^2} = \exp[i\varphi(x)] \left\{ i \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} - \left(\frac{d\varphi(x)}{dx} \right)^2 \right\}, \quad (8)$$

nebo

$$t_1(x) = t(x) \left\{ 1 + b \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} - ib \left(\frac{d\varphi(x)}{dx} \right)^2 \right\}. \quad (9)$$

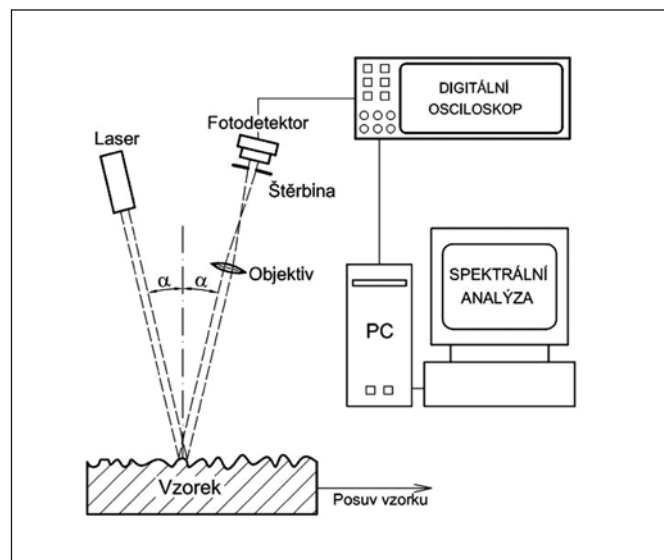
Rozdělení intenzity v rovině rozostřeného zobrazení objektu

$$I(x) = |t_1(x)|^2 \approx 1 + 2b \frac{d^2 \varphi(x)}{dx^2} \quad (10)$$

ukazuje, že při nevelkém rozostření nastává vizualizace druhé derivace funkce $t(x)$ profilu povrchu, která je jak známo přímo úměrná poloměru křivosti zrcadlově odraženého povrchu. Veličina a znaménko distribuce intenzity v zobrazení jsou určeny koeficientem b . Hodnota b je závislá na vzdálenosti rozostření l a na vlnové délce světla.

4. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VÝSLEDKY

Měřicí sestava využívající snímání fázových nehomogenit povrchového profilu je schematicky znázorněna na obr. 3.



Obr. 3 Schéma měřicí sestavy

Laserový svazek kolimovaný na měřenou plochu dopadá na povrch vzorku, který se pohybuje ve stanoveném směru vhodné volené rychlostí. Dopadající svazek je odražen nerovnostmi povrchu podle zákona odrazu směrem k objektivu a přes štěrbinu, která je umístěna v rovině blízké rovině zobrazení, je snímáno rozložení intenzity světla fotodetektorem. Skenování je zabezpečeno pohybem vzorku, optický signál převedený na elektrický potom

představuje časově závislou veličinu intenzity úměrné intenzitě světla. Elektrický signál je zpracován digitálním osciloskopem a převeden na PC s programem pro vyhodnocení signálu. Digitální osciloskop a PC jednotka tak zajišťují pomocí vhodného softwaru s rychlou Fourierovou transformací (FFT) frekvenční analýzu signálu. Frekvence spektra se pak převádějí pomocí známé rychlosti pohybu vzorku na prostorové frekvence, resp. laterální rozměry (periody) nerovností měřeného profilu.

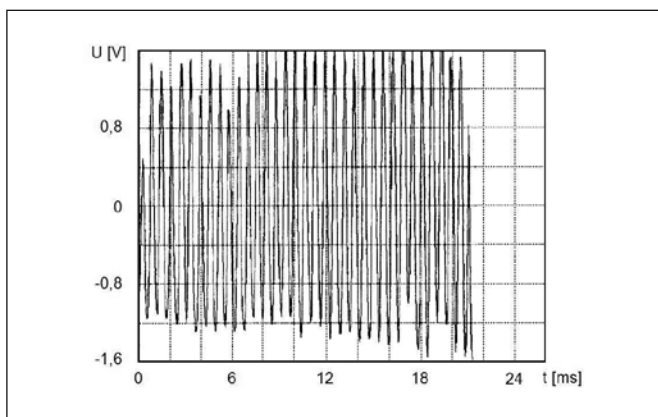
Při měřeních byl jako osvětlující zdroj použit laser Nd YAG s vlnovou délkou 532 nm a s výstupním výkonem cca 50 mW. Nerozšířeným svazkem průměru 4-5 mm byl osvětlen povrch vzorku a obraz této osvětlené oblasti na vzorku se promítal objektivem s velkou světelností 1:1,4 a ohniskovou vzdáleností $f = 85$ mm. Zvětšení promítaného obrazu bylo přibližně v rovině fotodetektoru asi 2,5 krát.

Měření bylo uskutečněno na 12 etalonových vzorcích V1 – V12, která jsou obsahem normované vzorkovnice VP1 – 4. Klíčová hodnota rozteče nerovností (s), interpretačně stanovená podle naměřené frekvence amplitud byla na vzorcích kontrolována v laboratoři VŠB-TU v Ostravě, a to polarizačním mikroskopem Olympus BX60 ve spojení s tříčipovou kamerou HV-C20 fy HITACHI a vyhodnocována softwarem analýzy obrazu LUCIE G fy Laboratory Imaging.

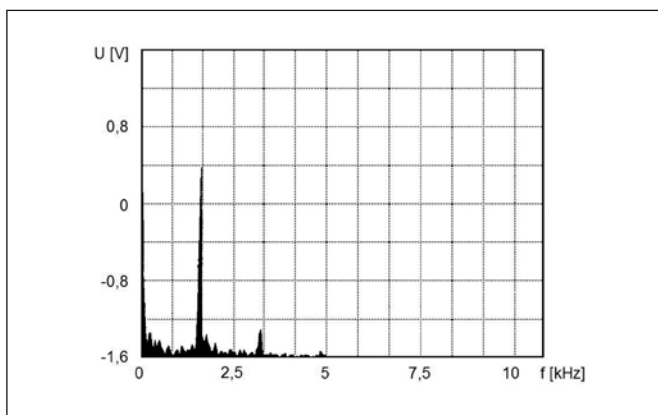
Fotografický obrázek povrchu je na obr. 4. Pro grafickou ilustraci uvádíme příklad zaznamenaného typického časového



Obr. 4 Fotografický obrázek obrobeneho povrchu hoblovaním V9



Obr. 5 Časový záznam optického signálu skenování intenzity světla odraženého povrchem vzorku V9



Obr. 6 Frekvenční spektrum optického signálu odraženého povrchem vzorku V9

průběhu signálu fotodetektoru a jeho frekvenčního spektra (obr. 5 a obr. 6). Základní výsledné výpočtové hodnoty i hodnoty etalonů pro srovnání jsou uvedeny v jednotlivých sloupcích tab. 1. Jak je patno z těchto hodnot, existuje dobrá korelační shoda hodnot Ra etalonových (sloupec 4) a na základě měření výpočtově stanovených hodnot Rav (sloupec 8). Taktéž hodnoty výsledků na parametru

Tab. 1 Výsledky měření a jejich porovnání s hodnotami etalonů

Č. VZ.	TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ POVRCHU	Ra ETALONOVÉ [μm]	f_F FILTROVANÉ [kHz]	s [mm]	Rav [μm]	Rat [μm]	f_{KONTR} [kHz]	S [mm]	R [μm]
V1	BČKV	0,1	6,67	0,16	0,50	0,31	33,6	0,024	0,08
V2	BČKV	0,2	16,67	0,06	0,20	0,19	16,8	0,159	0,51
V3	BČKV	0,4	7,92	0,14	0,45	0,41	8,4	0,375	1,20
V4	BČKV	0,8	4,58	0,23	0,73	0,78	4,2	0,492	1,57
V5	BČKV	1,6	1,83	0,57	1,82	1,72	2,1	0,331	1,06
V6	HOBL SK	1,6	6,5	0,16	3,20	2,71	13,1	0,123	2,46
V7	HOBL RO	6,3	3,33	0,32	6,40	6,70	3,33	0,372	7,44
V8	HOBL SK	12,5	1,63	0,64	12,88	13,12	1,68	0,632	12,46
V9	HOBL SK	25	0,79	1,33	26,53	26,45	0,83	0,863	17,26
V10	BČ	1,6	2,00	0,53	1,68	1,78	2,1	0,628	2,01
V11	HOBL RO	6,3	3,25	0,32	6,46	6,70	3,33	0,372	7,64
V12	HOBL SK	12,5	1,67	0,63	12,60	13,72	1,68	0,632	12,46

(s) (sloupec 11) pomocí polarizačního mikroskopu a na kontrolní parametr Rat (sloupec 9) vypočtený podle predikční rovnice drsnosti (1) běžně užívané při strojním obrábění [5] a dále na parametr R podle údajů mikroskopu (sloupec 12) vykazují těsné korelace.

Již při prvním vynesení do kontrolního grafu předpokládané funkční závislosti $Ra(s)$ byly dosaženými výsledky respektovány dvě rozdílné strojní technologie opracování povrchu etalonových vzorků. Zatímco vzorek V1 až V5 a vzorek V10 byly obrobny čelním broušením s křížovým broušením (BČKV), pak ostatní byly obrobny hoblováním (HOBL). Metoda tedy ihned citlivě reagovala na kvalitativní rozdíly v technologických způsobech konečného opracování etalonů. Pro kvantitativní stanovení výpočtových parametrů, resp. pro přímý výpočet, byly nalezeny korelační lineární funkce ve tvarech $Rav = k_{BC}s$, resp. $Rav = k_{HOBL}s$, kde k_{BC} je 3,20, resp. k_{HOBL} je 20, jsou součinitelé úměrnosti pro obě technologie obrábění. Parametr (s) byl počítán z naměřené funkce $s(f_A)$, kde f_A je frekvence amplitud.

5. ZÁVĚR

Časté využití koherenční zrnitosti pro měření drsnosti povrchu je omezeno zpravidla na stochastické povrchy, jejichž povrchová drsnost je relativně velmi jemná – přibližně v oblasti vlnových délek světla. Z tohoto důvodu byla navržena a experimentálně realizována optická metoda a příslušná měřicí sestava a byly získány výsledky vypovídající o korelaci hodnot drsnosti povrchu zjišťované kontaktní profilometrií, resp. mikroskopickými měřeními. Rozbor reálných objektivních a subjektivních chyb souvisejících se způsobem měření a jeho interpretace ukázal, že takovýmto způsobem je možné zjišťovat lokální poloměry křivosti stop po obráběcích nástroji na povrchu obrobny ploch. Navržená optická metoda

vzhledem ke své realizační jednoduchosti a výhodám vyplývajícím z optického principu měření (bezkontaktnost, malé rušení signálu) může být užitečná a perspektivní i pro praktickou realizaci.

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu GA ČR 101/09/0650, MŠMT č. MSM6198910016, projektu VEGA 2/0039/09 a také projektu APVT-20-014602.

Literatura

- [1] WHITEHOUSE, D.J. Review article surface metrology. *Measurement Science and Technology*, 1997, No. 8, p. 955-972. ISSN 0957-0233.
- [2] THOMAS, T.R. *Rough surfaces*, (Ed.), Longman, 1982.
- [3] DRŽÍK, M. Určenie mikroštruktúry kovových povrchov a jej zmien meraním rozptýleného svetla. *Jemná mechanika a optika*, 1996, č. 7-8, s. 208-211. ISSN 0447-6441.
- [4] OHLÍDAL, I., et. al. Srovnání výsledků měření drsnosti povrchu dosažených vybranými optickými metodami a metodou profilometrickou. *Jemná mechanika a optika*, 1998, č. 4, s. 130-136. ISSN 0447-6441.
- [5] BUMBÁLEK, B., OBVODY, V., OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha, SNTL, 1989.
- [6] GELETA, V., MÉSZÁROŠ, I. Surface roughness formation of some mechatronic parts. In *Proc. 4th Int. Symposium on Mechatronics*, Trenčianske Teplice, June 2001.
- [7] SOROKO, L.M. *Gilbert optika*, Nauka, 1981 (v ruském jazyce).

Doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D., Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB Technická Univerzita Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: +420 597 323 232, e-mail: jan.valicek@vsb.cz

Mgr. Milan Držík, CSc., Ústav stavebnictva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 845 03 Bratislava 45, e-mail: drzik@ilc.sk
Bc. Petr Hlaváček, katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB Technická Univerzita Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava – Poruba, e-mail: shlas@seznam.cz

RNDr. Milena Kušnerová, Ph.D., Institut fyziky, Hornicko geologická fakulta, VŠB Technická Univerzita Ostrava, Tř. 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 323 178, e-mail: milena.kusnerova@vsb.cz

Měřicí technika pro kontrolu jakosti

Česká metrologická společnost pořádá ve dnech 23. a 24. března 2009 v Plzni mezinárodní konferenci *Měřicí technika pro kontrolu jakosti*. Konference je spojena s rozsáhlou výstavou měřicí, kontrolní a zkušební techniky z oblasti strojírenských měření (délky, negeometrické veličiny, přístroje pro zkoušky materiálu, NDT, přístroje pro kalibraci měřidel a systémy pro řízení a kontrolu technologických procesů. Výstava bude otevřena po celou dobu konání konference.

Konference je určena pro pracovníky útvarů řízení kvality, technické kontroly a metrologie, metrologických

laboratoří, zkušební techniky, technology a pro učitele vysokých a středních škol příslušného zaměření.

Bližší informace o mezinárodní konferenci *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.

Uplatnenie simulačného systému v procese experimentálneho merania

ÚVOD

Technický stav objektu je daný množinou vybraných vlastností prvkov objektu, ktoré sú zvolené podľa požadovaného diagnostického rozlíšenia. Vlastnosti objektu sa časom menia až do okamihu, kedy prvok spôsobí poruchu časti alebo celého objektu svojím správaním. Z toho vyplýva, že technický stav objektu môžeme definovať ako schopnosť objektu vykonávať požadované funkcie za stanovených technických podmienok pre jeho používanie. Parametre, pomocou ktorých definujeme stav objektu, delíme na štruktúrne a procesné. Štruktúrny parameter charakterizuje kvantitatívne alebo kvalitatívne fyzikálne, chemické alebo geometrické vlastnosti prvkov zvoleného systému. Môžu sa týkať napr. komponentov elektrického motora, ložísk, hriadeľa a pod. Procesné parametre udávajú procesné vlastnosti prvkov, to sú vlastnosti podstatné pre cieľové správanie objektu. Môžu sa ďalej členiť na vstupné, výstupné, vnútorné a pri dynamických systémoch na stavové. V posledných rokoch sa k bezdotykovému zisťovaniu objektov automatizačnej techniky používajú vo veľkej miere senzory pracujúce na baze snímania hodnôt veľkosti elektrických veličín, na ktorých veľkosť hodnoty má vplyv celkový stav meranej sústavy v určitých definovaných prevádzkových stavoch. Jedným z dôvodov zavádzania týchto metód sú hlavne výhody, ktoré sa naskytujú, a to najmä stále sa znižujúce rozmery a stále stúpajúce výkonové schopnosti. Používajú sa predovšetkým tam, kde je potrebný väčší merací rozsah. Meracie rozsahy napríklad u veľkých indukčných a kapacitných senzorov sú obmedzené najmä ich samotnou štruktúrou a konštrukčným prevedením, ktoré je väčšinou prevádzkovo nemeniteľné. V príspevku je opísaný princíp takéhoto odporového snímača. So zvyšovaním kvality jednotlivých technických prvkov v štruktúre riadiacich systémov sa logicky zvyšujú aj nároky pri meraní procesných veličín. V procese merania opotrebenia vrtákov nachádzajú uplatnenie odporové snímače pracujúce na princípe zmeny prechodového elektrického odporu. V článku je uvedený popis modelovej simulácie procesu merania opotrebenia vrtáka pomocou odporovej metódy, pričom výhodným simulačným nástrojom je program Matlab [1].

SIMULÁCIA V PROGRAME MATLAB

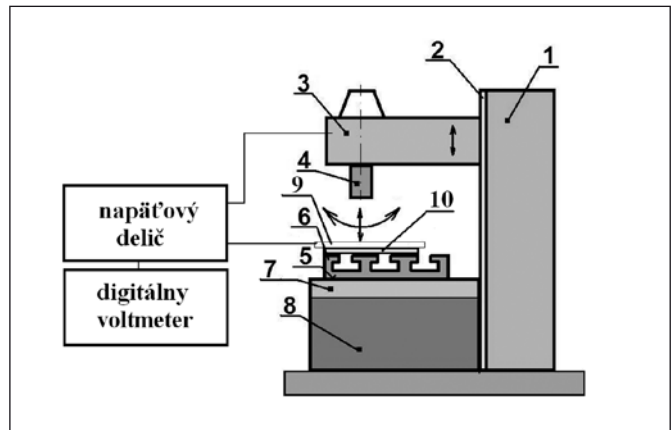
Matlab je vysoko výkonný integrovaný prostriedok pre technické výpočty. Je charakterizovaný integráciou výpočtov, vizualizáciou a programovaním v jednoduchom užívateľskom prostredí, kde sú problémy a riešenia vyjadrené bežnými matematickými zápismi. Zahŕňa oblasti matematických výpočtov, vývojových prostriedkov pre tvorbu algoritmov, modelovania, simulácie, vizualizácie a analýzy dát, vysoko výkonnej 2D a 3D grafiky a oblasti aplikačných prostriedkov pre vytváranie grafického užívateľského prostredia.

Matlab je interaktívny systém, ktorého základné dátové prvky nemusia mať vopred definované veľkosti. Integrácia potrebných vlastností umožňuje riešenie širokého spektra problémov. Dovoľuje tiež vytvárať program v programovacích jazykoch C alebo Fortran. Rozšírením programu Matlab je nadstavba Simulink. Je určená predovšetkým na časové riešenie a simuláciu chovania spojitých aj nespojitých dynamických systémov za predpokladu znalosti daného matematického popisu. S pomocou Simulinku je možné určiť časové priebehy výstupných veličín, ale aj ostatných veličín v danom systéme v závislosti na časovom priebehu vstupných parametrov a počiatočnom stave. Popis sústavy môže byť zložitý. Môže obsahovať aj algebraické rovnice a vzorkované diskrétné výpočty. Simulink ponúka pomerne jednoduchý prístup

k prepracovaným metódam Matlabu vo vzťahu k časovým riešeniam sústav nelineárnych diferenciálnych rovníc, prostriedkom pre relatívny zápis problému, teda vytvorením modelu a následnej vizualizácii výsledkov a samozrejme automatizované riešenie mnohých problémov, ktoré pri simulácii vznikajú.

POPIS PRINCÍPU SIMULOVANÉHO SYSTÉMU

Jedným z parametrov, ktorý charakterizuje otupenie vrtáka, je zväčšenie sily pôsobiacej medzi obrobkom a vrtákom. Zmeny hodnoty tejto sily vyvolajú pružné deformácie v celej sústave obrábania, ktorú opisuje model sústavy obrábania (sústava obrábania - stroj, nástroj, obrobok, prípravok). Sústava obrábania predstavuje z hľadiska výskumu nepresnosti obrábania systém, v ktorom hmota je sústredená v niekoľkých prvkoch, ktoré sú spojené a menia svoju tuhosť. Na prvky pôsobia vonkajšie a vnútorné sily, následkom čoho sa mení ich vzájomná poloha, tvar a presnosť vyrábaných plôch. Taký systém je definovaný maticami prvkov, ich stavu tuhosti a maticou vnútorných a vonkajších síl. Úlohou je stanoviť odchýlky vzájomnej polohy vrtáka a povrchu obrobku. Odchýlky pružnej deformácie y_n spôsobia zmenu hodnoty prechodového elektrického odporu medzi vrtákom a obrobkom, pričom táto zmena elektrického odporu je nepriamo ovplyvnená opotrebením vrtáka, a to zmenou sily pôsobiacej v mieste styku vrtáka a obrobku (obr. 1). Zmena hodnoty elektrického odporu vyvolá zmenu hodnoty meraného napätia U_2 (obr. 3)



Obr. 1 Popis k princípu merania opotrebenia vrtáka odporovou metódou

1. stojan, 2. zvislé vedenie, 3. vreteník, 4. vreteno, 5. krížové sane,
6. pracovný stôl, 7. rozvodná skriňa, 8. základná doska, 9. vrtný elektrický vodivý materiál, 10. elektrický izolant

Konkrétne riešenie matematickej formulácie v oblasti obrábania je možné popísať princípom pružnej deformácie sústavy obrábania vyjadrenej matematickým vzťahom. Popis a výpočet pružného modelu sústavy obrábania je možný pomocou všeobecnej stavovej diferenciálnej rovnice. Vhodnými matematickými úpravami získame vzorec pre výpočet pružnej odchýlky y_n .

$$\frac{j_{y_n}}{m} \int \left[\int \left(\frac{F_{y_n}}{j_{y_n}} - y_{n-1} \right) dt - \frac{f_{y_n}}{j_{y_n}} y_{n-1} \right] dt = y_n \quad (1)$$

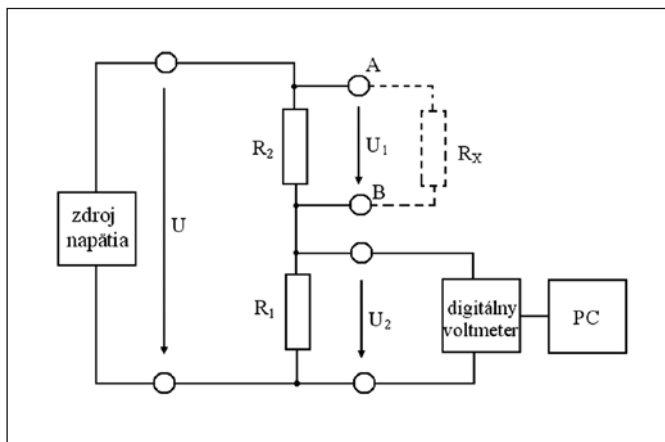
Kde: F_y – sila medzi obrobkom a nástrojom, j_y – koeficient pružnosti nástroja, f_y – sila pôsobiaca na nástroj, m_y – hmotnosť nástroja, y – odchýlka pružnej deformácie.

Vzorec obsahuje spätnoväzobné parametre, čo podmieňuje jeho diskretizáciu a vhodný simulačný výpočet. Na základe doteraz známych, veľmi dobrých vlastností odporových snímačov overených meraním, bolo rozpracované meranie opotrebovania skrutkovicového vrtáka pomocou odporového snímača. Samotnému praktickému experimentálnemu meraniu však najprv predchádzala simulácia experimentálneho merania, ktorá mala za úlohu potvrdiť alebo vyvrátiť očakávané výsledky samotného praktického experimentálneho merania. Z teoretických poznatkov a predpokladov výsledkov simulácie experimentálneho merania bol očakávaný fakt, že odporové snímače pracujúce na princípe napäťového deliča (obr. 2) majú závislosť hodnoty napätia U_2 na hodnote elektrického odporu R_x nelineárnu, avšak pre vyhodnotenie merania v oblasti dynamicky sa meniacej hodnoty meranej veličiny to nespôsobuje žiadne obmedzenia pri analýze, ani pri vyhodnotení výsledkov. Snímač je tvorený napäťovým deličom a signál sa z miesta merania privádza elektrickými vodičmi upevnenými tak, aby vodivá cesta pre prechod elektrického prúdu vznikla len medzi vrtákom a obrobkom. Napätie U_2 bude merané a spracovávané digitálnym voltmetrom. Meraný signál z voltmetra bude privádzaný do počítača a následne vyhodnocovaný špeciálnym softwarom.

POSTUP A PODMIENKY SIMULÁCIE EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA

Pri vytváraní modelu simulácie experimentálneho procesu merania bolo potrebné uvažovať s tým, že prechodový elektrický odpor R_x medzi obrobkom a vrtákom sa v momente kontaktu znižuje z hodnoty blížiacej sa k nekonečnu až po takmer nulovú hodnotu a následne dochádza k osciláciám, ktorých amplitúda výchylky sa postupne znižuje. Z toho vyplýva, že odchýlku pružnej deformácie y_n získanej na základe pružného modelu sústavy obrábania bolo potrebné ďalej upravovať tak, aby výsledný signál bol zodpovedajúci dynamickej hodnote elektrického prechodového odporu medzi obrobkom a vrtákom R_x . Tento signál je ďalej vedený do blokov, ktoré zabezpečujú matematickú transformáciu algebraického výrazu umožňujúceho výpočet hodnoty U_2 (2). Ako praktické experimentálne zariadenie bude použitá špeciálne upravená vrtáčka. Úprava spočíva najmä v tom, aby bol umožnený prechod elektrického prúdu iba miestom dotyku obrobku a vrtáka. Kvôli tomu bude obrobok upevnený medzi dve elektricky nevodivé drevené doštičky. Tieto doštičky budú následne uchytené do zveráka vrtáčky. Bloková schéma časti simulovaného modelu je na obr. 2.

Na obrobok sa vodivo pripojí elektrický vodič A. Elektrický vodič B sa vodivo upevní na vrtáčku tak, aby vznikla vodivá cesta k vrtáku. Simulácia pomocou simulačného programu bola vykonaná



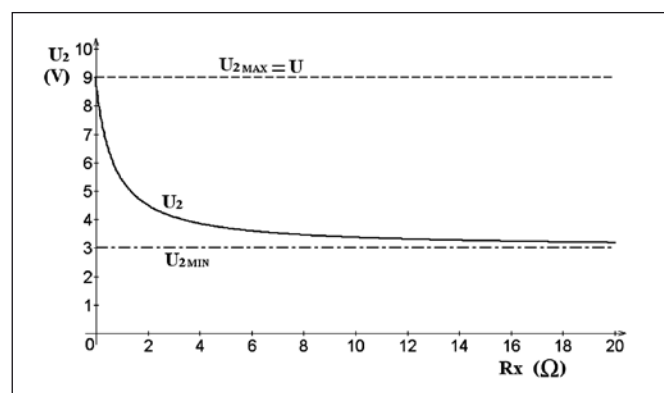
Obr. 2 Blokové zapojenie časti simulovaného systému

pre model opotrebovaného vrtáka a následne aj pre model vrtáka len mierne opotrebovaného. Rozdiel medzi týmito modelmi je v nastavení simulačných parametrov, a to najmä hodnoty veľkosti amplitúdy zámkitov pružnej odchýlky y_n v momente kontaktu vrtáka s obrobkom, čo sa prejaví aj na zvýšení amplitúdy zámkitov hodnoty elektrického prechodového odporu medzi obrobkom a vrtákom R_x . Získané priebehy z oboch simulácií experimentálneho merania sú zobrazené na obr. 5 a obr. 6.

Pričom pre merané elektrické napätie U_2 platí vzťah

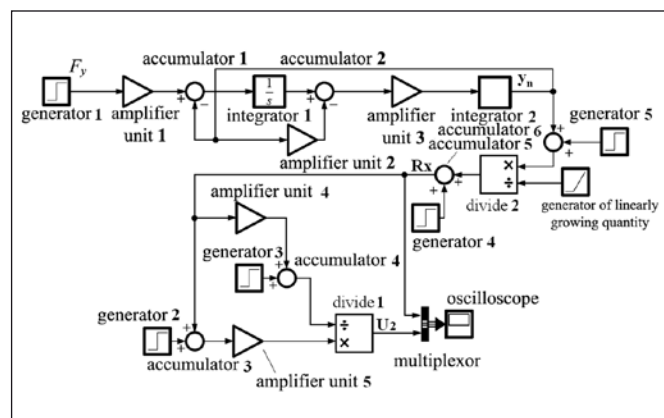
$$U_2 = \frac{(R_2 + R_x) \cdot R_1 \cdot U}{R_1 \cdot R_2 + (R_1 + R_2) \cdot R_x}, \quad (2)$$

kde R_1, R_2 sú hodnoty rezistorov, R_x - predstavuje elektrický odpor medzi vrtákom a obrobkom, U - je napájacie elektrické napätie. Počas priebehu simulácie boli experimentálne zvolené hodnoty pre $U = 9 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ } \Omega$ a $R_2 = 2 \text{ } \Omega$. Na obr. 3 je grafické zobrazenie priebehu závislosti meraného napätia U_2 na hodnote prechodového elektrického odporu R_x .

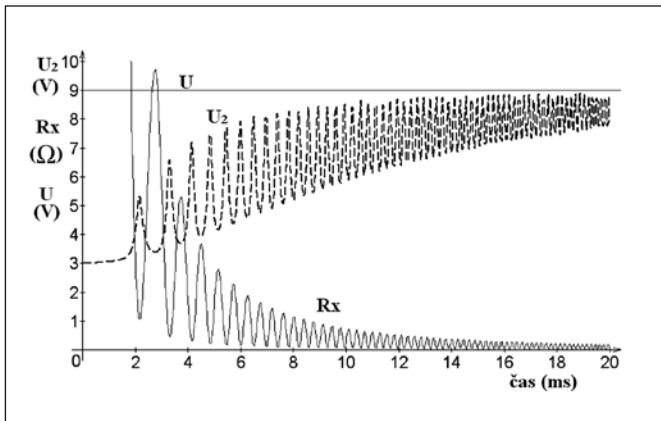


Obr. 3 Grafická závislosť elektrického napätia U_2 na hodnote prechodového elektrického odporu R_x

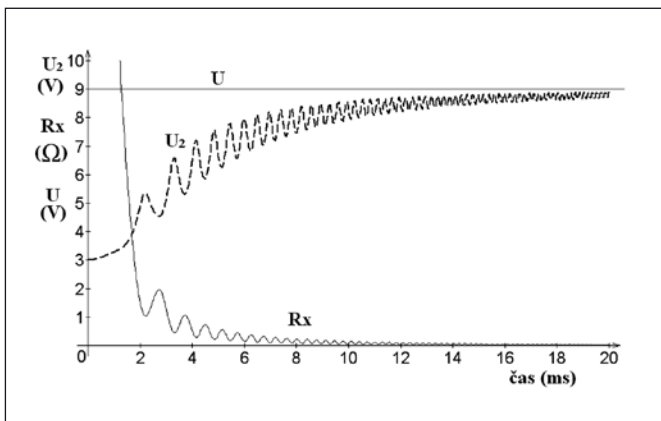
Z obr. 3 je vidieť, že hodnota elektrického napätia U_2 sa môže pohybovať len v určitých hraniciach. V oblasti väčších hodnôt elektrického odporu R_x je veľkosť hodnoty dynamických zmien utlmovaná v porovnaní s oblasťou s menšími hodnotami elektrického odporu R_x . Je to nepriaznivý faktor keďže aj v oblasti s väčším elektrickým odporom R_x je charakter dynamiky zmien podstatný, nakoľko sa jedná o okamih prvotného dotyku vrtáka s obrobkom s prudkým poklesom hodnoty prechodového elektrického odporu R_x . Na obr. 4 je samotný simulačný model experimentálneho merania.



Obr. 4 Simulačný model experimentálneho merania opotrebovania vrtáka



Obr. 5 Grafická závislosť elektrického napätia U_2 a prechodového elektrického odporu R_x na čase pre opotrebovaný vrták



Obr. 6 Grafická závislosť elektrického napätia U_2 a prechodového elektrického odporu R_x na čase pre mierne opotrebovaný vrták

VYHODNOTENIE SIMULOVANÉHO EXPERIMENTU

Simulácia experimentálneho merania opotrebenia vrtáka na základe odporovej metódy ukázala vplyv opotrebenia vrtáka na veľkosť hodnoty elektrického odporu v krátkom časovom intervale od okamihu dotyku vrtáka s obrobkom. Odchýlky pružnej deformácie, teda aj zákmity vzniknuté v uvažovanom okamihu,

sú tým väčšie, čím je vrták viac opotrebovaný. Zákmity vrtáka sú nevhodným efektom procesu obrábania, a to najmä z dôvodu vplyvu na výsledné kvalitatívne parametre uvažovaného procesu. Zákmity vrtáka majú podstatný vplyv najmä na presnosť vrtania, drsnosť obrobeného povrchu a energetickú spotrebu obrábania, pričom samotná intenzita opotrebovania vrtáka sa zákmitmi sústavy exponenciálne zvyšuje. Preto je na základe experimentov odporúčané vyhnúť sa tej oblasti hodnôt opotrebovania vrtáka, pri ktorej je už miera zákmitov intenzívna pri každom kontakte vrtáka s obrobkom.

ZÁVER

Pre danú problematiku merania opotrebovania vrtákov bolo potrebné spomedzi všetkých možných riešení nájsť to najvhodnejšie. Pri predbežnom skúšobnom overovaní snímačov sa najviac osvedčil odporový snímač z dôvodu svojej vysokej citlivosti a odolnosti voči rušivým vplyvom. Skúšky merania opotrebenia vrtáka vykonané v modelových podmienkach, aj v samotnom procese obrábania, sa ukázali veľmi užitočné a sľubujú v praxi značný ekonomický prínos. Veľkou výhodou snímača je jeho konštrukčná jednoduchosť, odolnosť voči väčšine rušivých vplyvov, jednoduchá údržba a nízke náklady na výrobu.

Tento článok bol písaný v rámci projektu Vývoj, realizácia a overenie technického systému pre bezkontaktnú optickú identifikáciu a nadväznú korekciu rozmerového opotrebenia výrobného nástroja počas plynulého priebehu výrobných operácií. č. 1/0562/08 | 5 | na FVT.

Literatúra

- [1] Klán, P., Gorez, R.: Balanced Tuning of PI Controllers, European Journal of Control 6 (2000), 541-550.
- [2] Zhou, J., Andersson, M., Stahl, J.: A System for Monitoring Cutting Tool Spontaneous Failure Based on Stress Estimation, J. of Materials Processing Technology 48 (1995), 231-237

Ing. Radoslav Krehel, Ph.D., Katedra prevádzky výrobných procesov, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, tel.: 00 421 51/7722603, e-mail: radoslav.krehel@tuke.sk

Ing. Jozef Dobránsky, Ph.D., Katedra prevádzky výrobných procesov, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, tel.: 00 421 51/7722603, e-mail: jozef.dobransky@tuke.sk

EMO MILANO 2009

Po šesti letech se EMO opět vrátilo do Milána. Tentokrát již do nového výstavního areálu FIERA MILANO na severozápadě města, na pozemcích bývalé naftové rafinerie Agip v Rho-Pero. Tento výstavní areál je v provozu od roku 2006 a EMO hostil od 5. do 10. října 2009. Krize přirozeně ovlivnila počet i skladbu přihlášených vystavovatelů i návštěvníků. Všeobecně se mluvilo, že oproti dřívějším ročníkům ubylo středních a hlavně malých firem, které si to dnes nemohou dovolit. Nicméně, veletrhu se nakonec zúčastnilo okolo 2000 vystavovatelů z 35 zemí, kteří se prezentovali na cca 180 000 m² výstavní plochy. Zúčastnilo se



Obr.1 Informační panel s logem



Obr.2 Příchod na výstaviště



Obr.3 Středový koridor

i 16 předních českých výrobců obráběcích a tvářecích strojů, a to na ploše cca 1 000 m². Je s podivem, že i když je toto odvětví naší tradiční komoditou, nedočkali se zde čeští vystavovatelé oficiální podpory státu. Je jasné, že si dnes nedovolí na této prestižní akci chybět. Propagace EMO přitom byla v České republice na nejvyšší úrovni a zúčastnili se jí vedle italského velvyslance i generální a technický ředitel EMO.



Obr.4 Jeden z 16 českých vystavovatelů

Na EMO MILANO 2009 převládalo tradičně třískové obrábění, které bylo na cca polovině výstavní plochy. Pětinu plochy zabralo beztrískové obrábění a zbytek podpůrné prostředky (nástroje a nářadí, automatizace, manipulace včetně robotiky a měřicí technika).

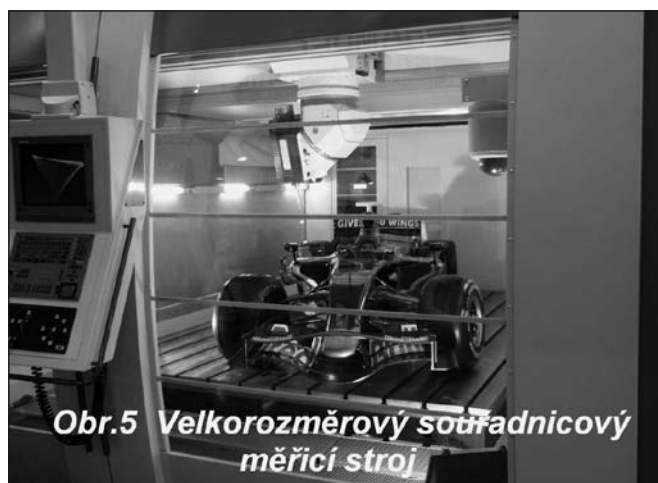
Je zřejmé, že výrobci měřicí techniky dávají dnes přednost specializovaným měřidlařským veletrhům před prezentací na tomto veletrhu a oproti poslednímu EMO v Miláně jich očividně ubylo. Viděli jsme tu ale i některé firmy, které daly přednost EMO před CONTROL ve Stuttgartu (zejména některé domácí a asijské firmy).

Nový milánský výstavní areál je unikátní a originální. Jeho autor Massimiliano Fuksas zde opět předvedl vysokou úroveň italské architektury a stavebnictví. Bezchybná je i funkčnost. Návštěvník i v dešti projde suchou nohou pod „plachtami ze skla a oceli“ centrem areálu od prvního až k zatím šestnáctému pavilonu (každý o cca

35 000 m²), a to okolo umělých jezírek, zaručujících i v parném létě příjemné klima. Pavilony jsou jednopodlažní prakticky bez sloupů. To umožňuje maximální využití podlahové plochy při dokonalém rozhledu. V pavilonech nezapomněli ani na občerstvovací plochy a dostatek jednacích salonků.

Bezproblémová je i doprava na výstaviště z centra, a to buď metrem M1 (konečná stanice), nebo speciálními autobusy. Areál je nedaleko dálnic M4 a M8 a má cca 10 000 parkovacích míst. Milano má k dispozici 3 letiště a cenově optimální je zejména pro návštěvníky z Moravy a hlavně Slovenska doprava nízkonákladovými přepravci na letiště Bergamo. Odtud jsou přímé a časté autobusové spoje do centra Milana. Ale i Bergama. Z Bergama jezdí opět velmi často vlaky do Milana (pozor, končí na různých nádražích). Doporučujeme jet na hlavní nádraží a nezapomeňte si nejprve ve značkovači označit jízdenku. Podotýkáme, že Provincia di Bergamo / Turismo Bergamo má v české republice pobočku v Brně a získáte zde od ochotného a kvalifikovaného delegáta potřebné informace a podklady.

Je otázkou, kdy a zda se investice do tak velkolepého projektu, jakým je FIERA MILANO, vrátí, když ani takové EMO areál zdaleka nenaplnilo. Miláňané si hodně slibují od světové výstavy, která tu má být v roce 2015.



Krise letos postihuje i pro Milano tak typickou módu. Dříve plně 4 neznámější uličky, prezentující výrobky světových módních tvůrců, neoplývaly letos utráceníchtivými návštěvníci a již vůbec ne jejich mecenáši.

Jan Kůr

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

Vladimír HÖNIG¹, Jan HROMÁDKO¹, Jiří HROMÁDKO²

¹Katedra vozidel a pozemní dopravy, Technická fakulta, ČZU v Praze

²Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha

Problematika využití biopaliv pro aplikace ve vznětových motorech a jejich emisní analýza

Článek popisuje řešení pohonu vznětových motorů palivy na bázi rostlinných olejů (MEŘO, řepkový olej) jako alternativy za standardní motorovou naftu. Zabývá se vlastnostmi zmíněných biopaliv a jejich možného uplatnění pro aplikace ve spalovacích motorech s ohledem na konstrukční úpravy palivového ústrojí či spalovacího prostoru. V neposlední řadě upozorňuje na možný negativní vliv na provozuschopnost stroje a možnosti snížení negativních účinků. Experimentální část analyzuje produkci emisí a spotřeby paliva ve srovnání s motorovou naftou pomocí počítačové simulace motorového zkušebního cyklu (NRTC Non-Road Transient cycle) sloužící k homologaci nesilničních vozidel.

Klíčová slova: MEŘO, řepkový olej, emise, konstrukční úpravy, NRTC cyklus

ÚVOD

Fenoménem 20. století byly automobil a ropa, žádné jiné individuální odvětví lidské činnosti v takové míře neovlivnilo celý náš život. I v dnešní době je oblast automobilismu jednou z nejrychleji se měnících oblastí průmyslu. Rozvoj motorizace měl hlavní vliv na vývoj a spotřebu paliv. Během posledních dvou desetiletí, spolu s blížícím se vyčerpáním zdrojů paliv, se výrazně zrychlil vývoj automobilové techniky a zejména v souvislosti s ekologickými požadavky je nutné hledat nové zdroje energie šetrné k životnímu prostředí. Všeobecně průběh spotřeby energií představuje exponenciální křivku, zatímco zdroje energií, zejména fosilní, rapidně ubývají, což se týká převážně ropy. Je třeba také brát v úvahu, že ropa není pouze palivem, ale také významnou surovinou v chemickém průmyslu. Situace ve zdrojích je o to komplikovanější, že přes

dvě třetiny ropných zdrojů je soustředěno do cca 11 zemí v oblasti Perského zálivu, které ovládají 75 % světové produkce ropy. [1]

V současné době se vynakládají nemalé finanční prostředky na hledání alternativních paliv pro spalovací motory. Aby se alternativní palivo mohlo prosadit, musí být vyřešena otázka výkonu, dojezdů, trvanlivosti a v neposlední řadě nákladů. Proto se zatím biopaliva jeví jako nejjednodušší alternativa z hlediska výroby, „motorářských“ vlastností, dostupností a s tím související i finanční náročností. Země Evropské unie produkují ročně 3300 milionů tun skleníkových plynů, což pochopitelně se promítá do změny klimatu s katastrofickým dopadem na celou lidskou společnost nejen v Evropě. Právě proto se všechny státy snaží o náhradu části konvenčních motorových paliv palivy alternativními, především

biopalivy s nižším emisním zatížením pro životní prostředí. Hlavní pozornost v tomto článku je věnována biopalivu pro zemědělce nejvíce slibnému: řepkovému oleji a jeho metylesteru (MEŘO).

2. ROSTLINNÉ OLEJE JAKO MOTOROVÁ PALIVA

Již v roce 1895 používal Rudolf Diesel při testování svého motoru olej z podzemnice olejné. Uvažoval i o další variantě, a to uhelném prachu, ale nakonec se orientoval na palivo ropného původu – motorovou naftu, která vykazovala v praxi nejméně palivářských problémů.

Změny v konstrukci a provozu moderních motorů připravily složité podmínky pro funkci různých součástí motoru. Rostlinné oleje můžeme využít dvěma způsoby jako paliva pro spalovací motory. První je spojen minimalizací palivářských problémů a jedná se o **chemickou transformaci** rostlinného oleje získaného, ať ve formě řepkového, podzemnicového, slunečnicového či oleje z dalších plodin. Procesem zvaným trans-esterifikace (chemická reakce s methylalkoholem) se získává methylester rostlinného oleje, který je závislý převážně na dostupnosti a ceně dané suroviny.

RME	Rape Methylester	metylester řepkového oleje MEŘO
SME	Sunflower Methylester	metylester slunečnicového oleje
SOME	Soya Methylester	metylester ze sóji
FAME	Fatty Acid Methylester	metylester mastných kyselin (rostlinných i živočišných tuků)
VUOME	Vaste Used Oil Methylester	metylester z použitých fritovacích olejů
REE	Rape Ethylester	etylester řepkového oleje EEŘO

Cílem trans-esterifikace je získat kvalitní alternativní palivo, které se co nejvíce přibližuje svými fyzikálními, chemickými a palivářskými vlastnostmi motorové naftě, tzn. normě ČSN-EN 590. Tato reakce může proběhnout také působením ethylalkoholu, čímž vzniká ethylester rostlinného oleje, ale z ekonomických důvodů se s ním setkáváme pouze zřídka. [2] Na rozdíl od např. sousední Spolkové republiky Německo, kde se ve formě biodieselu tankuje samotné MEŘO, v České republice se pod pojmem bionafta rozumí směsná motorová nafta složená z 31 % obj. právě ze zmíněného methylesteru a klasické motorové nafty. Nutno podotknout, že metylestery jsou ve vysokém procentním podílu agresivní vůči plastům a například pryžové těsnění z butadien-styrenových materiálů musí být nahrazeno telefonem, což se ale zároveň týká vozů, kde výrobce povoluje po určitých úpravách provoz na čisté MEŘO (biodiesel).

Podle normy ČSN EN 14214 by neměl existovat rozdíl mezi MEŘO a FAME, ale z hlediska působení na motor a olejovou náplň je chování paliv odlišné vlivem charakteru surovin používaných pro výrobu. FAME vyráběné např. z palmového oleje má vysoký podíl methylesterů nasycených kyselin, což v praxi způsobuje nemalé palivářské potíže. Palivo tak může způsobit ucpávání palivových filtrů, či v našich zeměpisných podmínkách vlivem špatných chladových vlastností ztratit čerpatelnost. Použijeme-li k výrobě methylesteru slunečnicový olej, je nutno zdůraznit, že takto vzniklé palivo má nízkou oxidační stabilitu, a tím při spalovacím procesu dochází ke vzniku kalů, laků a pryskyřic. Následkem je potom karbonizace drážek pístních kroužků, jejich váznutí, zapékání a v horším případě i totální ztráta komprese. Zároveň u fritovacích olejů by měl být kladen důraz na jejich získávání, jelikož v některých restauračních zařízeních či stáncích s občerstvením bývá přepalován a dochází k jeho tepelné degradaci. Je tedy nutné dodržovat jejich dobu i teplotu používání, oleje získávané převážně ze stánků

s občerstvením se mnohdy podobají spíše tekoucímu asfaltu. Vyrobený methylester má potom výrazně narušenou oxidační stabilitu spojenou s vysokým karbonizačním účinkem a opět tvorbou laků, kalů a pryskyřic. Takto vzniklé FAME vykazuje parametry, které nejsou v korelaci s uvedenou normou.

FAME vyráběné z živočišných zejména kafilérních tuků označovaných jako VUOME (Vaste Used Oils Methyl Ester) již uvedené negativní účinky stupňuje. Nejen že často již za běžné pokojové teploty želatínují, ale karbonizace pístové skupiny je tak výrazná, že přispívá ke zkrácení životnosti a způsobuje nutnost dekarbonizace motoru. Pro provozuschopnost vznětových motorů jsou zároveň alarmující negativní účinky na vstřikovací soupravu, kdy dochází ke karbonizaci vstřikovacích trysek.

Pro použití biopaliva je nutné respektovat typ motoru, charakter provozu a dodržovat podmínky pro jejich využití. Negativním účinkům methylesterů se už dá v dnešní době čelit jejich aditivací. Komplexní „package“ čili balík aditiv má dominantní zastoupení převážně D-D aditivy (detergenty a disperganty) a A-A aditivy (antioxidanty a antikoroanty). Pro použití paliva v zimním období je tento balík doplněn účinným depresantem, aby se hodnota CFPP (ztráta filtrovatelnosti) přibližovala -20 °C. Uživatel vozidla tak může provádět sám doaditivaci vždy po natankování s ohledem na předem určené množství.

Nejméně palivářských problémů a z hlediska zeměpisných podmínek pro pěstování nachází největší opodstatnění oleje z řepky olejné, při jejichž využití se nemusíme orientovat pouze na metylester.

Využití purifikovaného řepkového oleje znamená v první řadě zmenšení závislosti na cenách ropných paliv, snížení závislosti na fosilních palivech a znamená tak i vzestup lukrativnosti zemědělské činnosti. V současné době je již pro toto palivo připravena příslušná norma, kterou tak i v České republice získá právní rámeček.

Druhý způsob využití rostlinného oleje (převážně řepkového) jako paliva spočívá v jeho **přímém využití** bez chemických úprav. V tomto případě však musí být upraven buď **palivový systém** nebo **spalovací motor** a přizpůsobit se tak palivářským vlastnostem oleje – převážně viskozitě.

Tab. 1 Porovnání dominantních parametrů paliv na bázi rostlin. olejů s naftou

kinematická viskozita (mm ² .s ⁻¹)	Motorová nafta	MEŘO	Řepkový olej
-25 °C	5 - 30		300
0 °C	3 - 14	10	180 - 220
20 °C	2 - 8	6,3 - 8,1	65 - 100
100 °C	0,7 - 2	1,7	6 - 8
výhřevnost hmotnostní [MJ.kg ⁻¹]	42,5	37,1 - 40,7	37,4
výhřevnost objemová [MJ.l ⁻¹]	35,2	32,7	34,4
spalné teplo [MJ.kg ⁻¹]	45,3	39,1 - 42,9	39,6
cetanolové číslo	45	54 - 55	35 - 50
měrná hmotnost [kg.dm ⁻³]	0,8 - 0,86	0,87 - 0,88	0,91 - 0,94
bod vzplanutí [°C]	min. 55	130	300 - 330
bod tuhnutí [°C]	-12 - 0	-7	-18 - 0
molekulová hmotnost	200	850 - 900	300

2.1 Úprava palivového systému

Dnes již existuje řada firem, které nabízejí možnost přestavby na řepkové palivo. Jedná se o dvou-palivový systém se dvěma nádržemi s upravenou nízkotlakou větví. Při startu je olej ohříván elektrickým topným tělesem, po dosažení dostatečné provozní

teploty může řidič zvolit přepínačem provoz motoru na řepkový olej, který je předem ohříván výměníkem tepla (chladicí kapalina - řepkový olej). Pokud je teplota alespoň 60 °C, elektronická jednotka přepne trojcestné ventily a do vysokotlakého čerpadla je přiveden přes výměník a alespoň dva filtry (hrubý a jemný) olej. Druhý trojcestný ventil propojí přepad z čerpadla s příslušnou nádrží. Pokud chce řidič ukončit jízdu, musí alespoň minutu před zastavením motoru přepnout na naftový provoz, aby opětovný start neprobíhal na olej, jelikož dojde-li k jeho vychladnutí, není dále čerpatelný vlivem vysoké viskozity. Pokud by tak neučinil, neměla by řídící jednotka umožnit zastavení chodu motoru, nebo minimálně by měl být řidič upozorněn akustickým signálem.

2.2 Konstrukční úprava spalovacího motoru

První zdařilou konstrukcí pro přímé využití řepkového oleje provedl Ing. Elsbett v roce 1988 na principu tzv. duotermálního spalovacího režimu. [3] V současné době již také existují firmy nabízející přestavbové sady. Elsbettův systém spočívá na takovém principu spalování, kdy průběh radikálního štěpení a následného detonačního hoření probíhá v konkávním pístu, který právě v jeho vnitřní sféře umožňuje vytvoření horké zóny vhodné pro radikálové štěpení triglyceridů nenasycených kyselin: olejové, linolové a linoleové. K úspěšnému spalovacímu procesu přispívá i upravený a modifikovaný vstřikovací systém se samočisticí kuželovou tryskou.

2.3 Výhody a nevýhody používání řepkového oleje jako paliva

V prvé řadě by toto palivo mělo v případě produkce a využití v zemědělském podniku snížit náklady na palivo, ale také umožnit získávání kvalitních pokrutin samozřejmě s ohledem na lisované řepkové semeno (bez chemických úprav při získávání oleje z plodiny).

Z palivářského hlediska je chod vznětového motoru díky vysoké hodnotě cetanového indexu (okolo 50 jednotek C.I.) jemnější a svým způsobem by používání purifikovaného řepkového oleje mohlo znamenat výraznější snížení závislosti na ropných palivech, což je v současné době světový trend při hledání alternativních zdrojů energie. Z hlediska ekologických požadavků mají biopaliva vyrovnanou uhlíkovou bilanci, kdy od asimilačního efektu až po spálení paliva je produkce CO₂ nižší na výstupu než na vstupu, nedochází k jeho hromadění a nevzniká tak skleníkový efekt. Zároveň je důležité uvést, že toto palivo je biologicky odbouratelné, což může umožnit snadnější vstup zemědělských strojů do chráněných krajinných oblastí či míst blízkých vodním zdrojům, při úniku paliva není kontaminace půd závažná a dokonce při nízké koncentraci neohroží ani kvalitu vod. Palivo je zároveň při správném spalování s nízkým obsahem síry a při spalování vznikají minimálně škodlivé emise, látky v nich obsažené nejsou karcinogenní.

Vedle řady výhod je však nutno uvést i negativa, která ovlivňují správný chod spalovacího motoru. Zdá se, že největším nepřítelem bezproblémového využití je teplotní režim motoru ovlivněný charakterem výkonového zatížení motoru. Viskozita řepkového oleje je řádově vyšší než u motorové nafty, což vede k omezení např. na využití dvoupalivových systémů, ale řeší tak otázku čerpatelnosti závislé na teplotě. Proto i zejména chladové vlastnosti jsou horší než u motorové nafty či MEŘO. Palivo má nižší oxidační stabilitu, která je příčinou tvorby kalů při skladování.

Úprava motoru na spalování rostlinného oleje oproti motorové naftě zvyšuje hmotnostní spotřebu vlivem měrné hmotnosti řepkového oleje, nižší výhřevnost řepkového oleje se projevuje nižším točivým momentem motoru a tudíž i nižším výkonem. Všechny tyto hodnoty nejsou však nijak výrazné. Úspěch při používání tohoto paliva je podmíněn vhodným typem spalovacího prostoru.

Při nedokonalém spalování mohou vznikat pryskyřice, karbonové úsady a laky. Zejména karbonové úsady mohou blokovat vstřikovací trysky a drážky pístních kroužků, což může negativně ovlivnit chod a způsobit ztrátu komprese. Doporučením tak je aditivace a zkrácení intervalu výměny oleje v důsledku jeho želatinizace, což se týká nejen využití purifikovaného řepkového oleje, ale i MEŘO (FAME), kdy je zapotřebí tento interval zkrátit na 50 %.

3 EXPERIMENT

Měření bylo prováděno na motoru Zetor 7701 umístěném na zkušebním stanovišti. K objektivnímu posouzení změny spotřeby paliva a produkce škodlivých emisí v závislosti na použitém biopalivu je vhodné mít definováno zatížení motoru, pokud možno co nejbližší pracovnímu zatížení. Pro její stanovení byla v experimentu použita počítačová simulace motorového zkušebního cyklu (NRTC Non-Road Transient cycle) sloužící k homologaci nesilničních vozidel, zejména zemědělských traktorů.

Princip počítačové simulace NRTC cyklu je založen na zhotovení spojitých charakteristik spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí z naměřených bodů. Jednotlivé body byly naměřeny na zkušebním stanovišti České zemědělské univerzity v Praze - katedry vozidel a pozemní dopravy a pro zhotovení spojitých ploch byl vytvořen speciální výpočtový algoritmus ve vývojovém programu Mathcad. Ze spojitých ploch je pak možné získávat spotřebu paliva, respektive produkci jednotlivých složek emisí, připadající jakýmkoli otáčkám motoru a jakémukoli točivému momentu motoru z jeho pracovní charakteristiky. Postup tvorby spojitých ploch je relativně složitý, z tohoto důvodu je uveden vztah pouze pro výslednou spojitou plochu. Rov. (1) tedy definuje výslednou plochu spotřeby paliva.

$$\text{fit}(x, y) := \text{interp} \left[S, M, \mathbf{P} \left(\frac{x}{y} \right) \right] \quad (1)$$

kde: $\text{fit}(x, y)$ je výsledná spojitá plocha spotřeby paliva, vytvořená z matice \mathbf{P} , v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru.

Dále je z předepsaných procentuálních otáček motoru a procentuálního zatížení motoru definované NRTC cyklem (NRTC definuje procentuální otáčky a zatížení motoru každou sekundu, tímto předpisem vznikne transienční motorový cyklus charakterizující skutečné zatěžování motoru v provozu, délka cyklu je 1237 s) stanoven průběh otáček v min^{-1} a točivého momentu motoru v Nm zohledňující změnu výkonových parametrů motoru v závislosti na použitém palivu. Za pomoci výpočtového algoritmu jsou k definovanému průběhu otáček a točivého momentu motoru odečteny, ze spojitých charakteristik spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí, průběhy okamžitých a kumulovaných hodnot spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí. Opět je uveden pouze výsledný vztah pro otáčky motoru rov (2) a točivý moment motoru rov (3). Rov. (4) definuje okamžité hodnoty v tomto případě spotřeby paliva a rov. (5) pak kumulovanou hodnotu.

$$n(s) := (n_{\text{ref}} - n_{\text{idle}}) \cdot n_{\%s} \cdot 0,01 + n_{\text{idle}}, \quad (2)$$

kde: $n(s)$ [min^{-1}] jsou aktuální otáčky v NRTC cyklu, n_{ref} jsou referenční otáčky motoru, n_{idle} jsou volnoběhové otáčky motoru a $n_{\%s}$ [%] jsou zadané procentuální otáčky motoru.

$$M_e(s) := M_{\text{max}}(s) \cdot 0,01 \cdot M_{\%s} \quad (3)$$

kde: $M_c(s)$ [Nm] je průběh točivého momentu motoru v NRTC cyklu, $M_{\text{max}}(s)$ [Nm] je maximální moment při daných otáčkách cyklu a $M_{\%s}$ [%] je zadaný točivý moment cyklu.

$$M_{ps}(s) := \frac{\text{fit}(n(s), M(s))}{3,6} \quad (4)$$

kde: $M_{ps}(s)$ [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$] je okamžitá spotřeba paliva, funkce $\text{fit}(n(s), M_c(s))$ přiřadí jednotlivým otáčkám cyklu $n(s)$ a zatížení motoru $M(s)$ spotřebu paliva z plochy hodinové spotřeby paliva

$$M_{pK}(s) := \sum_{s=0}^s M_{ps}(s) \quad (5)$$

kde: $M_{pK}(s)$ [g] je kumulativní spotřeba paliva a $\sum_{s=0}^s M_{ps}(s)$ [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$] je postupně načítající se spotřeba paliva od nulté sekundy, až po 1237 sekundu.

Výsledkem počítačové simulace NRTC cyklu je průměrná měrná spotřeba paliva a průměrná měrná produkce jednotlivých složek emisí definovaná rov. (6), do které je zahrnuta jak změna hmotnostní spotřeby paliva a hmotnostní produkce emisí, tak i změna výkonových parametrů motoru v závislosti na použitém palivu. Tyto průměrné měrné emise jsou nejlepším prostředkem sloužícím k porovnání jednotlivých druhů paliva. Jelikož NRTC cyklus definuje zatížení vycházející z reálného provozu, lze předpokládat, že i skutečná změna ve spotřebě paliva a v produkci emisí odpovídala běžnému provozu motoru.

$$m_{pe} := \frac{M_{pp} \cdot 1000}{P_p \cdot 0.001}, \quad (6)$$

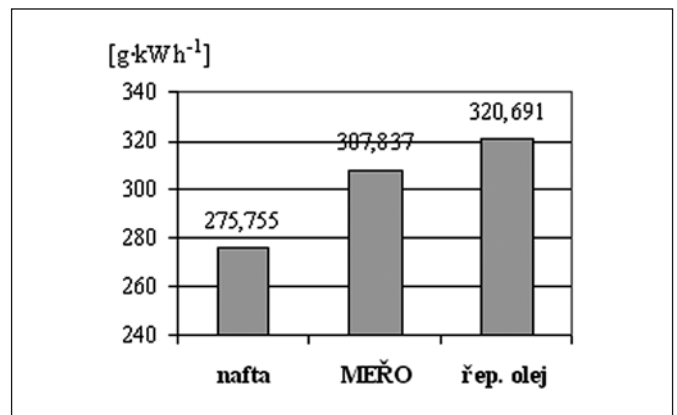
kde: m_{pe} [g·kWh⁻¹] je průměrná měrná spotřeba v NRTC cyklu, M_{pp} [kg·h⁻¹] je hodinová spotřeba paliva, P_p [W] je kumulativní výkon motoru

4 VÝSLEDKY

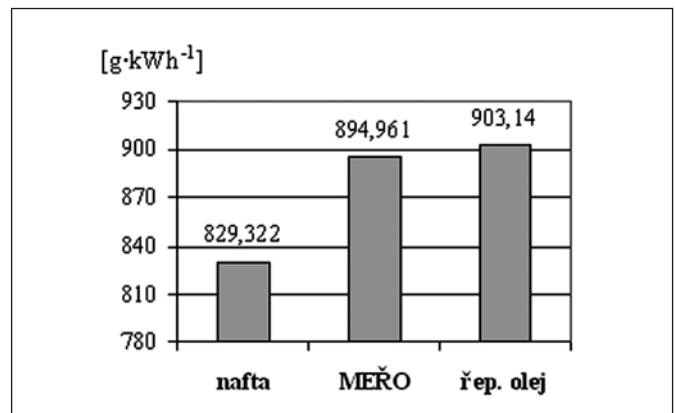
Tab. 2 Výsledné hodnoty analýzy emisí a spotřeby paliva (nafta, MEŘO, řepkový olej)

	nafta	MEŘO	řepkový olej
spotřeba paliva na cyklus [kg]	1,779	2,011	2,007
průměrná měrná spotřeba paliva [g·kWh ⁻¹]	275,755	307,837	320,691
produkce emisí CO ₂ na cyklus [kg]	5,411	5,555	5,369
průměrné měrné emise CO ₂ [g·kWh ⁻¹]	829,322	894,961	903,14
produkce emisí CO na cyklus [g]	165,373	111,586	116,14
průměrné měrné emise CO [g·kWh ⁻¹]	25,347	17,976	19,537
produkce emisí HC na cyklus [g]	1,025	1,065	1,12
průměrné měrné emise HC [g·kWh ⁻¹]	0,157	0,171	0,188
produkce emisí NO _x na cyklus [g]	42,71	44,767	48,258
průměrné měrné emise NO _x [g·kWh ⁻¹]	6,547	7,212	8,118
průměrná kouřivost na cyklus [m ⁻¹]	0,04	0,018	0,032

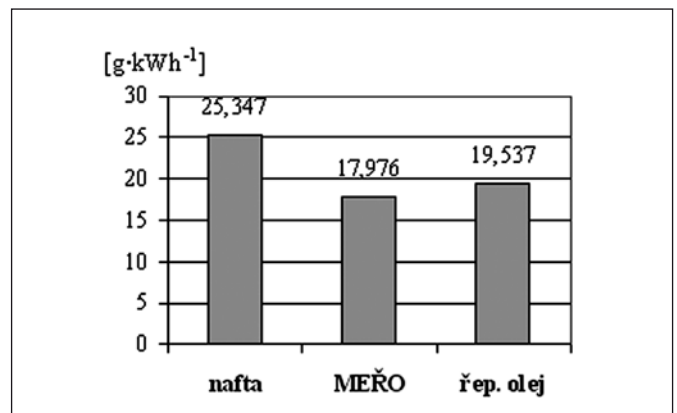
Z naměřených hodnot vyplývá pokles výkonu u pohonu na MEŘO o 3 % oproti klasické motorové naftě, v případě rostlinného oleje výkon poklesl o 5 % ve srovnání s motorovou naftou. Hodnota průměrné měrné spotřeby MEŘO ve srovnání s motorovou naftou vzrostla o 11,5 %, průměrná měrná spotřeba řepkového oleje ve srovnání s motorovou naftou vzrostla o 16,3 %. Hodnota průměrných měrných emisí CO₂ při spalování MEŘO ve srovnání s motorovou naftou vzrostla o 7,9 %, hodnota průměrných měrných emisí CO₂ při spalování řepkového oleje vzrostla ve srovnání s motorovou naftou o 8,9 %. Produkce průměrných měrných emisí CO při spalování MEŘO je ve srovnání s motorovou naftou nižší o 29 %, hodnota průměrných měrných emisí CO při spalování řepkového oleje je ve srovnání s motorovou naftou nižší o 22,9 %. Produkce průměrných měrných emisí jednoduchých HC při spalování MEŘO je ve srovnání s motorovou naftou vyšší o 8,9 %, hodnota průměrných měrných emisí HC při spalování řepkového oleje je ve srovnání s motorovou naftou vyšší o 19,7 %.



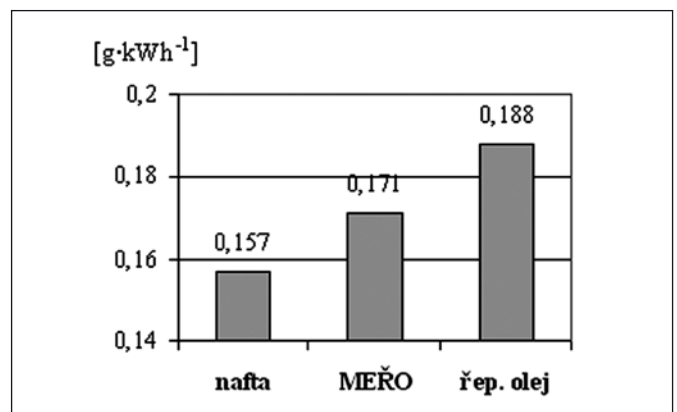
Obr. 1 Průměrná měrná spotřeba



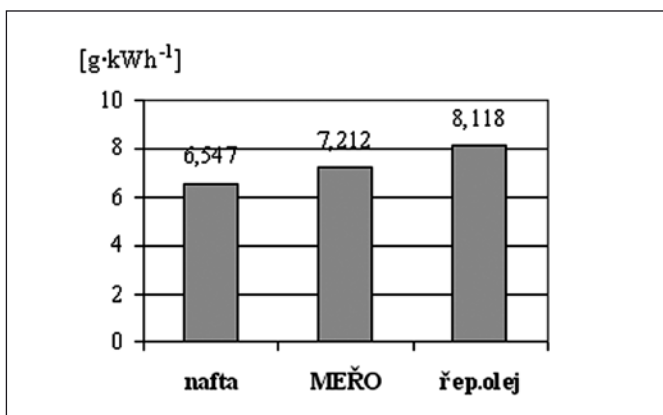
Obr. 2 Průměrné měrné emise CO₂



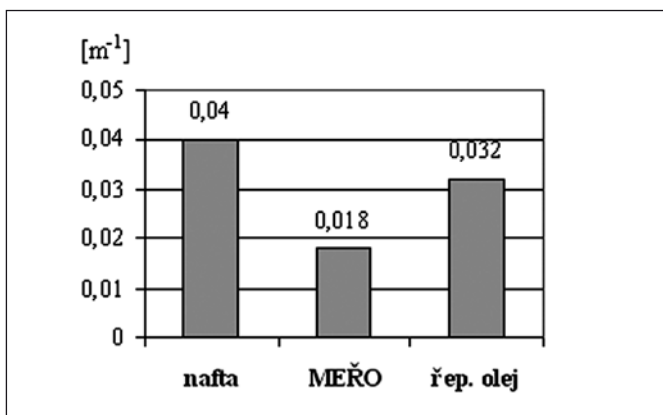
Obr. 3 Průměrné měrné emise CO



Obr. 4 Průměrné měrné emise HC



Obr. 5 Průměrné měrné emise NO_x



Obr. 6 Průměrná kouřivost na cyklus

Hodnota průměrných měrných emisí NO_x při spalování MEŘO ve srovnání s motorovou naftou vzrostla o 10,2 %, hodnota průměrných měrných emisí NO_x při spalování řepkového oleje vzrostla ve srovnání s motorovou naftou o 24 %. Průměrná kouřivost při spalování MEŘO je nižší o 55 % než v případě motorové nafty, při spalování řepkového oleje je hodnota kouřivosti nižší o 20 % oproti naměřeným hodnotám při spalování motorové nafty. Obsah oxidů síry ve výfukových plynech je při provozu na zmíněná biopaliva minimální (řádově setiny hmotnostních procent).

ZÁVĚR

Ve spotřebě naprosto převládají paliva složená z uhlovodíků, jejichž spálením vzniká kromě obrovského množství CO₂ také vodní pára, oxidy dusíku z nasátého vzduchu a v malém množství

celá řada látek, z nichž některé jsou označovány jako toxické pro lidský organismus a vše živé na planetě. Jsou proto nazývány jako škodlivé emise. Tváří v tvář ekologické hrozbě je vývoj motorových vozidel určován normami výfukových plynů s požadavkem na jejich snižování. Při hledání alternativního paliva je však zapotřebí zohlednit řadu proměnných konstrukčně technických, zemědělských, ekonomických a v neposlední řadě i parametry z pohledu tribotechnické diagnostiky. Pro pohon vznětových motorů existuje již řada alternativ, které mohou však být spojené i s konstrukční úpravou vozidla, při jejichž absenci by mohlo dojít k trvalému poškození stroje a dalšímu šíření nechvalných mýtů o biopalivech. Ekonomická podstata biopaliv musí být závislá i na technických parametrech vozidel a hlavně na vlastnostech paliva. Snižování výrobních nákladů vlivem hledání levnějších surovin může mít negativní dopad na spalovací pochody a provozuschopnost vznětových motorů. Hlavní pozornost nejen z hlediska palivářského by měla být věnována pro zemědělce nejvíce slibnému řepkovému oleji a jeho metylesteru. Toto palivo již delší dobu známe a přináší nám výrazný potenciál pro rozvoj našeho zemědělství.

Literatura

- [1] KOVÁŘ, J.: Alternativní paliva a jejich problematika: přímé využití RME a FAME, sborník referátů z 23. vyhodnocovacího semináře „Systém výroby řepky“, SPZO s.r.o, Praha, 2006, 345 s. ISBN 80-27065-00-x
- [2] MATĚJOVSKÝ, V.: Automobilová paliva, Grada Publishing, a.s., Praha, 2005, 224s. ISBN 80-247-0350-5
- [3] Pflanzenöl Motor Umrüstung Rapsöl Motor Elsbett Motor. Elsbett AG [online]. [cit.2007-01-03]. Dostupné z www: <http://www.elsbett.com>
- [4] TŘEBICKÝ, V.: Jakostní požadavky na biopaliva, sborník referátů z 12. ročníku konference „Reotrib - Kvalita paliv a maziv“, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (VŠCHT), Praha, 2006, 169 s. ISBN 80-7080-603-6
- [5] ŽIKLA, A. – JABLONICKÝ, J.: Možnosti využití bionafty, Sborník přednášek XXXVII. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů českých a slovenských vysokých škol, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta technická, Praha, 2006, 60 s. ISBN 80-213-1510-5
- [6] VLK, F.: Paliva a maziva motorových vozidel, prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5
- [7] KAMEŠ, J.: Alternativní pohony automobilů, 1. vydání, Ben, Praha, 2004, 232 s. ISBN 80-7300-127-6

Ing. Vladimír Hönig (AMRSC), katedra vozidel a pozemní dopravy, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, honig@tf.czu.cz, +420 224 384 105

Ing. Jan Hromádko, Ph.D., katedra vozidel a pozemní dopravy, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, janhromadko@tf.czu.cz, +420 22438 4108

Ing. Jiří Hromádko, Ph.D., Ministerstvo životního prostředí ČR, jiri_hromadko@env.cz, +420724093945

Piezelektrické posuvy pro použití v kamerách a skenerech

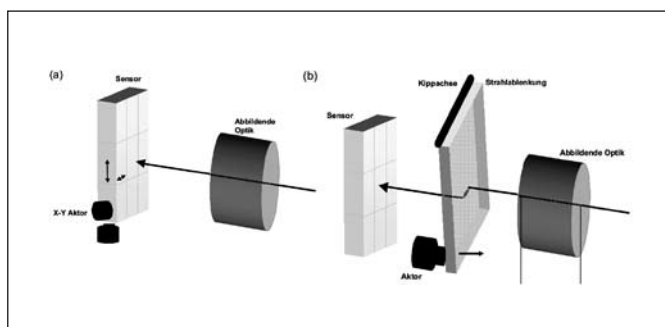
„Virtuální násobič pixelů“ zvyšuje rozlišení

Od kamerových systémů nebo skenerů často očekáváme vysoké rozlišení. Typickými příklady jsou automatické systémy pro rozpoznávání nebo sledování, snímky pro kartografické účely nebo mikroskopické snímky v lékařské technice. Vyhovět stoupajícím nárokům není jednoduché zejména pokud je nutné, aby cena zařízení zůstala v rozumných mezích. Možnost řešení nabízí takzvaný pixel sub stepping. S tímto virtuálním násobičem pixelů je možné zvýšit rozlišení všech záznamových systémů. Tím se podstatně zvýší kvalita snímků. Důležitou roli v těchto systémech hrají piezelektrické posuvy.

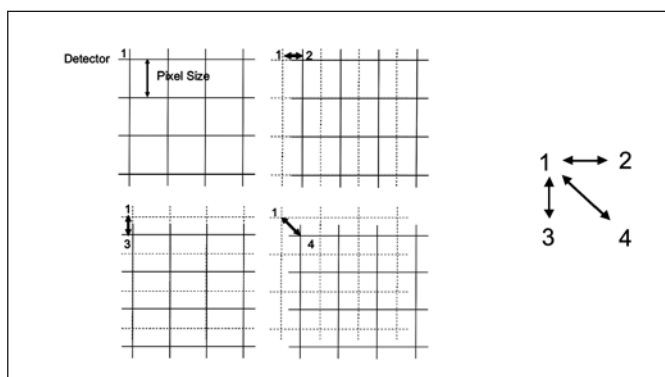
Při digitálním zpracování obrazu je rozlišení určeno počtem zobrazovacích pixelů použitého CCD nebo CMOS čipu. Pokud chceme rozlišení zvýšit, musíme zvýšit počet zobrazovacích pixelů. Toho můžeme dosáhnout dvěma způsoby, přičemž oba jsou nákladné: můžeme zvětšit velikost čipu nebo zmenšit velikost pixelů. V prvním případě budeme potřebovat kromě většího čipu také jinou zobrazovací optickou soustavu. Ve druhém případě klesne s velikostí pixelu také jeho citlivost. Tím se sníží odstup signálu od šumu, což může navzdory většímu rozlišení kvalitu obrazu dokonce zhoršit. Pro mnoho aplikací se proto nabízí jiné řešení jako praktická a méně nákladná alternativa:

Pixel sub stepping a dithering

Při takzvaném sub pixel steppingu se snímací pole pohybuje s definovanou frekvencí po zadané dráze (obr. 1). Tento pohyb, nazývaný „dithering“ (angl. kolísání) se odehrává v rozsahu menším



Obr. 1 Schéma principu posuvu snímacího čipu (a) nebo zobrazujícího paprsku na senzor (b)



Obr. 2 Posuv čipu detektoru o polovinu šířky pixelu ve vodorovném, svislém a úhlopříčném směru vytváří 4 různé obrazy, z kterých se dá spočítat obraz se zvýšeným rozlišením

než je velikost pixelu. Během pohybu je pixel několikrát osvětlen na snímacím poli (obr. 2), čímž vznikne virtuální „násobič pixelů“, který umožňuje podstatné zvýšení rozlišení (obr. 3). Zbytek je zpracování dat. Z různých obrazů, které tímto způsobem vzniknou, je následně „seskládan“ výsledný obraz s vysokým rozlišením, v angličtině se tento postup nazývá super-resolution.



Obr. 3 Letecký snímek budovy (PI Ceramic v Lederhose / Duryňsko): Zvýšené rozlišení umožňuje lépe rozeznat detaily

Protože se při této metodě používá pohyb, potřebujeme pohonnou jednotku, která má vhodné parametry pro zajištění požadovaného pohybu. Parametry se mohou lišit v závislosti na aplikaci, existují však podstatné společné vlastnosti: Snímací čip se musí opakovaně pohybovat ve dvou souřadnicích s dostatečnou



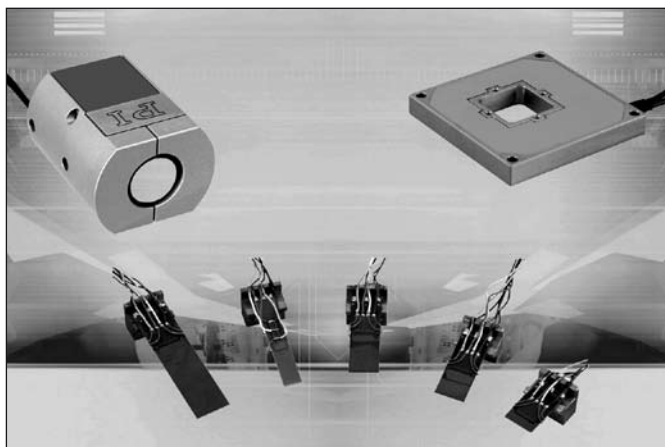
Obr. 4 Cenově výhodný xy-piezelektrický skener pro zvýšení rozlišení snímačů

linearitou. Rozsah pohybu je srovnatelný s velikostí pixelu, to znamená desítky mikrometrů nebo i méně a požadovaná dynamika pohybu je v rozsahu od několika hertzů pro stacionární obrazy až po několik kilohertzů pro video nahrávky.

Základním požadavkem u biometrických CCD/CMOS skenerů s vysokým rozlišením, které se používají k identifikaci osob pomocí otisků prstu, je například skenovací frekvence mezi 1 a 5 Hz přičemž doba odezvy je menší než 100 ms (obr. 4). Rozsah pohybu pohonné jednotky leží mezi 5 μm a 15 μm (jak ve směru osy x tak ve směru osy y), přičemž přesnost musí být lepší než 0,5 μm . Hmotnost pohybující se části je asi 50 g a pohonná jednotka by měla zabírat co nejméně místa, aby se dala bez problémů umístit do kompaktních přístrojů. Podobné požadavky platí i pro jiné aplikace, u nichž se dá rozlišení zvýšit pomocí metody pixel sub stepping. V neposlední řadě je důležité, aby náklady tohoto zařízení zůstaly u všech aplikací v rozumných mezích.

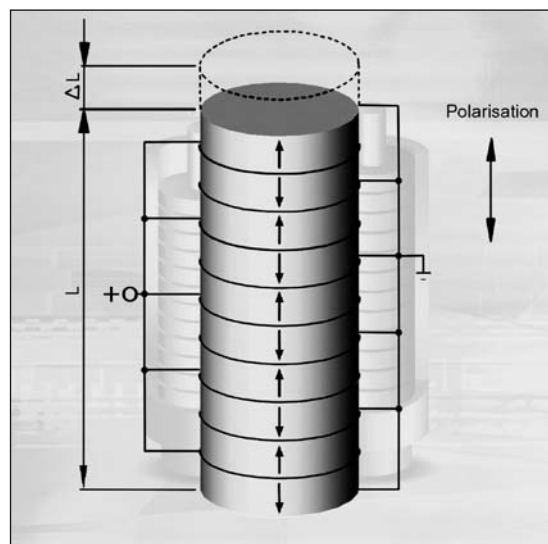
Piezelektrické posuvy: rychlé, spolehlivé a snadno integrovatelné

Technické požadavky se dají splnit standardními posuvy a tak i poslední bod nebude problematický. Společnost Physik Instrumente (PI) se sídlem v Karlsruhe nabízí celou řadu odpovídajících piezelektrických posuvů (obr. 5), které jsou již díky svému principu velmi vhodné pro nasazení v tomto oboru (obr. 6).



Obr. 5 Skenovací pohyb může být realizován různými piezelektrickými systémy. V závislosti na požadavcích jsou možné různé varianty realizace, od systémů, které navádí světelný paprsek (vlevo) přes XY skenery (vpravo) až po jednoduché piezelektrické ohýbací prvky

Piezelektrické posuvy mění elektrickou energii přímo v mechanickou a obráceně. To umožňuje dosáhnout posuvů v rozsahu přibližně jeden milimetr s rozlišením v oblasti nanometrů a zároveň dynamiku o frekvenci z oblasti kilohertzů. Protože pohyb je založen na krystalických jevech, posuv neobsahuje žádné rotující nebo třecí části; piezelektrické posuvy nepotřebují údržbu, nepodléhají opotřebování a protože je není nutné mazat, jsou vhodné i pro použití ve vakuu. Mohou pohybovat velkými hmotnostmi a jsou velmi kompaktní. To umožňuje dokonce dodatečné vybavení. Tak je možné



Obr. 6 Inverzní piezelektrický jev: Kotouče z piezo keramiky se roztahují při přiložení elektrického pole a zajišťují mechanický pohyb

například kvalitní speciální kameru dodatečně vybavit doplňkovou digitální jednotkou, která pracuje na principu metody pixel sub stepping, a využívat vyšší rozlišení, které tato jednotka umožňuje.

Možnosti využití v celém oboru zobrazování

Možnosti využití pixel sub steppingu s „virtuálním násobičem pixelů“ existuje prakticky v celém oboru zobrazování. Mezi typické příklady patří již zmíněné biometrické skenery nebo infračervené kamery, které se používají např. při sledování ze vzduchu pomocí vrtulníků. Použité piezelektrické posuvy, které zajišťují „dithering“, pracují nejen s vysokou linearitou a opakovatelností, ale dokáží odolávat často tvrdým okolním podmínkám. Splňují standard MIL, spolehlivost při teplotách mezi -40 $^{\circ}\text{C}$ a +75 $^{\circ}\text{C}$ je požadována nejen u vojenských aplikací. Vykazují také vysokou odolnost proti rázům a vibracím, které se vyskytují především u mobilních aplikací. K nim patří například také kartografické snímkování z letadel. Digitální záznamová technika je zde podstatně účinnější než dosud běžné analogové kartografické kamery, které jsou nejen výrazně větší ale také dražší.

Typické použití je možné nalézt všude tam, kde není možné rozlišení čipu kvůli slabému účinku nebo dobu osvětlení při snímání časově proměnných nebo pohyblivých předmětů libovolně zvolit. Tak je tomu např. u fluorescenční mikroskopie, interferometrie v bílém světle (optická koherenční tomografie nebo obecná analýza struktury povrchu) nebo také sledovacích kamer.

Další možnost uplatnění jsou skenery používané pro digitalizaci dat, např. plánů, výkresů atp. Zde je možné pomocí pixel sub steppingu podstatně zvýšit rozlišení při poměrně nízkých nákladech. Stejně užitečná je tato metoda při zálohování dat na mikrofilmu a prakticky všude tam, kde je potřeba při stávající zobrazovací optické soustavě zvýšit rozlišení. Fantazii uživatele se nekladou žádné meze, zejména pokud je možné požadované posuvy realizovat pomocí standardních komponent.

Obrázky: Physik Instrumente (PI)

Text: Ing. Steffen Arnold, vedoucí oddělení „trh a odbyty“ firmy Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Ellen-Christine Reiff, M.A., redakce Stutensee

Překlad: RNDr. Pavel Pavlíček, Ph.D., SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 508

CONTENTS

OPTONIKA 2010 – trade-fair of optical technologies and their applications for the first time in the Czech Republic 303

In view of intensive development of optical technologies witnessed daily in the many industrial sectors, the fair management of Terinvest spol. s r.o. decided to include a new international trade fair of optical technologies and their applications – OPTONIKA 2010 in its fair spring calendar. This project so far with no parallel in the Czech Republic will be held at the same time with traditional 18th international trade fair of electric engineering and electronics.

Wave dynamics of electrons and photons under unified framework of the one-particle nonrelativistic Schrödinger equation (J. Pospíšil, K. Šafářová)..... 304

Some analogical forms of the one-particle nonrelativistic three-dimensional time-nonstationary and stationary Schrödinger quantum equation for conductive electrons and photons in adequate homogeneous or nonhomogeneous and isotropic material media are presented in the article. Their interpretation and comparison enable considerations about the conditions for a direct transit of some mutually relevant characteristic quantities and functions.

Technical boroscope – optical part of the device for combustion processes monitoring (J. Keprt, L. Pospíšil, S. Záboj, L. Bartoněk, J. Hradil, P. Pospíšil, M. Švarc, P. Fuchs, Š. Bloch) 308

This paper is an extension of the work Optical System of Boroscope I [1]. It describes the scheme of a mechanical tube construction, the boroscope head with an iris diaphragm and the end imaging optical member. A colour CCD camera connected with the boroscope head using a bellows transfer electronic signals of the compound flame image to the PC monitor. The monitored three coloured (red, green, blue) images and their intensities give more information about the flame quality, so that it is possible to achieve more efficient and eco-friendly combustion processes.

Key words: Boroscope, mechanic-optical system, tube, boroscope head, coloured CCD camera, spectral components of flame image, combustion process

ICO Topical meeting Emerging trends & Novel materials in Photonics (2009 Delphi Photonics) (P. Tománek)..... 311

Helium cryostat for experimental study of natural turbulent convection (P. Urban)..... 312

This paper describes a helium cryostat with an experimental cell for the study of the natural turbulent convection at very high Rayleigh numbers ($10^6 < Ra < 10^{15}$) with cryogenic ^4He gas (from 4.2 K to 8 K) as working fluid. The cylindrical convection cell of 300 mm in diameter and up to 300 mm in height is assembled from central, top and bottom parts. The parts are jointed by flanges which are sealed by indium wires. The central part is exchangeable and allows modification of the geometry of the cell. The cell is designed for measurement at pressures from 100 Pa to 250 kPa. The cell design minimises the parasitic heat flux into the fluid.

Coulomb interactions of electrons in the vicinity of the Schottky source (I. Liška, P. Adamec, B. Lencová) 315

The paper describes simulation method for the evaluation of Coulomb interactions on energy spread in electron beam in the vicinity of Schottky emission source. It presents also some preliminary results of performed Monte Carlo simulations.

OPTA moving in the larger fair pavillon (M. Strítěcký)..... 318

EOS Annual Meeting 2009 (M. Jedlička, P. Tománek)..... 319

New technologies in applied physics at Faculty of Science of Palacký University in Olomouc (R. Kubínek, P. Horváth) ... 320

An Internal Damping Observation as a Method of Characterization Epoxy Resin Structure Changes (D. Kroisová) 322

Epoxy resins are polymer materials reaching their final mechanical parameters after creating unchangeable inner structure. Time 48 hour and temperature 25°C are considered to be sufficient for the final mechanical parameters achievement. But the final structure creating lasts longer. An internal damping observation can be suitable for the purpose of material changes characterization.

Key words: internal damping, epoxy resin

Industrial TradeFair Moscow gets ready for launch in Russia (B. Mahnken) 324

Roughness Measurement of the Machined Areas by Optical Method Based on Phase Visualization (J. Valíček, M. Držík, P. Hlaváček, M. Kušnerová) 325

The contribution is devoted to the design, development and basic results of contactless optical method application designed for measuring the roughness of machined areas. The method allows analysis of the surface spectrum of illuminated laser beam through defocusing optical transformation. The obtained results point to a very good correlation between the measured parameters of machined surfaces and standard values.

Application of simulation system in the experimental measurement process (R. Krehel, J. Dobránský)..... 329

EMO MILANO 2009 (J. Kür)..... 332

Problems of biofuels usage in applications for diesel engines and their emission analysis

(V. Höning, J. Hromádka, J. Hromádka) 333

The article describes diesel engines drive design solved by a support of plant oil-based fuels (RME, rape oil). It provides alternative instead of standard engine diesel fuel. Properties of above mentioned bio-fuels are listed in the article and their possible use in combustion engines applications and it takes into account a design modification of fuel set or combustion chamber. Last but not least it pays an attention to possible negative impact on machine service ability and possibilities of these impacts' decreasing. The experimental part of paper analyses an emission production and fuel consumption in comparison with diesel engine fuel by computer simulation of engine testing cycle. (NRTC, Non-Road Transient cycle) that serves to off-road vehicles homologation.

Key words: RME, rape oil, emission, design modification, NRTC cycle

“Virtual pixels multiplier” can improve the resolution

(P. Pavlíček) 338

Camera systems or scanners are expected to demonstrate their high resolution. Among typical examples we can count automatic systems for recognition or monitoring, pictures for cartographic purposes or medical microimages. To meet rising requirements is not easy, especially when the price of the device has to stick reasonable limits. The possible solution is so called pixel sub-stepping. Using this virtual pixel multiplier it is possible to improve the resolution of all recording systems and therefore significantly also picture quality. The piezoelectric shifting in these systems plays a crucial role.



INDUSTRIE ELEKTRONIK spol. s.r.o.



Průmyslové monitorování termických procesů Industry Monitoring of the Thermically Processes

- ▶ v elektrárnách
- ▶ v cementárnách
- ▶ v chemickém průmyslu
- ▶ ve spalovnách odpadu
- ▶ v hutnictví
- ▶ in Power Plants
- ▶ in Cement Industry
- ▶ in Chemical Industry
- ▶ in Waste Inceneration Plants
- ▶ in Metallurgy

INDUSTRIE ELEKTRONIK s.r.o., Masarykova 2, 040 01 Košice
+421 55 632 11 39, +421 55 632 20 12, www.indel.sk

PF 2010

*Příjemné prožití svátků vánočních, hodně zdraví
a spokojenosti v novém roce
přeje*

redakce časopisu Jemná mechanika a optika



zaostřeno na optiku



16. mezinárodní veletrh oční optiky, optometrie a oftalmologie

- Zvýrazněné téma roku 2010 - **Presbyopie 45+** (stárnutí zraku)
- **Projekt Business Point** = zprostředkování přímého setkání vystavovatelů nejen se stávajícími, ale i novými zákazníky z tuzemska a ze zahraničí
- Premiéry a novinky připravované prodejci a distributory pro jaro/léto 2010
- **TOP OPTA 2010** - soutěž o nejlepší exponát veletrhu
- **Mezinárodní kongres OPTA 2010**
- **Lectures Point** - pro firemní a odborné přednášky a prezentace
- **„Moderní oční optika 3. tisíciletí“** - společný projekt vystavovatelů, SČOO a BVV

Brno, Výstaviště

5. – 7. 2.

2010

www.opta.cz

Central European
Exhibition Centre



Veletrhy Brno, a.s.
Výstaviště 1
647 00 Brno
Tel.: +420 541 152 818
Fax: +420 541 153 063
E-mail: opta@bvz.cz
www.opta.cz

BVV

Veletrhy
Brno