

5
2009

JMMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS



LASER World of **PHOTONICS**

19. VEDOUcí SVĚTOVÝ VELETRH PRO KOMPONENTY,
SYSTÉMY A NAsAZENí OPTICKÝCH TECHNOLOGIí

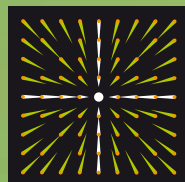
LIGHT AT WORK

Využijte již nyní výhody online
registrace zlevněných vstupenek na
www.world-of-photonics.net/ticket

TEN SPRÁVNÝ VELETRH PRO OBOR PRŮMYSLOVÉHO ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.

Jsou vaším cílem konkurenční výhody dosažené díky nasazení inovativních optických technologií? Potom vítejte na veletrhu **LASER World of PHOTONICS**. Žádný jiný veletrh vám nepřinese více inovací a know-how, nezprostředkuje více odpovědí na otázky kolem možností nasazení fotoniky a průmyslového zpracování obrazu, jako vedoucí světový veletrh pro laser a fotoniku. Profitujte z důsledné praktické a obchodní orientace veletrhu a směřujte s lídry trhu, odborníky a zástupci firem ke společnému cíli: k řešení.

Bližší informace: Tel.: 545 176 158, Fax: 545 176 159
www.expcs.cz, www.world-of-photonics.net



NOVÉ
VÝSTAVIŠTĚ
MNICHOV

15.–18. června 2009

LASER-TECH, spol. s r.o.

je moderní, dynamicky se rozvíjející česká firma, která již více než 17 roků podniká v oblasti aplikací laserových technologií ve výrobě, především strojírenské, a komplexního zpracování plechu pomocí CNC technologií.

Největší objem prací společnosti LASER-TECH, spol. s r. o. představují v současné době výrobní kooperace v oblasti laserového řezání plechů.

firma získala certifikát systému environmentálního managementu dle standardu EN ISO 14001.

Ke kooperačnímu laserovému řezání plechů slouží nyní dva laserové řezací systémy od firmy TRUMPF, a to nový laserový řezací stroj TruLaser 5030 classic a starší Trumatic L3050 - oba s CO₂ laserem o výkonu 5000 W.

V oblasti komplexního zpracování plechů společnost LASER-TECH, spol. s r.o. dále nabízí

Společnost LASER-TECH, spol. s r.o. pružně reaguje na požadavky zákazníků. Je schopna v oblasti laserového řezání zajistit kusovou výrobu i desetitisícové série s termínem dodání od několika hodin do několika dnů. Pro zajištění výroby součástí na NC řízených strojích vám pracoviště CAD/CAM zajistí komplexní zpracování výkresů, příp. jiných předloh. Lze použít i vámi předaná data ve formátu DWG, DXF a CDR.

Nabízíme vám kvalitní zpracování plechu CNC technologiemi na moderních strojích firmy TRUMPF – krátké dodací lhůty a velmi příznivé ceny

Za dobu své existence přijala řádově desítky tisíc objednávek a poskytla tyto služby tisícům spokojených zákazníků jako LASER JOB SHOP. K zákazníkům patří nejen české firmy, ale i řada firem německých, rakouských, francouzských, švýcarských, belgických, britských, slovenských a dalších, a tak se jednotlivé komponenty zhotovené společností LASER-TECH, spol. s r. o. dostávají do mnoha zemí světa.

Firma je od roku 2002 držitelem certifikátu systému řízení jakosti dle standardu EN ISO 9001:2000 pro oblast laserového zpracování materiálu včetně navazujících a dokončovacích operací. V roce 2009

navazující kovoobráběcí a zámečnické práce, např. ohýbání na TRUMPF CNC-ohraňovacích lisech TruBend 5170 a TrumaBend V85S, vrtání a řezání závitů aj. Při svařování metodami MIG/MAG a TIG jsou používány nejmodernější svařovací agregáty firmy FRONIUS. Firma má také k dispozici stroje pro montáž spojovacích prvků. V kooperaci může zajistit prakticky všechny běžné povrchové úpravy dílců.

Laserové řezání plechů je běžně zajišťováno z materiálu dodaného společností LASER-TECH, spol. s r.o., která nabízí také zajištění dopravy hotových výrobků k zákazníkovi zpravidla do 24 hodin po dokončení výroby.

Společnost LASER-TECH, spol. s r.o. má také v provozu pracoviště vybavené laserovým popisovacím systémem Scriba II D40 od britské firmy ELECTROX, které je využíváno pro zakázkovou činnost především v oblasti průmyslového popisu a značení.

Zveme vás k návštěvě našeho pracoviště laserových technologií a komplexního zpracování plechů v Olomouci. Máte možnost využít mnohých předností laserových technologií při realizaci vašeho výrobku a dosáhnout tak jeho vysoké kvality při zachování příznivé ceny.



...tradice a zkušenosti



Komplexní zpracování plechů pomocí CNC technologií

Laserové řezání plechů

- z měkkých ocelí do tl. 25 mm
- z nerez ocelí do tl. 20 mm
- z hliníku do tl. 12 mm
- z mosazi do tl. 5 mm a jiné

Navazující a dokončovací operace

- CNC ohraňování
- svařování metodou MIG/MAG a TIG
- montáž spojovacích prvků
- vrtání a závitování
- různé povrchové úpravy

Laserový popis a značení

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, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Ing. Monika MÍCHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava, doc. RNDr. Miroslav MILER, DrSc., ÚFE AV ČR, v.v.i., Praha, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, Ph.D., UK, Bratislava, RNDr. Petr SCHOVÁNEK, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

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

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

Ředitel FZÚ AV ČR, v.v.i.: 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 - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.utc.sk

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov,

tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

Inzerce: redakce, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov,

tel.: 581 242 151, mobil: 776 011 925, fax: 581 242 222.

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2009

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 54 5/2009

OBSAH

Laser World of Photonics (A. Präg) 131

Výbojkově buzený Pr:YAlO₃ laser generující záření ve viditelné spektrální oblasti (M. Fibrich, H. Jelínková, J. Šulc, A. Novotný, K. Nejezchleb, V. Škoda) 132

Třetí symposium SPIE Europe „Optics and Optoelectronics“ (P. Tománek) 137

Holografická generace 3D obrazu: přehled přístupů (M. Škereň, P. Fiala) 139

Hybridní aplanatické optické systémy (J. Hopp, P. Fiala) 144

Životní jubileum doc. Ing. Josefa Zichy, CSc. (J. Hošek, V. Šulc) 148

CONTROL 2009 (J. Kůr) 149

Výrobní a vývojový program v CRYTUR, spol. s r. o. (A. Blažek, K. Blažek, J. Houžvička, K. Nejezchleb) 150

Firma LAO: Komplexní řešení od jednoho dodavatele s mnohaletou tradicí 152

Veletrh „electronica & Productronica China 2009“ 153

Měření příkonového kritéria atypického listového míchadla při míchání modelové suspenze (L. Chládek, M. Píkrý, J. Zeman) 154

Přístroje pro laserovou litografii nové generace 158

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

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

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

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORŇÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Bohumila LENCOVÁ - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), František MÁCA, Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Monika MÍČHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel 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

5/2009

CONTENTS

Laser World of Photonics (A. Präg) 131

Discharge pumped Pr: YAlO₃ laser generating visible radiation (M. Fibrich, H. Jelínková, J. Šulc, A. Novotný, K. Nejezchleb, V. Škoda)..... 132

Third SPIE Europe Symposium on „Optics and Optoelectronics“ (P. Tománek) 137

3D holographic generation: an overview (M. Škereň, P. Fiala)..... 139

Hybrid aplanatic optical systems (J. Hopp, P. Fiala) 144

Doc. Ing. Josef Zicha, CSc.'s anniversary (J. Hošek, V. Šulc)..... 148

CONTROL 2009 (J. Kůr)..... 149

Production and research program in CRYTUR, spol. s r.o. (A. Blažek, K. Blažek, J. Houžvička, K. Nejezchléb) 150

LAO company: Complex solution from single supplier with many years of tradition 152

Fair-trade “electronica & Productronica China 2009” 153

The determination of power characteristic of the atypical blade stirrer during mixing of model suspension (L. Chládek, M. Přikryl, J. Zeman) 154

New generation instruments for laser lithography 158

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

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

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Vůdčí světový veletrh optických technologií

Laser World of Photonics

Veletrh Laser World of Photonics zaznamenává i v době napjaté hospodářské situace opět nárůst. Brány veletrhu se otevírají na výstavišti v Mnichově v době od **15. – 18. června 2009**. Výstavní plocha se rozšíří o 10 000 m² i do 4. haly a tak celková plocha bude činit 42 000 m². Veletrhu se bude účastnit kolem 1200 vystavovatelů vč. firem z České republiky (Crytur, LCG, Meopta, SQS Vláknová optika).

Pro veletrh Laser World of Photonics 2009 není typický jen nárůst, ale i uplatnění. Potenciál optických technologií bude spočívat v praktickém uplatnění: Light at Work!

Veletrh Laser World of Photonics je společně s **kongresem World of Photonics**, konajícím se od 14. – 19. června 2009, nejdůležitější mezinárodní výstavou optických technologií. Tvoří základnu pro komunikaci mezi podnikateli, experty a vědci z celého světa. Nárůst veletrhu se odráží i na spokojenosti vystavovatelů.

Během 4 výstavních dnů představí nejlepší světoví odborníci z oblasti optických technologií mezinárodnímu odbornému publiku celkové spektrum tohoto odvětví: Stěžejními body jsou v tomto roce Biophotonika a Life Sciences, Laser v provedení Photovoltaik a téma osvětlení. Pozornost nebude věnována jen jednotlivým komponentům, nýbrž i systémovému řešení.



LASER 2007 - World of PHOTONICS - Foto: AlexSchelbert.de

Přenos technologií pro stabilní nárůst odvětví

Vůdčí veletrh optických technologií podporuje svým vícestranným rámcovým programem komunikaci mezi průmyslem a vědou. A tak veletrh Laser nabízí pro vystavovatele i návštěvníky z oblasti průmyslu a vědy něco navíc. Fóra, speciální přehlídky, workshopy, diskuse doplňují aktuální informace z daného odvětví, představí se trendy a vývoj v oblasti laseru a photoniky.

Díky úzkému propojení s kongresem World of Photonics nabízí veletrh Laser platformu pro dialog mezi bádáním a průmyslem. Díky intenzivní komunikaci mezi vědci a průmyslovými experty, která se na veletrhu a kongresu odehrává, se vytváří prospěšná a efektivní spolupráce.

World of Photonics Congress propojuje vědu s průmyslem

World of Photonics Congress, který probíhá současně s veletrhem, je vůdčím mezinárodním kongresem optických technologií v Evropě. V době od 14.- 19. června se očekává 3 100 účastníků z celého světa.

Kongres je složen ze 7 konferencí světových spolků a organizací. Novým tématem je produkce optických komponent, dalšími tématy jsou laserové zpracování materiálu, měřicí technika a laserová medicína. Na programu jsou dále přednášky ohledně praxe, neboť propojení teorie a praxe je velmi důležité. Od roku 2004 je kongres podporován ministerstvem vědy a vzdělávání.

Důležité informace pro návštěvníky

Zastoupení pořadatele pro ČR a SR- www.expos.cz - nabízí českým a slovenským návštěvníkům zlevněné vstupenky, individuální ubytování a organizaci zájezdu pro odborníky. Přes www.laser.de se dají vstupenky rovněž přímo objednat, naleznete zde všechny praktické informace k vaší návštěvě i o doprovodných odborných akcích.

Angela Prag



LASER 2007 - World of PHOTONICS - Foto: AlexSchelbert.de

Dlouhodobá úspěšná historie

Již od roku 1973 je veletrh LASER pro odborníky z celého světa určitým pojmem. Úspěch veletrhu spočívá v zastoupení od malých podnikatelů až po prezentaci velkých světových lídrů trhů. Mimoto je veletržní a kongresová nabídka optimální v souladu s požadavky hospodářství a průmyslu: 94 % vystavovatelů a 96 % návštěvníků ohodnotili Laser World of Photonics 2007 známkami mezi dobrý a výborný.

Kontakt: Messe München GmbH, Angela Prag, Messengelände 81823 München, tel.: +49 (0) 89 949 20670
fax: +49 (0) 89 949 97 20670, e-mail: angela.prag@messe-muenchen.de, internet: www.world-of-photonics.net

Výbojkově buzený Pr:YAlO₃ laser generující záření ve viditelné spektrální oblasti

Byla dosažena úspěšná generace Pr:YAlO₃ (Pr:YAP) laserového záření na vlnových délkách 747 nm a 662 nm ve viditelné spektrální oblasti za pokojové teploty. Výbojkově buzený Pr:YAP laser pracoval v pulzním režimu a v režimu volné generace. Trvalé laserové činnosti bylo docíleno pomocí speciálního skleněného barevného rovinného UV filtru umístěného přímo v laserové dutině. Maximální výstupní energie 102 mJ byla generována na vlnové délce 747 nm; odpovídající délka pulzu se pohybovala kolem 92 μs. Umístěním clonky dovnitř rezonátoru bylo možno dosáhnout kvalitu svazku vyjádřenou parametrem M₂ ~ 1,2. V případě 662nm laserové emise byly tyto hodnoty 6,1 mJ, 47,5 μs a M₂ ~ 1,5 (bez clonky v rezonátoru). Tvar a šířka spektrální čáry vykazovaly v obou případech stabilní chování pro různé úrovně budící energie.

Klíčová slova: Pr:YAlO₃ laser, výbojkově buzení, barevný UV filtr

1. ÚVOD

V posledních letech byl velký zájem soustředěn na vývoj pevnolátkových laserů, které by generovaly záření přímo (bez nutnosti využití nelineárních konverzních jevů) ve viditelné oblasti elektromagnetického spektra. Perspektiva využití těchto zařízení je spojena hlavně s rychlým rozvojem barevných displejů nové generace, nových technik ukládání dat (blue-ray disky, ...), holografických technik a kalibračních technik pro astrofyzikální experimenty. Další uplatnění může být ve spektroskopii, fluorescenční mikroskopii a biomedicínských aplikacích.

Trojmocný iont praseodymu Pr³⁺ se mezi ionty vzácných zemin ukázal být vhodným kandidátem pro generaci záření ve viditelné oblasti, protože jeho diagram energetických hladin nabízí několik laserových přechodů v modré (kolem 485 nm), zelené (kolem 525 nm), oranžové (kolem 605 nm), červené (kolem 640 nm) a tmavě

červené (kolem 695 nm, 720 nm) spektrální oblasti. Je taktéž možné dosáhnout generace záření v blízké a střední infračervené oblasti. Celkem bylo identifikováno více než 20 základních laserových přechodů pokrývajících oblast od modré po střední infračervenou [1, 2]. Konkrétně, pro případ prostředí Pr:YAP je schéma energetických hladin s vyznačeným čerpáním a laserovými přechody za pokojové teploty uvedeno na obr. 1. Kromě modrého laserového přechodu, Pr³⁺-iontem dopované krystaly vykazují v laseru 4 – hladinové chování.

Ačkoliv bylo nejlepších výsledků z hlediska laserové činnosti dosaženo v případě použití aktivních materiálů, kde je Pr³⁺ iont zabudován do fluoridových matic (a to jak v pulzním tak kontinuálním režimu – dáno užším energetickým spektrem fononů [3-5]), byla demonstrována úspěšná nízkoprahová laserová činnost za pokojové teploty také v oxidových sloučeninách – Ca(NbO₃)₂, CaWO₄, YAlO₃, LuAlO₃ – mezi nimiž orthorombický krystal YAlO₃ vyniká v největším počtu stimulovaných laserových přechodů [2]. Srovnáme-li fyzikální vlastnosti matic fluoridů (YLF, LLF, GLF) s maticí YAP, pak oxidový krystal perovskitu (YAP) vyniká v tvrdosti (8,5-9 oproti 4-5 na Mohsově stupnici) a tepelné vodivosti (~0,11 W.cm⁻¹.K⁻¹ oproti ~0,06 W.cm⁻¹.K⁻¹) [2, 6].

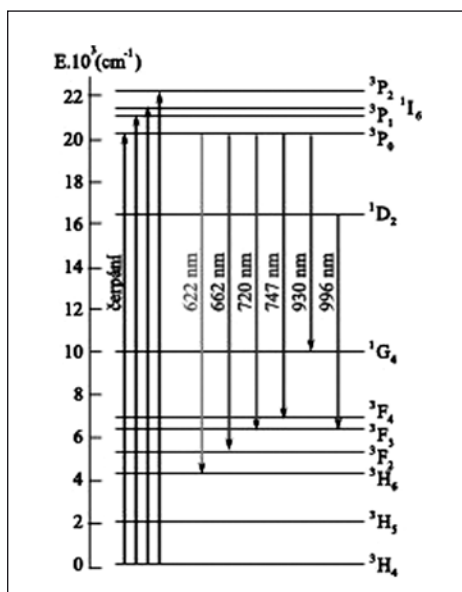
V předloženém článku jsou shrnuty vlastnosti výbojkově buzeného Pr:YAP laseru generujícího záření na vlnových délkách 747 nm a 662 nm za pokojové teploty.

2. USPOŘADÁNÍ EXPERIMENTU A METODY MĚŘENÍ

2.1 Aktivní prostředí, laserový rezonátor a dutina

Aktivním prostředím výbojkově buzeného laseru byl krystal Pr:YAlO₃ (YAP, perovskit), vypěstovaný Czochralského metodou, o rozměrech 4 x 60 mm (čerpací délka v dutině byla 52 mm) a s koncentrací iontů Pr³⁺ – 1 at. %. Podélná osa krystalu odpovídala krystalografické ose „b“ (dle notace Pbnm). Obě čela krystalu byla kolmá ke směru šíření laserového záření, vyleštěná v optické kvalitě a nebyla opatřena žádnou antireflexní vrstvou. Indexy lomu anizotropního dvojsového krystalu ve směrech krystalových os na generovaných vlnových délkách je možné vypočítat na základě Sellmeierovy rovnice [6].

Laserový rezonátor, 250 mm dlouhý, byl tvořen vysoce odrazným sférickým dielektrickým zrcadlem s poloměrem křivosti

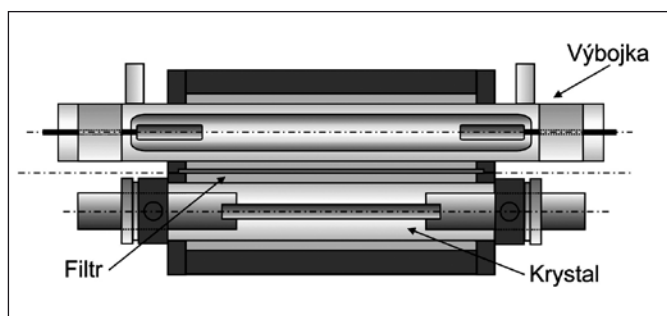


Obr. 1 Schéma energetických hladin a možných laserových přechodů krystalu Pr:YAP

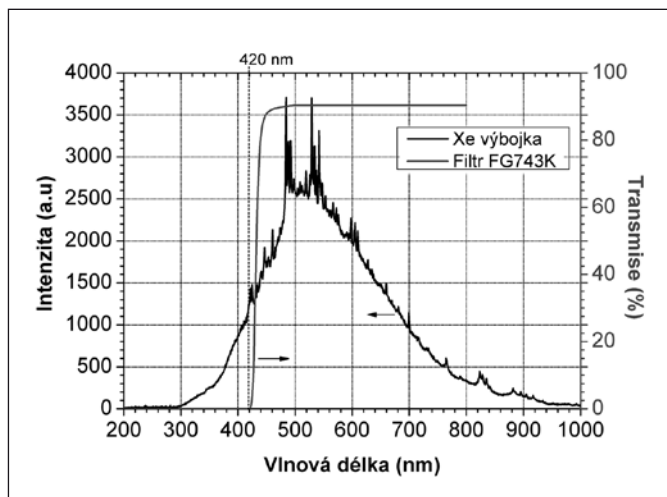
-5 m a rovinným dielektrickým výstupním zrcadlem s optimální hodnotou reflektivity 90 % na vlnové délce 747 nm.

Jak bylo experimentálně pozorováno, pro trvalou laserovou činnost s aktivním prostředím Pr:YAP je nezbytné zabránit výskytu UV záření indukovaných barevných center v krystalu, která se projevují zhašením laserové akce a nevratnými změnami v absorpčním spektru materiálu, jak je znázorněno na obr. 5. Jednou z možností jak se vyhnout expozici krystalu před nežádoucím UV zářením přítomným v emisním spektru čerpací výbojky, je využití vhodného organického barviva sloužícího jako UV absorbér. Tento požadavek velice dobře splňuje organické barvivo Coumarin-102 rozpuštěné v ethanolu. Toto barvivo plní zároveň funkci fluorescenčního konvertoru, který transformuje UV záření Xe-výbojky do emisního spektra korespondujícího s absorpčními pásy Pr^{3+} iontů v krystalu a zvyšuje tak excitační hustotu záření dopadajícího na krystal (publikováno např. v [7]). Nevýhodou tohoto řešení je jednak složitější chladicí soustava a dále známé záporné vlastnosti organických barviv, z nichž mezi nejvýznamnější patří fotochemická stabilita a zdravotní škodlivost. Z tohoto důvodu byla v našem případě pozornost primárně soustředěna na možnost pevnolátkové filtrace.

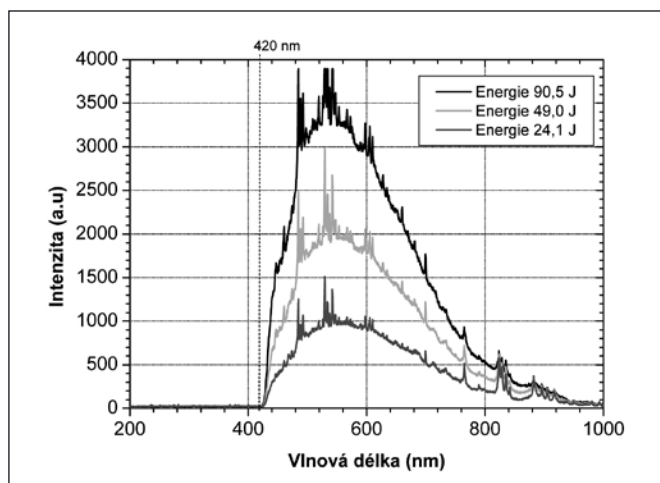
Byl navržen a použit speciální UV barevný skleněný filtr tloušťky 1 mm, který byl vložen přímo do, k tomuto účelu upravené, laserové dutiny, mezi laserový krystal a výbojku. Stabilitní pozice filtru v dutině byla zajištěna dvojicí drážek vyfrézovaných na vnitřních stranách a přibližně v ose laserové dutiny, jak je zachyceno na obr. 2. Výška filtru byla přesně stanovena tak, aby maximálně přiléhala ke spodní a horní části dutiny. Filtr kompletně ořezával záření do vlnové délky 420 nm, co nejlépe k absorpčnímu spektru krystalu Pr:YAP. Srovnání transmisního spektra filtru s emisním spektrem výbojky je na obr. 3. Záření výbojky po průchodu daným filtrem (tedy záření dopadající na krystal) pak vykazuje spektrální charakteristiky zobrazené na obr. 4.



Obr. 2. Schematický náčrt umístění UV filtru v laserové dutině



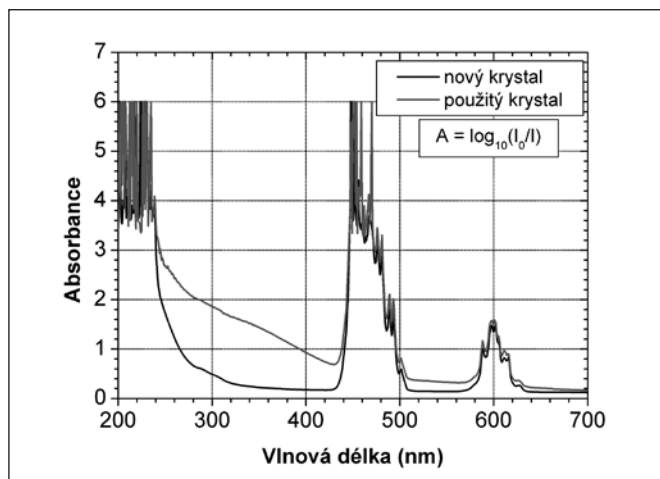
Obr. 3. Transmisní spektrum navrženého pevnolátkového UV filtru srovnáno s emisním spektrem výbojky



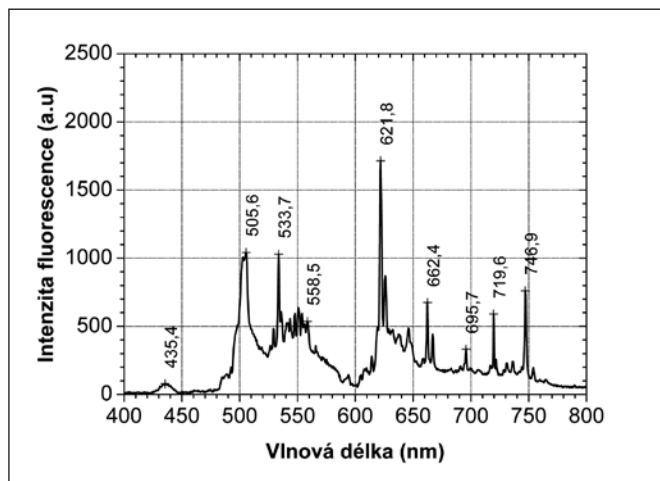
Obr. 4. Emisní spektra výbojky při různých úrovních budičích energie po průchodu navrženým UV filtrem

2.2 Spektroskopické charakteristiky

Absorpční spektra krystalu byla měřena spektrofotometrem Shimadzu UV-3600 s rozlišením 0,1 nm. Výsledky jsou uvedeny na obr. 5; změny v absorpčním spektru krystalu před a po krátké laserové činnosti bez použití UV filtru, mající za následek spontánní a trvalé ukončení laserových oscilací, jsou jasně patrné.



Obr. 5. Změny v absorpčním spektru krystalu Pr:YAP před a po krátké laserové akci bez UV filtru v laserové dutině



Obr. 6. Emisní spektrum krystalu Pr:YAP ve viditelné spektrální oblasti za pokojové teploty

Měření fluorescenčních spekter krystalu Pr:YAP při pokojové teplotě bylo provedeno UV-NIR vláknovým spektrometrem (Ocean Optics HR2000), který je schopen detekovat záření v rozsahu vlnových délek 200–1100 nm. S cílem odstínit nežádoucí okolní záření xenonové výbojky použité k excitaci aktivního media byla koncovka spektrometru vložena dovnitř dlouhé papírové trubice nasazené na výstup z laserové dutiny. Změřené emisní spektrum ve viditelné spektrální oblasti je zobrazeno na obr. 6.

2.3 Měřicí přístroje a metody

Laserová energie byla detekována širokospektrální pyroelektrickou sondou – model No. J25 (rozsah energií 1 mJ – 5 J, citlivost 1,79 V/J) ve spojení s energetickým monitorem Moletron JD2000. Pomocí Si PIN fotodiody byly měřeny časové charakteristiky laserového záření. Detekovaný elektrický signál byl zobrazen na dvoukanálovém 500 MHz digitálním osciloskopu Tektronix TDS 3052B. Prostorová struktura laserového svazku byla snímána CCD kamerou Mk-0320C (spektrální rozsah 0,3–1,3 μm , rozlišení 542(H) x 582(V) pixelů) a následně vyhodnocena v programovém prostředí Matlab. Proložení získaných dat chybovou funkcí (erfc) byl na základě teorie ostré hrany (knife-edge theory) [8] určen poloměr svazku v závislosti na vzdálenosti od výstupního zrcadla. Faktor kvality svazku M^2 byl stanoven ze změřeného vývoje poloměru svazku podél směru šíření.

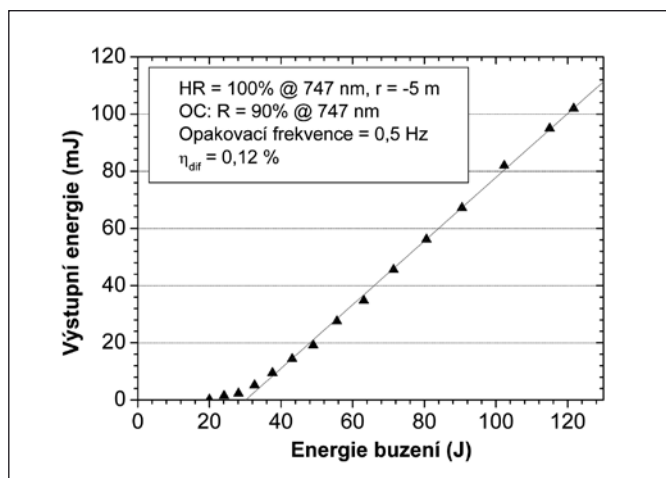
3. VÝSLEDKY

3.1 Generace 747nm laserového záření

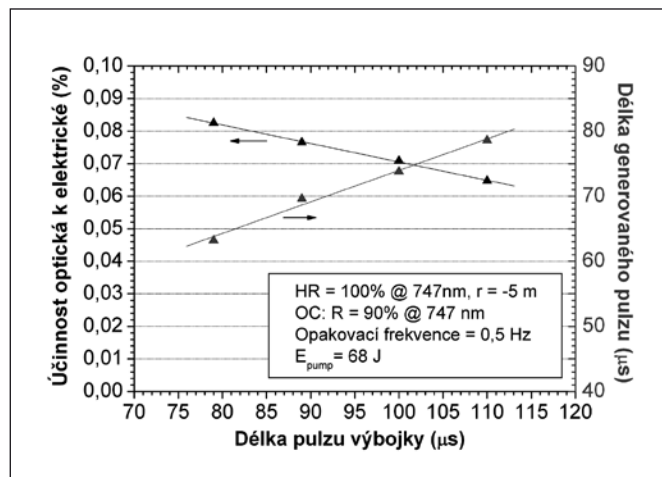
Za účelem extrahování maximální výstupní energie z Pr:YAP laserového systému byla nejprve provedena optimalizace reflektivity výstupního zrcadla rezonátoru. Byly měřeny a porovnány výstupní energetické charakteristiky dosažené se čtyřmi zrcadly lišícími se hodnotou reflektance – 78 %, 81 %, 90 % a 96 % na vlnové délce 747 nm. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s 90% výstupním zrcadlem, s nímž pak byla prováděna všechna následující měření. Laser pracoval v pulzním režimu s opakovací frekvencí 0,5 Hz a v režimu volných oscilací při pokojové teplotě.

Maximální dosažená výstupní energie byla 102 mJ při energii čerpání 121 J. Tomu odpovídala délka pulzu $\sim 92 \mu\text{s}$ (délka budičho pulzu výbojky byla $\sim 110 \mu\text{s}$). Práh laserových oscilací byl pozorován při čerpací energii 20 J. Diferenciální účinnost byla stanovena na 0,12 %. Výstupní energie laseru jako funkce energie buzení je zobrazena na obr. 7.

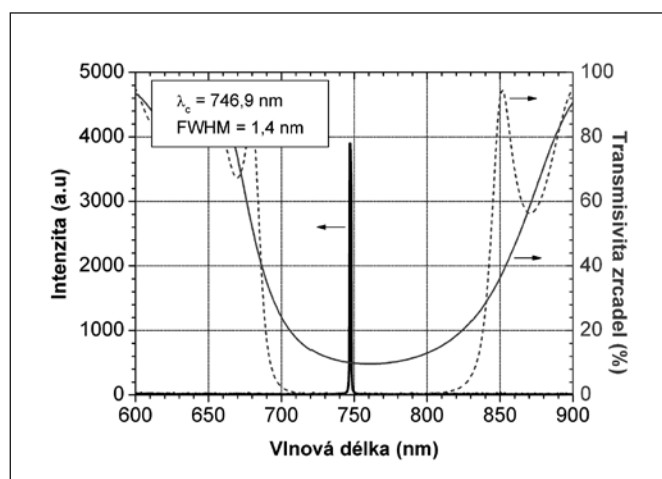
Vzhledem ke krátké době života kvantové soustavy na horní laserové hladině ($\sim 12 \mu\text{s}$) byl zkoumán dopad délky budičho pulzu výbojky na laserovou činnost. Byly proměřeny výstupní charakteristiky (výstupní energie a délka laserového pulzu versus energie čerpání) pro různé hodnoty kapacity napěťového zdroje



Obr. 7 Výstupní energetická charakteristika Pr:YAP laseru na vlnové délce 747 nm



Obr. 8 Závislost účinnosti optické-k-elektrické a délky generovaného pulzu na délce budičho pulzu výbojky při energii buzení 68 J

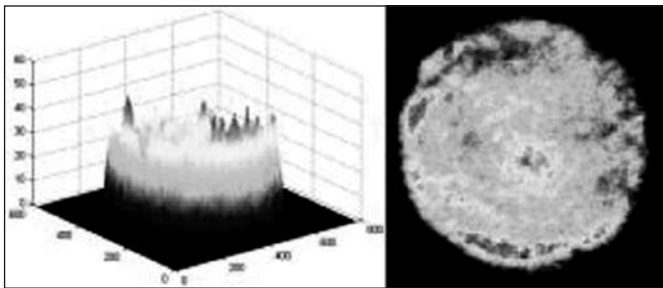


Obr. 9 Tvar spektrální čáry emitovaného laserového záření; srovnání s transmisivitami použitých zrcadel

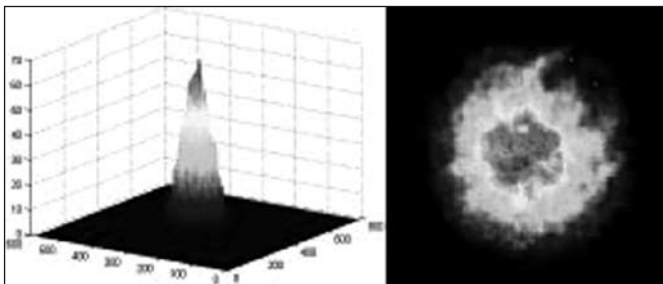
(od 144 μF do 82 μF) a tedy různé délky budičho pulzu výbojky. V závislosti na hodnotě kapacity se budič energie pohybovala v rozmezí 122 – 68 J ($E = 1/2CU^2$). Podle předpokladu se délka pulzu generovaného záření se zkracujícím se pulzem výbojky snižovala, jak je vidět na obr. 8. Minimální dosažená délka generovaného pulzu byla 63 μs . Dále byla vyhodnocením naměřených dat (energetických výstupních charakteristik) sestavena závislost optické-k-elektrické účinnosti (obr. 8). Se zkracujícím se délkou pulzu se tato účinnost zvyšovala. Na druhou stranu, odpovídající maximální výstupní energie klesala, dosahující $\sim 55 \text{ mJ}$ při nejvyšší účinnosti, v důsledku zkracování délky pulzu změnou kapacity napěťového zdroje a tím snižováním dostupné energie buzení. Pro další experimenty byla preferována maximální výstupní energie před účinností, a proto byl systém nadále provozován s $\sim 110 \mu\text{s}$ délkou budičho pulzu.

Spektrální tvar čáry emitovaného laserového záření ve srovnání s transmisivitami použitých zrcadel (zadního a výstupního) při maximálním čerpání je znázorněn na obr. 9. Generovaná vlnová délka byla 746,9 nm (energetický přechod $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{F}_4$) s šířkou čáry 1,4 nm (měřeno na FWHM). Pro různé hodnoty čerpání zůstávaly tvar a šířka čáry stabilní.

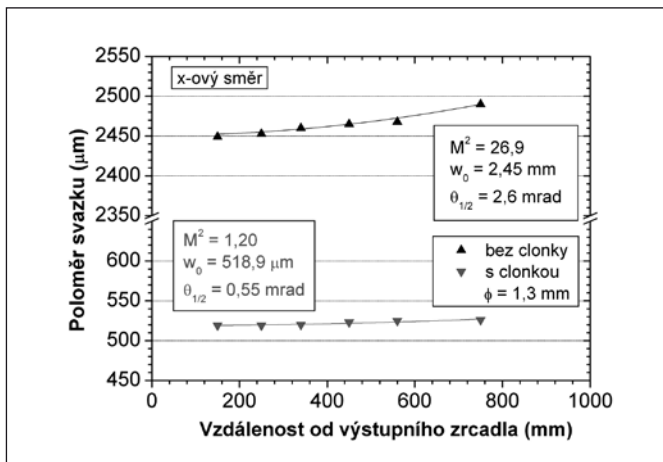
Ve standardním uspořádání pracoval laser v mnohamódovém režimu. Kvalita svazku vyjádřená parametrem M^2 byla stanovena na $\sim 26,9$ a $27,6$ v x -ovém resp. y -ovém směru (dva kolmé příčné směry ke směru šíření), poloměr svazku v krčku (w_{0M}) byl $\sim 2,45 \text{ mm}$ v x -ové a $\sim 2,50 \text{ mm}$ v y -ové ose a divergenční (poloviční) úhel ($\theta_{1/2}$) byl stanoven na 2,6 mrad v obou zmiňovaných směrech.



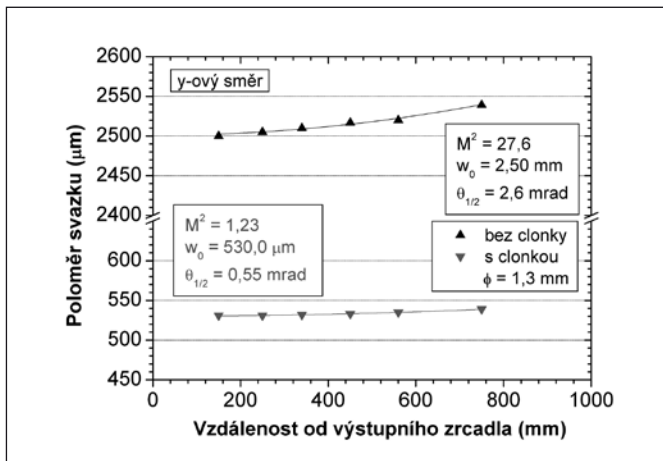
Obr. 10 Prostorová struktura svazku ve standardním laserovém uspořádání při maximálním čerpáním; vzdálenost od výstupního zrcadla 550 mm



Obr. 11 Prostorová struktura svazku s clonkou v rezonátoru při maximálním čerpáním; vzdálenost od výstupního zrcadla 550 mm



Obr. 12 Srovnání vývoje laserového svazku (x-ový směr) podél směru šíření s clonkou a bez clonky v rezonátoru; průměr clonky byl 1,3 mm

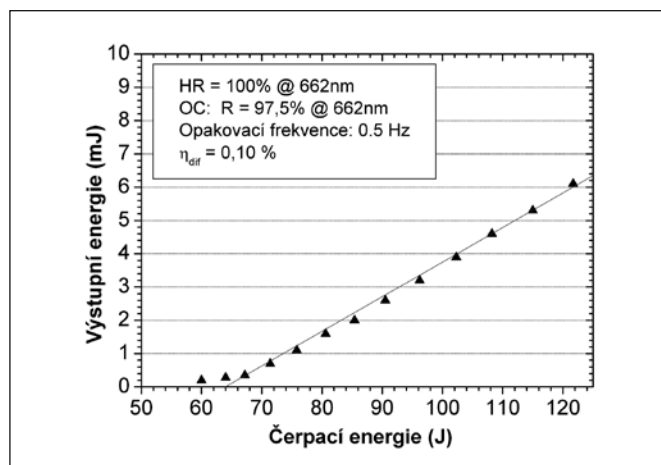


Obr. 13 Srovnání vývoje laserového svazku (y-ový směr) podél směru šíření s clonkou a bez clonky v rezonátoru; průměr clonky byl 1,3 mm

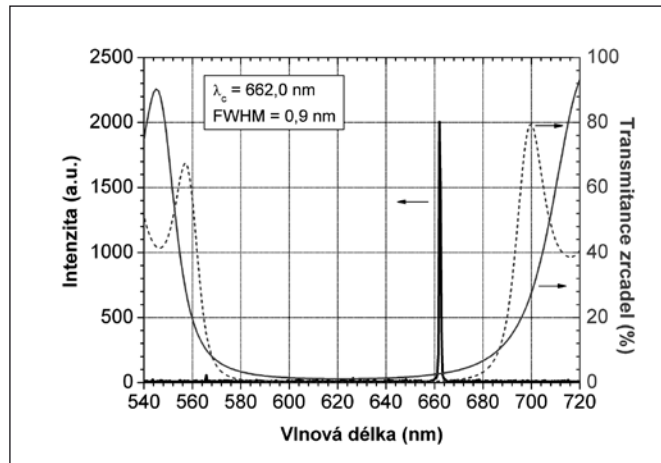
Prostorová struktura laserového svazku je zobrazena na obr. 10. S cílem dosažení generace základního módu (obr. 11) musela být do rezonátoru vložena clonka o průměru 1,3 mm, jejíž poloha se nacházela v blízkosti výstupního zrcadla. V tomto případě byly parametry M^2 , w_{0M^2} a $\theta_{1/2}$ v x-/y-ovém směru: 1,20/1,23, 519/530 μm a 0,55/0,55 mrad, v daném pořadí; viz obr. 12 a 13. Tyto hodnoty vykazují dobrou shodu s teoreticky vypočtenými hodnotami pro základní mód rezonátoru.

3.2 Generace 662nm laserového záření

S výstupním dielektrickým zrcadlem s reflektivitou 97,5% na vlnové délce 662 nm byla dosažena generace poměrně neobvyklé vlnové délky 662 nm za pokojové teploty. V tomto případě byl rezonátor planparalelní a vzdálenost mezi zrcadly činila 300 mm. Výstupní energetická charakteristika Pr:YAP laseru je uvedena na obr. 14. Maximální energie a délka generovaného pulzu dosahovaly hodnot 6,1 mJ a 47,5 μs při čerpání 121,7 J a délce pulzu výbojky 106 μs . Práh stimulované emise byl pozorován při energii 60 J. Diferenciální účinnost byla stanovena na 0,10%.



Obr. 14 Výstupní energetická charakteristika Pr:YAP laseru na vlnové délce 662 nm

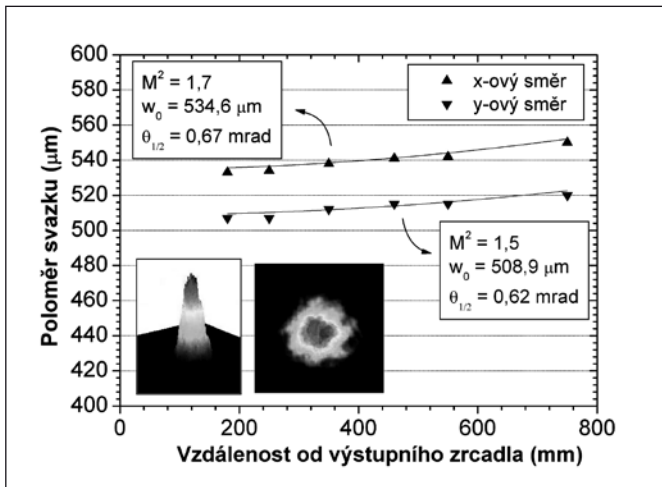


Obr. 15 Tvar spektrální čáry emitovaného laserového záření; srovnán s transmisivitami použitých zrcadel

Profil emisní čáry generovaného záření při maximálním buzení je zachycen na obr. 15. Generovaná vlnová délka byla 662,0 nm s šířkou čáry 0,9 nm (FWHM). Stejně jako v předchozím případě, tvar a šířka čáry vykazovaly stabilní chování v celém rozsahu čerpání.

Při maximální čerpací energii se profil svazku generovaného záření blížil základnímu TEM_{00} módu. Oproti předchozímu případu (generaci vlnové délky 747 nm) tak vložení clonky do rezonátoru k úpravě kvality svazku nebylo potřeba. Příčinou je daleko vyšší

práh generace (60 J oproti 20 J) a vzhledem k maximální energii čerpání 121 J může být aktivní prostředí načerpáno maximálně dvakrát nad prahovou hodnotu. Při tom zisk aktivního prostředí zřejmě ještě nedostačuje k tomu, aby se výrazněji projevil módy vyšších řádů. Změřený poloměr laserového svazku v obou osách v závislosti na vzdálenosti od výstupního zrcadla spolu s profilem svazku je zobrazen na obr. 16. Vypočítané hodnoty parametru M^2 , poloměru svazku v ohnisku w_{0M} a divergence svazku $\theta_{1/2}$ v osách x/y byly přibližně 1,7/1,5; 534,6/508,9 μm a 0,7/0,6 mrad.



Obr. 16 Srovnání vývoje laserového svazku v x-/y-ové ose podél směru šíření společně s prostorovou strukturou svazku (ve vzdálenosti 550 mm od výstupního zrcadla)

4. DISKUZE A ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že byl navržen a uveden do provozu Pr:YAP výbojkově čerpaný laser. V experimentu byla demonstrována emise záření tohoto laseru na dvou vlnových délkách (747 nm a 662 nm) v červené spektrální oblasti za pokojové teploty.

Jak bylo experimentálně pozorováno, pro permanentní laserovou činnost založenou na aktivním prostředí Pr:YAP bylo nezbytné zabránit vzniku UV záření indukovaných barevných center v krystalu. V našem případě byla filtrace UV záření přítomného v emisním spektru čerpací výbojky provedena vložením speciálního skleněného barevného filtru do upravené jednoeliptické postříbřené laserové dutiny mezi krystal a výbojku. S tímto opatřením byl realizován laserový oscilátor s krystalem Pr:YAP o rozměrech ϕ 4 x 60 mm (čerpaná délka byla 51,9 mm). Maximální dosažená výstupní energie byla 102 mJ na vlnové délce 747 nm s prahem laserové generace 20 J a délkou emitovaného pulzu 92 μs . Diferenciální účinnost byla stanovena na 0,12 %. Se zkracující se délkou pulzu se tato účinnost mírně zvyšovala. Kvalita laserového svazku vyjádřená parametrem M^2 byla při maximálním čerpání ~ 27 . Generace základního TEM_{00} módu bylo dosaženo vložením clonky o průměru 1,3 mm dovnitř rezonátoru. V případě vlnové délky 662 nm byly generovány laserové pulzy s maximální energií 6,1 mJ, délkou pulzu ~ 47 μs a prahem laserových oscilací 60 J. Oproti předchozímu případu je vysoký práh generace dán nižším emisním

účinným průřezem na vlnové délce 662 nm. Prahová energie je nepřímě úměrná součinu účinného průřezu emise a doby života na horní laserové hladině. Parametr M^2 svazku generovaného 662 nm laserového záření při maximální čerpací energii byl $\sim 1,7$.

Nízká účinnost generace laserového záření plyne hlavně z podstaty výbojkového čerpání aktivního média, která je navíc umocněna úzkými absorpčními pásy Pr:YAP krystalu ($^3\text{H}_4$ $^3\text{P}_{0,1,2}$, $^1\text{I}_6$ přechody), které využívají jen malou část čerpací energie rozložené v širokém emisním spektru xenonové výbojky. Vzhledem k tomu, že čela krystalu nebyla opatřena antireflexní vrstvou, je možné, na základě znalosti indexu lomu krystalu Pr:YAP a Fresnelových vztahů, určit ztráty rezonátoru způsobené odrazy laserového záření na čelech laserové tyče. V našem případě činí ztráty rezonátoru na jednom čele krystalu 10,3 %. Opatření čel krystalu AR vrstvou je tak jednou z možností, jak zvýšit účinnost generace Pr:YAP laserového záření při současném zachování metody pevnolátkové filtrace UV záření. Další možnost zahrnuje zkrácení délky budícího pulzu výbojky (demonstrováno na obr. 9, která je nepoměrně velká ~ 100 μs) ve srovnání s dobou života kvantové soustavy na horní laserové hladině ~ 12 μs .

Pokračováním dané práce bude dosažení generace dalších možných vlnových délek za pokojové teploty na tomto Pr:YAP laserovém systému.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen grantem českého ministerstva školství MSM 6840770022 "Laser systems, radiation, and modern optical applications".

Literatura

- [1] Sutherland, J. M., French, P. M. W., Taylor, J. R. and Chai, B. H. T., "Visible continuous-wave laser transitions in Pr:YLF and femtosecond pulse generation," *Optics letters*, 21(11), 797–799 (1996).
- [2] Kaminskii, A. A., "Crystalline Lasers: Physical Processes and Operating Schemes," CRC Press, 1991.
- [3] Cornacchia, F., Richter, A., Heumann, E., Huber, G., Parisi, D. and Tonelli, M., "Visible laser emission of solid state pumped $\text{LiLuF}_4\text{Pr}^{3+}$," *Optics express*, 15(3), 992–1002 (2007).
- [4] Richter, A., Heumann, E. and Huber, G., "Power scaling of semiconductor laser pumped Praseodymium-lasers," *Optics express*, 15(8), 5172–5178 (2007).
- [5] Huber, G., Richter, A. and Heumann, E., "Continuous wave Praseodymium solid-state lasers," In H. J. Hoffman, R. K. Shori, and N. Hodgson, editors, *Solid State Lasers XVI: Technology and Devices*, Proc. SPIE 6451, 645102–1–645102–3 (2007).
- [6] Kaminskii, A. A., "Laser Crystals: Their Physics and Properties," Springer Verlag Berlin Heidelberg (1981).
- [7] Kaminskii, A. A., Zhavoronkov, N. I. and Mikhailov, V. P., "A high-power praseodymium laser based on a rhombic crystal of $\text{YAlO}_3\text{-Pr}^{3+}$," *Phys. Dokl.* 38, 156–157 (1993).
- [8] Chen, C.-L., "Elements of optoelectronic and ber optics," Irwin Professional Publishing, Chicago (1996).

Třetí symposium SPIE Europe „Optics and Optoelectronics“

Ve dnech 20. – 23. dubna 2009 se v Kongresovém centru Praha uskutečnilo třetí symposium SPIE Europe s názvem „Optics and Optoelectronics“. Účast, i přes některé absence v důsledku krize, byla vyšší než před 2 lety, což svědčí jednak o skvělé práci organizátorů, významu akce a také o aktuálnosti 10 zvolených konferencí a dvou workshopů.

Na organizaci a na jeho programovém obsahu i chodu se značnou mírou podíleli i členové České sekce SPIE, České a slovenské společnosti pro fotoniku, Fyzikálního ústavu České akademie věd a dalších organizací.



Obr. 1 Zleva: Eugene Arthurs – SPIE Europe, Gerry Rausnitz – Meopta-Optika, s.r.o., Maria Yzuel – předseda SPIE, Pavel Tománek – předseda symposia

V krátkém úvodním slově prof. Pavel Tománek (zastupujícího zde nejen Českou sekci SPIE, ale i velmi aktivní Českou a slovenskou společnost pro fotoniku a Národní komitét ICO) přivítal i jménem dalších generálních předsedů symposia prof. Alana Michetta z Londýnské King's College, prof. Bahaa Saleha z Univerzity Orlando (USA), autor slavné publikace Základy fotoniky, která vyšla v českém překladu, a čestného předsedu prof. Jana Peřinu z olomoucké Univerzity Palackého účastníky konference a zdůraznil posloupnost tohoto středoevropského symposia SPIE, které se pro velký úspěch minulého, konaného v r. 2007, již podruhé konalo v Praze. Význam celé akce podtrhla i účast čelných představitelů SPIE, jejíž letošní předsedkyně prof. Maria Yzuel z Barcelonské autonomní univerzity symposium svým projevem zahájila.

Dopolední jednání bylo věnováno plenárním přednáškám k aktuálním tématům.

V první přednášce Dr. John Magan, šéf sekce Fotonika Evropské komise, seznámil plénum s „Evropským pohledem“ na rozvoj optiky, optoelektroniky a fotoniky v rámci EU, s různými možnostmi, které nabízí 7. RP Evropské komise pro financování projektů v rámci 4. a 5. výzvy.

Poté prof. Ole Keller z Institutu fyziky a nanotechnologií Aalberské univerzity, Dánsko, ve svém příspěvku „Fotonová fyzika – cesta od vlnové mechaniky ke kvantové elektronice“ nastínil historický a mírně filozofický pohled v souvislosti s rozvojem studia zabývajícího se prostorovou lokalizací fotonů, emisí vlnových

klubek jednotlivých elektronů z atomů, koncepty optiky blízkého pole, tunelováním fotonů a dalších aktuálních problémů.

Prof. Rodolfo Bonifacio z Milánské univerzity přednesl příspěvek své spolupráce s kolegy z Univerzity Strathclyde, UK „Kvantové lasery s volnými elektrony“. Popsal základní fyzikální přístupy k novému makroskopickému koherenčnímu ději vedoucímu k realizaci těchto mikroskopů. Ukázal stav rozpracování a dosažitelnou účinnost laserů a nastínil výhledy rozvoje a aplikací.

Vzhledem k významu propojení výzkumu s praxí, což je také jeden z významných aspektů, o kterém hovořil v svém evropském pohledu John Magan, byla poslední plenární přednáškou prezentace „Meopta-optika, s.r.o.: Výrobce High-Tech produktů“, kterou přednesl Gerry Rausnitz, generální ředitel firmy. Představil Meoptu jako firmu s vysokým podílem nejmodernějších technologií i vlastním výzkumem v různých oblastech optiky, mechaniky a optoelektroniky. Tato činnost zasahuje do mnoha oborů od sportovní a vojenské optiky po lékařství, mikrobiologii či polovodiče. Ve své plenární přednášce vyzdvihl pan Gerry Rausnitz také spolupráci s výzkumnými týmy univerzit (např. UP Olomouc a VUT Brno) i Akademií věd (společná laboratoř UP a FZÚ AV ČR, či ÚPT AV ČR, Brno, v.v.i.).

Symposium se stalo vhodnou kombinací vysoce navštívených konferencí (s počtem příspěvků 50-100) i setkáním vysoce specializovaných odborníků (kde počty příspěvků byly menší jak 20).

- Metamaterials IV
- Nonlinear Optics and Applications
- Photon Counting Applications
- Quantum Optics and Quantum Information Transfer and Processing
- Optical Sensors
- Photonic Crystal Fibres
- Holography: Advances in Classical Holography and Modern Trends
- Harnessing Relativistic Plasma Waves as Novel Radiation Sources from Terahertz to X-rays and Beyond
- EUV and X-ray Optics: Synergy between Laboratory and Space
- Damage to VUV, EUV, and X-ray Optics

Workshopy:

- Emerging European Laser Facilities: Beyond Petawatt
- CESLAB: Challenges in Optics and Optoelectronics



Obr. 2 John Magan – Evropská komise, Maria Yzuel – předseda SPIE



Obr. 4 O přestávce: Pavel Tománek, Bahaa Saleh – spoluautor slavné knihy *Základy fotoniky*, Mario Bertolotti – pravidelný účastník akcí v Praze

Vlastní jednání v 10 samostatných tematických konferencích a dvou workshopech začalo postupně od pondělního odpoledne. Ve všech konferencích se podařilo získat skvělé řečníky, takže odborná úroveň byla dle hodnocení předsedajících jednotlivých konferencí velmi vysoká. Některé ze zvaných přednášek mohly být přijaty jako plenární. Potěšitelný byl i významný podíl studentů na prezentacích. Bohužel díky několika paralelním konferencím bylo obtížné přebíhat od jednoho zajímavého vystoupení k druhému v jiné konferenci. Ale to je vždy problém paralelních jednání.

Ale nejen vědou živ je vědec. Proto byla součástí symposia pondělní recepce na uvítanou, která proběhla v krásné kulise v prostorách premonstrátského pivovaru Strahovského kláštera. K výraznému úspěchu večera přispělo nejen místní pivo, ale i skvělé

počasí. Mnohá neformální jednání účastníků byla zahájena právě tam, protože jinak bylo jednání jednotlivých konferencí velmi pracovní.

Podobný lehce uvolněný charakter měla i posterová sekce v úterý večer, na níž byly prezentovány výsledky všech 10 konferencí. Účastníci si tak mohli zjistit, co zajímavého se dělá v příbuzných i vzdálených oblastech optiky a optoelektroniky. Tento večer přispěl k ještě větší synergii mezi účastníky.

Poprvé v Praze konala Studentská sekce SPIE v úterý oběd studentů s experty, kterého se zúčastnilo přibližně 30 studentů z různých zemí a desítky expertů. Studenti prezentovali svou dosavadní kariéru i obor práce a nastílnili své vyhlídky pro budoucí práci. Tato akce byla určitě plodná pro obě strany.

Na závěr několik čísel, která dokreslují úspěšnost akce. Za 4 dny symposia, které sestávalo z 10 konferencí, odezněly 4 plenární přednášky na výše uvedená témata. V konferencích potom 85 zvaných přednášek, 237 sdělení a bylo prezentováno 88 posterů. Z původně přihlášených 459 vědců (z toho českých a slovenských 51) se nakonec dostavilo 407. Tento počet zvýšili účastníci dvou velmi dobře navštívených workshopů, z nichž druhý se zabýval otázkou přípravy projektu AV ČR CESLAB.

Na odborné výstavě se podílelo 15 vystavovatelů včetně Me-opta-optika, s.r.o. Na výborné organizaci kongresu se již tradičně podílely pracovnice SPIE Europe Karin Burger a Alexandra (Alex) Pulchart.

V zákulisí se jednalo o místě budoucího symposia v dubnu 2011, pravděpodobně se akce vrátí do Polska.

Dle závěrečného hodnocení účastníků byli téměř všichni nadšeni jak odbornou úrovní celého symposia i jednotlivých konferencí, tak i přátelským přijetím a organizací. Tradičně k tomu přispělo, až na malou výjimku, i skvělé počasí. Proto patří díky předsedů symposia všem, kteří se na této práci aktivně podíleli jako autoři, organizátoři a vystavovatelé.

Pavel Tománek

Prof. RNDr. Pavel Tománek, CSc., Ústav fyziky, FEKT, Vysoké učení technické v Brně, Technická 8, 616 00 Brno, e-mail: 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 nevěleňujte 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.

Holografická generace 3D obrazu: přehled přístupů

Příspěvek je přehled základních poznatků používaných v klasické holografii pro záznam hologramů. Jeho cílem je sumarizovat znalosti o holografii jako metodě pro generaci 3D obrazu. Budou představeny různé přístupy, které se vyvinuly během půl století historie holografie. Současně by měl tento přehled sloužit jako úvod k sérii dalších specifitějších prezentací pojednávajících o konkrétních aktuálně využívaných technikách návrhu a realizace hologramů.

ÚVOD

Záznam a reprodukce optických signálů hrály již od dávných dob důležitou roli v mnoha oblastech lidské činnosti. Zrakový vjem je nejdůležitějším lidským smyslem, pomocí kterého získáváme zdaleka největší část informací a podnětů z okolí. Z tohoto hlediska je pochopitelná snaha co nejvěrněji zaznamenat vizuální vjem a posléze ho reprodukovat. Z dnešního pohledu nabývá problematika záznamu a reprodukce optických polí ještě další rozměr související s aplikací optických technologií v komunikacích, digitálních pamětech, laserové technice a dalších oblastech, ve kterých sehrávají světelné vlny zásadní roli. Historicky používané techniky záznamu optické informace umožňovaly většinou zachytit pouze některé vlastnosti optických vln (např. intenzitu v rovině u fotografie) a úplný komplexní záznam obrazu včetně veškeré jeho směrovosti nebylo možné realizovat. Teprve myšlenka holografického záznamu otevřela v polovině minulého století cestu k realizaci úplného záznamu obrazu a jeho dokonalé virtuální reprodukce. Úplná rekonstrukce optické vlnoplochy našla posléze uplatnění nejenom v obrazové holografii, ale i ve výše zmíněných vědeckých a průmyslových aplikacích. I když holografie dnes není zdaleka chápána pouze jako prostředek pro zachycení a generaci třídídimenzionálního obrazu pro pozorování lidským okem, omezíme se v tomto přehledu hlavně na obrazové hologramy a difrakční principy generace prostorového obrazu.

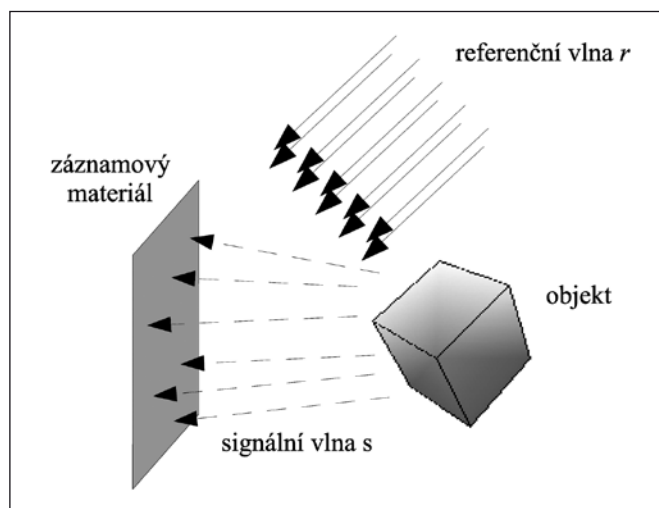
V čem tedy vlastně spočívá podstata prostorového vidění? Proč nestačí pro úplný záznam obrazu klasická fotografie? Podstatou prostorového vjemu při pozorování objektu lidským okem je úhlová závislost obrazové informace, která vede k rozdílnému vjemu při pozorování pravým a levým okem, resp. při pohybu pozorovatele a pozorování objektu z různých úhlů. Při klasickém fotografickém záznamu dochází v důsledku vlastností detektoru (záznamového média, resp. CCD čipu) k různé odezvě záznamového prostředí v závislosti na energii dopadající do daného bodu. Bohužel, žádné ze známých médií neumožňuje prostým způsobem zachytit informaci o směru, ze kterého daný signál (optická vlna) na médium dopadl – odezva je úměrná pouze celkové energii (mluvíme o takzvaných kvadratických, intenzitních detektorech). Pro vyhodnocení směru šíření v bodě dopadu na médium je nutné sledovat fázi optické vlny, která určuje tvar vlnoplochy a tím indikuje směr šíření dané vlny. Klasický fotografický záznam tyto vlastnosti nezohledňuje, a proto každý bod zhotovené fotografie vysílá do celého prostoru identickou informaci – prostorovost objektu se ztrácí.

HOLOGRAFICKÝ ZÁZNAM

Myšlenka holografického záznamu byla poprvé publikována britským fyzikem Denisem Gaborem v roce 1947 [1, 2]. Cílem této práce nicméně nebyl záznam třídídimenzionálního signálu pro pozorování lidským okem, ale analýza obrazu v mikroskopii za účelem zvýšení rozlišení. Původní Gaborovo schéma záznamu bylo proto velice specifické. Celá skutečnost byla dále komplikována faktem, že v době Gaborova výzkumu nebyly k dispozici světelné zdroje

dostatečně koherenční, což vedlo k dalším omezením praktického využití holografie. Skutečný boom holografických technologií tak nastal až po objevení vhodných dostatečně koherenčních zdrojů v roce 1960 (objev laseru).

Hlavní myšlenka holografického záznamu je založena na zachycení interferenčního pole signální vlny nesoucí informaci o objektu a další pomocné, takzvané referenční (většinou hladké) vlny. Jak je známo z klasické interferometrie, i intenzitní záznam interferenčního pole dvou vln nese informaci o jejich směru v prostoru (v nejjednodušším případě interferenčního pole dvou hladkých vln ve formě interferenčních proužků je tato informace promítnuta do hustoty a směru interferenčních proužků, zatímco jejich jas a kontrast odpovídá rozložení energie obou vln).



Obrázek 1 Základní myšlenka holografického záznamu. Vlna nesoucí informaci o objektu interferuje s hladkou referenční vlnou a intenzita takto vytvořeného interferenčního pole je zachycena na záznamovém materiálu

Předpokládáme záznam podle obrázku 1. Na záznamové médium dopadá současně signální vlna s odražená od objektu a referenční vlna r (pro jednoduchost například rovinná). Jelikož záznamové médium reaguje pouze na celkovou dopadající energii, záznam bude zachycovat celkovou intenzitu interferenčního pole vln r a s (které budou spolu v případě použití koherenčních vlnoploch interferovat). Pokud pod označením r a s rozumíme úplnou komplexní reprezentaci skalární vlny (včetně fáze), můžeme pro expoziční pole psát:

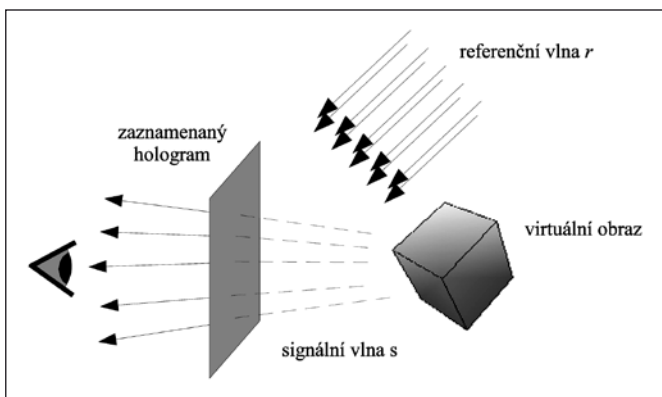
$$I = |r + s|^2 = (r + s)(r^* + s^*) = (|r|^2 + |s|^2) + r^*s + rs^* . \quad (1)$$

Budeme-li pro jednoduchost předpokládat lineární odezvu záznamového materiálu a záznam úměrný výsledné zaznamenané intenzitě, můžeme pro amplitudovou propustnost (tzv. transmittanční funkci) materiálu po vyvolání psát:

$$t \sim (|r|^2 + |s|^2) + r^* s + r s^* . \quad (2)$$

Analýzou výrazu (2) lze ukázat, že pokud byl stupeň vzájemné koherence signální a referenční vlny dostatečný, má transmittanční funkce hologramu po vyvolání charakter interferenčních proužků (obecně kvaziperiodických). Tyto proužky nesou úplnou informaci o signální vlně (včetně její fáze a tudíž i směru šíření), nicméně není na první pohled jasné, jak tuto informaci jednoduše „číst“. Předpokládáme dále rekonstrukci hologramu podle obrázku 2. Vyvolaný hologram je vložen do původního schématu, ze kterého byl odstraněn zaznamenaný objekt. Na hologram tedy dopadá pouze původní referenční vlna a pro pole za hologramem platí:

$$u = t.r \sim r(|r|^2 + |s|^2) + |r|^2 s + r^2 s^* . \quad (3)$$

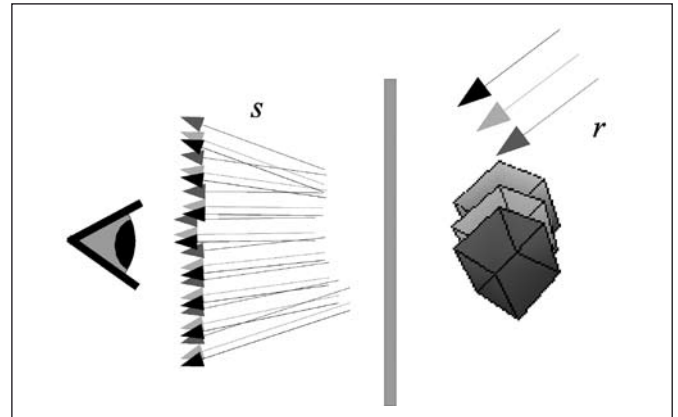


Obrázek 2 Při rekonstrukci je vyvolaný hologram vložen do původního schématu bez přítomnosti objektu. Jedna z vln, které vzniknou při rekonstrukci, je totožná s původním signálem nesoucím informaci o objektu

Rekonstrukcí hologramu tedy vznikne pole sestávající ze tří vln. První odpovídající prvnímu sčítanci ve vztahu (3) představuje referenční/rekonstrukční vlnu pokračující v původním směru, jejíž čelo je amplitudově modulované příslušným výrazem. Nejzajímavější z pohledu rekonstrukce je vlna popsaná druhým sčítancem ve výrazu (3). Pokud uvažíme, že vlna r byla podle předpokladu rovinná a tedy $|r|^2 = \text{konst}$, představuje tento člen původní neporušený signál nesoucí informaci o objektu. Budeme-li v tomto směru pozorovat scénu okem, bude vjem totožný s pozorováním skutečného objektu, včetně všech jeho prostorových specifik. Poslední třetí sčítanec ve vztahu (3) odpovídá komplexně sdružené signální vlně namodulované na kvadrát vlny referenční – v případě rovinné referenční vlny se jedná o vlnu rovněž rovinnou šířící se pod dvojnásobným úhlem vzhledem k ose, než měla původní referenční vlna. Při podrobnějším zápisu by se ukázalo, že prostorová separace všech tří vln byla v tomto případě zajištěna vzájemným úhlem mezi vlnou signální a referenční. Toto takzvané Leith-Upatnieksovo mimoosové záznamové schéma [3] patří k nejpoužívanějším geometriím holografického záznamu. Vzhledem k použití dvou prostorově separovaných svazků, které se účastní interference na záznamovém médiu, vyžaduje popsaný postup dobrou koherenci použitého zdroje. V původním Gaborově experimentu bylo využito paralelních vln (vln referenční a signální byly součástí jediného svazku a obě dopadaly na záznamové médium kolineárně). Předností takového osového záznamu jsou snížené nároky na koherenci zdroje a rozlišovací schopnost záznamového média (interferenční pole je řídkší), což je ale doprovázeno prostorovým překryvem všech tří vln ze vztahu (3).

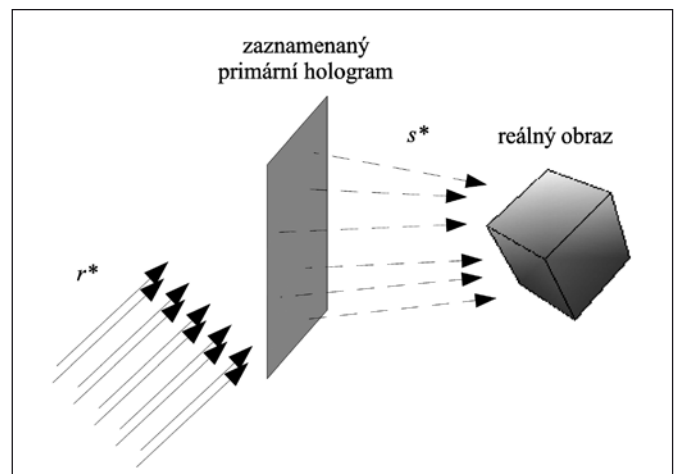
REKONSTRUKCE HOLOGRAMŮ V BÍLÉM SVĚTLE, KOPÍROVÁNÍ HOLOGRAMŮ

Celý proces záznamu, tak jak byl popsán v předcházejícím odstavci, implicitně předpokládal dobrou koherenci světelného zdroje (kvůli schopnosti vln interferovat). Při rekonstrukci hologramu je ale v principu možné použít i běžný (polychromatický) zdroj světla. Bude-li takový zdroj bodový (podobně jak tomu bylo u koherentního zdroje), dojde k rekonstrukci podobně vztahu (3). Pokud ale rekonstrukční svazek obsahuje celé spektrum vlnových délek, bude rekonstruovaný signál rovněž sestávat z celého spektra obrazů v různých barvách. Tyto rekonstrukce budou díky disperzi prostorově posunuté, různě zvětšené a výsledný obraz bude proto rozmazaný v duhových barvách (obrázek 3).



Obrázek 3 Rekonstrukce primárního transmisního hologramu v bílém světle. Jednotlivé spektrální složky vytvoří obrazy v různých barvách, které jsou ale díky disperzi prostorově posunuté. Výsledkem je většinou rekonstrukce silně degradovaná díky barevnému rozmazání

Prakticky tedy úplně obecně nelze hologram zhotovený podle výše uvedeného postupu rekonstruovat jinak než koherentním (laserovým) světlem. Přesto je rekonstrukce hologramu polychromatickým světlem v jistých případech možná, a to v zásadě dvěma způsoby: s využitím přirozené selektivity tzv. reflexního hologramu



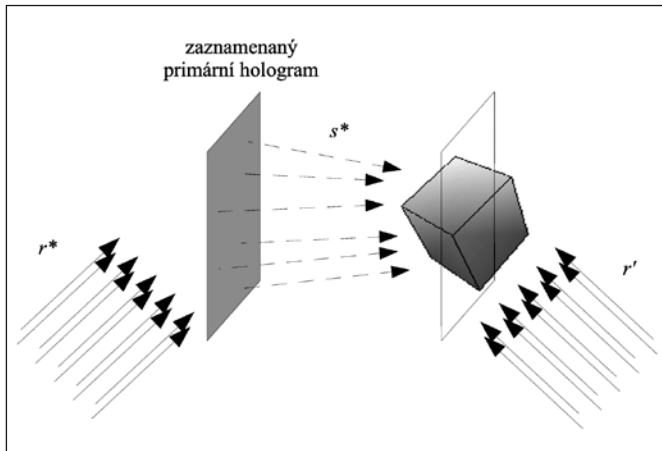
Obrázek 4 Rekonstrukce primárního transmisního hologramu konjugovanou rekonstrukční vlnou. Výsledkem je realizace konjugované signální vlny vytvářející tzv. reálný obraz. Lidské oko je přizpůsobené k pozorování tzv. virtuálního obrazu (tvořeného paprsky rozbíhajícími se z místa fokusace – objektu). Reálný obraz je tvořen paprsky konvergujícími do objektu a nelze jej pozorovat okem (na rozdíl od virtuálního obrazu jej ale lze zachytit na stínítku). Obraz má navíc tzv. opačnou křivost – vypuklé části se jeví jako duté a naopak

anebo za cenu omezení jedné prostorové paralaxy pomocí tzv. duhového hologramu. Oba přístupy budou dále rozebřány.

Předpokládáme rekonstrukci hologramu zaznamenaného výše popsaným způsobem podle obrázku 4. Rekonstrukce hologramu nese všechny znaky prostorového obrazu. Chceme-li použít rekonstruovaný signál pro další záznam, je výhodné použít tzv. reálného zobrazení, které lze zachytit na stínítku, resp. holografické kopii. Jedna z cest jak vytvořit reálný obraz je využití tzv. konjugovaného zobrazení (konjugovaná vlna se šíří opačným směrem než vlna původní a má opačné zakřivení vlnoplochy). V tomto případě není tedy rekonstrukční vlna totožná s vlnou referenční použitou při záznamu, ale je to vlna k ní konjugovaná. V případě, že původní referenční vlna byla rovinná, je k ní konjugovaná vlna sice rovněž rovinná, avšak šířící se opačným směrem. Vztah (3) pro rekonstrukci má v tomto případě tvar:

$$u = t r^* \sim r^* (|r|^2 + |s|^2) + r^{*2} s + |r|^2 s^* . \quad (4)$$

Interpretace tří sčítanců ze vztahu (4) je podobná jako v případě vztahu (3), pouze druhý a třetí člen hrají v tomto případě obrácenou roli: druhý sčítanec je původní signál namodulovaný na rekonstrukční vlnu šířící se pod dvojnásobným úhlem a ve směru osy se šíří vlna konjugovaná k vlně signální. Tuto vlnu lze dále využít pro záznam dalšího hologramu podle obrázku 5.

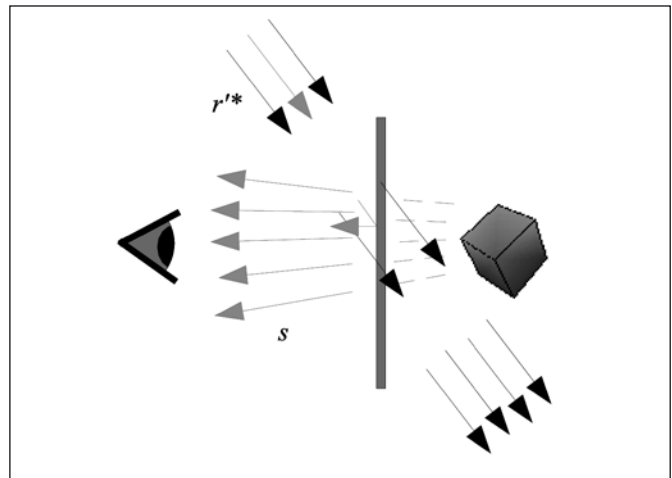


Obrázek 5 Kopírování hologramů. Primární transmisní hologram je rekonstruovaný konjugovanou rekonstrukční vlnou a takto vytvořený reálný obraz objektu je zaznamenaný na další záznamové médium

Do schématu je vloženo další záznamové médium, na které je zaznamenáno interferenční pole konjugované signální vlny vytvořené prvním hologramem a nové referenční vlny r' . Po vyvolání tak získáme (opět za předpokladu linearity záznamu) sekundární hologram s transmittanční funkcí:

$$t' = (|r'|^2 + |s|^2) + r' s + r'^* s'^* . \quad (5)$$

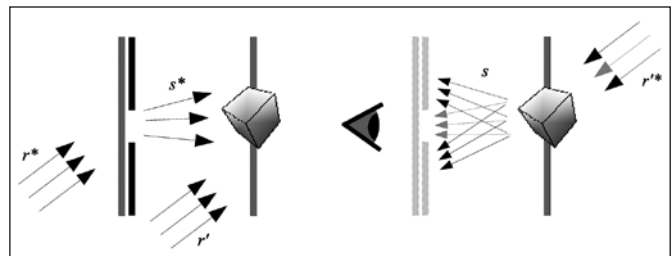
Pokud budeme takto zhotovený hologram rekonstruovat vlnou konjugovanou k referenční vlně r' , budeme pozorovat rekonstrukci původního objektu podle obrázku 6. Taková rekonstrukce se od případu podle obrázku 2 liší zejména v tom, že rekonstruovaná vlna směřuje do stejného poloprostoru, ze kterého dopadá vlna rekonstrukční. Hologram podle obrázku 6 je tzv. reflexního typu (obraz je vnímán vzhledem k dopadové rekonstrukční vlně v odraženém světle), zatímco hologram na obrázku 2 je transmisní. Z praktického hlediska se transmisní a reflexní hologram (resp. difrakční mřížka) liší zejména spektrální závislostí difrakční účinnosti, tzv. selektivitou vůči vlnové délce. Zatímco u hologramu z obrázku 2 docházelo při rekonstrukci polychromatickým světlem k difrakci celého spektra vl-



Obrázek 6 Rekonstrukce reflexní kopie primárního hologramu. Díky geometrii zvolené při kopírování hologramu podle obrázku 5 (referenční vlna při kopírování přichází z opačné strany jako vlna signální) je vytvořen tzv. reflexní hologram (rekonstruovaná signální vlna se šíří ve stejném poloprostoru, ze kterého dopadá na hologram rekonstrukční vlna). Díky přirozené spektrální selektivitě reflexních mřížek (hologramů) dochází při rekonstrukci bílým světlem k vytvoření signálu pouze pro úzkou část spektra. Zbývající spektrální komponenty procházejí hologramem a neovlivňují pozorování rekonstruovaného signálu

nových délek se srovnatelnou energetickou účinností, při rekonstrukci reflexního hologramu podle obrázku 6 polychromatickým světlem bude difrakce efektivně probíhat pouze pro velice úzké spektrum barev. Ostatní vlnové délky procházejí hologramem a nepodílí se na vytváření rekonstruovaného obrazu. Nedochází tak k rušivým vlivům, které byly popsány u transmisních hologramů a rekonstrukce může být provedena bílým světlem. Poznamenejme pouze, že záznam transmisního a reflexního hologramu se prakticky liší směrem dopadu referenční vlny – při záznamu transmisního hologramu dopadají signální i referenční vlna na záznamové médium ze stejné strany, při záznamu reflexního hologramu ze stran opačných. Schéma, které bylo popsáno na obrázku 5, ilustruje proces kopírování hologramu z takzvaného masteru (primárního hologramu), kde můžeme volbou směru dopadu referenční vlny vytvářet buďto hologram transmisní anebo hologram reflexní. Záznam reflexního hologramu lze sice provést i přímo v jediném kroku podobně jako záznam transmisního hologramu (obrázek 1), avšak tento postup se díky některým praktickým problémům využívá pouze ve speciálních případech [4].

Jinou cestou k rekonstrukci hologramu bílým světlem je vytvoření takzvaného duhového hologramu. V tomto případě se primární transmisní hologram zhotovený například ve schématu podle obrázku 1 dále kopíruje s použitím šterbinové masky blokující



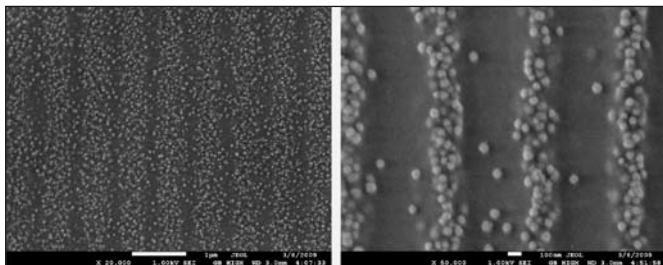
Obrázek 7 Záznam duhového hologramu kopírováním z primárního transmisního masteru přes lineární šterbinu (vlevo). Rekonstrukce transmisního duhového hologramu bílým světlem (vpravo). Díky použití šterbiny při záznamu se každá spektrální složka fokusuje do horizontálního pásu, které se pro jednotlivé vlnové délky nepřekrývají. Nedochází tedy k barevnému rozmazání a degradaci rekonstrukce jak tomu bylo v případě podle obrázku 3

rekonstruovaný signál všude mimo úzký horizontální pruh vymezený touto štěrbinou (obrázek 7). Sekundární záznam se provádí opět jako transmisní hologram. Při rekonstrukci takového hologramu polychromatickým světlem dochází k rekonstrukci signálu opět ve všech spektrálních barvách. Při správné volbě šířky štěrbinu se tyto obrazy nepřekrývají, ale leží nad sebou. Rekonstrukce je tedy možná i v bílém světle. Možnost rekonstrukce širokospektrálním zdrojem je vykoupena ztrátou prostorovosti ve vertikálním směru – při pozorování rekonstrukce z různých vertikálních pozic vidíme stále na objekt „zepředu“, ale v různých „duhových“ barvách.

ZÁZNAMOVÉ MATERIÁLY PRO HOLOGRAFIÍ

Při klasickém záznamu hologramu jako interferenčního pole signální a referenční vlny je nutné mít k dispozici záznamový materiál splňující několik předpokladů. Předně je nutné podotknout, že hustota zaznamenávaného interferenčního pole je značně vysoká, odpovídající použité vlnové délce a geometrii záznamového schématu. Perioda proužků se běžně pohybuje u transmisních hologramů na úrovni 500 nm, u hologramů reflexních může být i poloviční. Záznamové médium musí proto vykazovat vysokou rozlišovací schopnost. Současně by měla být citlivost materiálu na použité záření co nejvyšší. Vzhledem k hustotě proužků a z ní plynoucích požadavků na stabilitu schématu během expozice na úrovni desítek nanometrů je potřebné maximálně zkrátit expoziční dobu, v opačném případě může dojít k „rozhýbání“ záznamu a k snížení modulace, resp. úplnému vymizení zaznamenaných proužků.

V současnosti existuje celá řada záznamových materiálů lišících se rozlišovací schopností, citlivostí, typem modulace, dosažitelnou difrakční účinností atd. K jedněm z nejstarších a stále hojně využívaných záznamových materiálů patří halogenostříbrné emulze. Jedná se o materiál kvalitativně velmi podobný klasickým fotografickým médiím (základem jsou zrna halogenidu stříbra rozptýlené v želatinovém nosiči), kde hlavním rozdílem je zejména rozlišovací schopnost. Velikost zrn halogenidu je v případě holografických materiálů na úrovni desítek nanometrů (na rozdíl od desítek mikrometrů u fotografických materiálů), což je bohužel doprovázeno malou citlivostí (až o několik řádů menší než u fotografie). Hologram exponovaný na halogenostříbrné emulzi lze vyvolat podobně jako u fotografie, přičemž výsledkem je tzv. absorpční záznam (modulace založená na absorpci energie, zrna halogenidu se v důsledku expozice a vyvolání konvertují na kovové stříbro způsobující absorpci). Takový postup je ovšem energeticky nevýhodný. Proto se v holografii převádí absorpční záznam v takzvaném procesu bělení na fázovou strukturu, která energii neabsorbuje a moduluje pouze fázi difraktované vlny. Při bělení dochází ke zpětné konverzi kovového stříbra na průhledný halogenid, který se od původních zrn liší krystalizací a prostorovým rozložením. Na obrázku 8 je zobrazen snímek mikrostruktur hologramu zaznamenaných na halogenostříbrné emulzi pořízený skenovacím elektronovým mikroskopem. Zrna halogenidu tvoří mřížku, která kopíruje proužky zaznamenávaného interferenčního pole. Halogenostříbrné emulze jsou důležitým materiálem pro záznam obrazových hologramů, jejich hlavní předností



Obrázek 8 Snímky mikrostruktury hologramu zaznamenaného na halogenostříbrné emulzi pro dvě hodnoty expoziční energie. Materiál byl nejdříve vyvolán a posléze v procesu bělení převeden do fázové podoby. Zrna halogenidu vytvářející modulaci indexu lomu mají velikost ~50 nm

je vysoká citlivost (patří k nejcitlivějším známým materiálům), možnost senzibilace pro široké spektrum záznamových vlnových délek, vysoká rozlišovací schopnost a dobrá difrakční účinnost. Naopak nevýhodou je částicový charakter materiálu, kde zrna o velikosti desítek nanometrů vedou k rozptylu světla a způsobují tak parazitní „šum“ v rekonstrukci.

Dalším historicky důležitým záznamovým materiálem je dichromovaná želatina. Jedná se o čistě fázový materiál, u kterého je objemová modulace indexu lomu docílena vytvrzením materiálu v důsledku expozice a následným bobtnáním - změnou hustoty materiálu. Vzhledem k absenci zrn materiál nevykazuje parazitní rozptyl. Jeho předností je vysoké rozlišení, vysoká difrakční účinnost a absence šumu. Nevýhodou je velmi nízká citlivost a nezbytnost záznamu v modrozelené oblasti spektra.

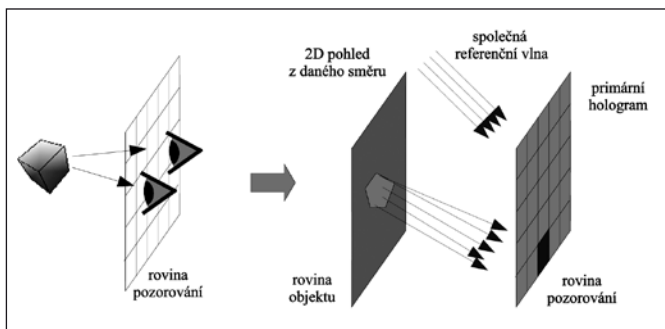
Aplikačně důležitým materiálem pro záznam hologramů jsou fotorezisty. Jejich hlavní předností je reliéfní charakter struktury (při vyvolání dochází k leptání vrstvy v závislosti na expozici), který lze s výhodou využít při kopírování hologramů. Kopie lze poté pořizovat prostým mechanickým obtiskem. Tato metoda je podstatně jednodušší než optické kopírování popsané na obrázku 5 a umožňuje masovou reprodukci hologramů. Nevýhodou je opět záznam v modré oblasti spektra a nižší citlivost než mají halogenostříbrné emulze.

Existuje celá řada dalších záznamových materiálů více či méně vhodných pro záznam hologramů (velice slibné jsou například fotopolymery, které nevyžadují proces „mokrého“ vyvolání [5]). Se stále se zdokonalující digitální technikou vzrůstají i možnosti záznamu hologramů pomocí elektronických kamer v „reálném“ čase. Zde je největším problémem rozlišovací schopnost, která je u nejlepších čipů zhruba o řád horší, než je hustota typické mikrostruktury hologramu. Při elektronickém záznamu je proto nutné hustotu proužků snížit, což lze prakticky dosáhnout například paralelním signálním a referenčním svazkem (v tzv. gaborovském osovém schématu).

SYNTETICKÁ GENERACE 3D OBRAZU

Výše popsané metody realizace hologramů byly založeny na přítomnosti objektu (modelu v reálné velikosti) při primárním záznamu. Měřítka záznamu lze sice v procesu kopírování mírně upravit, nicméně vždy za cenu jisté degradace obrazu. Potřeba reálného prostorového modelu tak značně omezuje možnosti realizace hologramů různých objektů, zejména venkovních scénérií, staveb, rozměrných objektů, osob, atd. Navíc podmínka stability scény na úrovni zlomků vlnové délky po dobu expozice (která bývá nezdídká i několik desítek vteřin až minut) znemožňuje zaznamenávat v podstatě jakékoli hologramy živých a obecně pohyblivých objektů. I když některé z těchto aspektů lze řešit například použitím pulzního zdroje světla (expozice extrémně krátkým intenzivním laserovým pulzem), je obecnou snahou syntetizovat záznam uměle bez přítomnosti reálného objektu. Toho lze docílit v podstatě třemi způsoby:

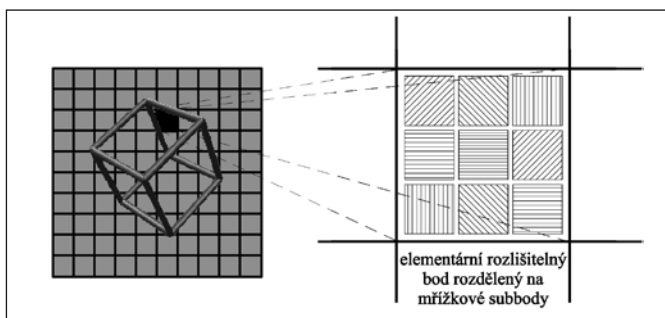
- Přímý výpočet mikrostruktury hologramu. Požadovaná scéna, která má být generovaná rekonstrukcí hologramu, je nejdříve popsána matematicky. Dále se většinou numerickou cestou simuluje šíření světelné vlny od hologramu k místu rekonstrukce a napočítají se vlastnosti mikrostruktury hologramu. Ta je posléze realizovaná nejčastěji přímým zápisem elektronovou nebo laserovou litografií s vysokou hustotou záznamu [6]. Prakticky je tento přístup sice nejobecnější, je ale extrémně výpočetně náročný a pro generaci větších hologramů nesoucích informaci o 3D objektu se nepoužívá. Rovněž realizace litografickým zápisem je velmi nákladná a časově náročná.
- Syntéza hologramu z prostorových pohledů v rovině pozorování. V tomto případě jsou nejdříve vygenerovány pohledy na požadovaný objekt z různých úhlů, ze kterých má posléze probíhat pozorování. Tyto mohou být pořízeny buďto jako série fotografií, anebo synteticky z počítačového 3D modelu. Následně jsou jednotlivé pohledy naexponovány (obrázek 9) postupně jeden po druhém na primární hologram ležící v budoucí rovině pozorování (oční pupily pozorovatele).



Obrázek 9 Princip syntézy hologramu v rovině pozorování. Jednotlivé pohledy na objekt z různých směrů (vlevo) jsou postupně naexponovány do příslušného místa primárního hologramu ležícího v budoucí rovině oka pozorovatele. Referenční vlna je pro všechny parciální záznamy stejná

Expozice probíhá klasickým způsobem za přítomnosti referenční vlny, která je pro všechny expozice stejná. Nakonec je takto syntetizovaný hologram zkopírován technikou popsanou na obrázku 5 (reflexně, duhově, nebo dále transmisně) a vzniká finální hologram s plně prostorovým obrazem. Výhodou přístupu je možnost změny měřítka objektu (přeškálováním jednotlivých pohledů), možnost záznamu živých a pohyblivých objektů, záznam virtuálních scén generovaných počítačem, atd. Na druhé straně se jedná o komplikovaný proces s mnoha expozicemi, který je velice nákladný a časově náročný. Mikrostruktura záznamu s vysokou hustotou vzniká v tomto případě přirozenou cestou pomocí interference signálu s referenční vlnou, a tudíž není zapotřebí použití sofistikovaných litografických technik, jak tomu bylo v předcházejícím případě.

- Syntéza hologramů z prostorových pohledů v rovině hologramu. Podobně jako v předchozím případě jsou nejdříve pořízeny pohledy na scénu z různých úhlů (fotograficky, resp. počítačově) a tyto jsou následně exponovány do finálního hologramu ležícího v rovině rekonstruovaného objektu (obrázek 10).



Obrázek 10 Syntéza hologramu v rovině hologramu. Každý okem rozlišitelný bod na ploše hologramu je rozdělen na mikrobodů s velikostí pod rozlišovací schopností oka, kde každý takový mikrobod zajišťuje vyslání informace do jiného směru. Mikrobodů jsou zpravidla tvořeny pravidelnou mikromřížkou, kde perioda a orientace proužků definuje charakter vyzářování mikrobodu

Schopnost hologramu vyzářovat z jediného bodu různou informací do různých úhlů (nezbytná pro vytvoření 3D vjemu) je v tomto případě zajištěna na bázi prostorové segmentace plochy hologramu pod hranicí rozlišení lidského oka (obrázek 10). Elementární bod na ploše hologramu rozlišitelný lidským okem (~100 μm) je ve skutečnosti dále rozdělen na mikrobodů, kterých počet odpovídá počtu pohledů na objekt zakomponovaných do hologramu. Každý takový mikrobod bývá zpravidla tvořen již pravidelnou difrakční mřížkou,

jejíž perioda a orientace udává směr a charakter vyzářování daného mikrobodu. Takovou mikromřížkovou strukturu je prakticky možné realizovat buďto přímým litografickým zápisem bod po bodu (podobně jak bylo popsáno výše) anebo lze s výhodou využít zařízení typu „dot-matrix“, které exponují celou mikromřížku v jediném kroku jako interferenční pole dvou fokusovaných laserových svazků [7].

Každý z popsaných přístupů je vhodný pro realizaci jiné třídy hologramů. Přímý výpočet mikrostruktury se využívá zejména pro technologické účely, kde hologram plní funkci transformačního prvku pro ovládání laserových a obecných světelných svazků. Pro generaci 3D obrazu se tato metoda díky extrémní výpočetní a realizační náročnosti nepoužívá.

Syntéza z pohledů v rovině pozorování je vhodná pro realizaci obrazových hologramů větších formátů, protože expozice probíhá integrálně v holografickém schématu a rozměr hologramu nehráje klíčovou roli.

Syntéza z pohledů v rovině hologramu je hlavní metodou využívanou pro realizaci lisovaných duhových hologramů menších formátů. Jelikož celá syntéza probíhá v počítači, umožňuje tento přístup flexibilně kombinovat širokou škálu efektů, vytvářet plně barevný RGB obraz, atd. Omezení velikosti plochy hologramu je dáno syntetickým záznamem, který se při požadavku větších ploch stává nákladným a časově náročným.

ZÁVĚR

Holografie zaznamenala za 50 let své existence zásadní rozvoj, který byl v posledních letech umocněn zejména nástupem syntetických technik. Díky značnému pokroku ve výpočetní technice a technologii realizace syntetických mikro- a nanostruktur se syntetické hologramy stávají běžnou součástí různých zařízení využívajících ve výzkumu, průmyslu a mnoha dalších odvětvích. Vzhledem k nasazení optických technologií do oblastí komunikací a výpočetní techniky se těžiště holografických aplikací přesouvá od klasické obrazové holografie směrem k průmyslovějším aplikacím. Jelikož se v mnoha aplikacích již často nevyužívá primárně obrazová informace z hologramu, ale prvek slouží jako obecný transformační element pro tvarování optických svazků, mluvíme spíše o syntetické difrakční optice než o syntetické holografii. Obrazová holografie ale zůstává jednou ze zajímavých a často nenahraditelných technik pro generaci 3D obrazu pro nejrůznější účely. Na problematiku holografie je zaměřena i celá řada knižních publikací, další detaily lze nalézt například v [8-10].

Literatura

- [1] D. Gabor, A new microscopic principle, *Nature*, 161, 777-778 (1948).
- [2] D. Gabor, Microscopy by reconstructed wavefronts, *Proceedings of the Royal Society A*, 197, 454-487 (1949).
- [3] E. N. Leith, J. Upatnieks, Reconstructed wavefronts and communication theory, *Journal of the Optical Society of America*, 52, 1123-1130 (1962).
- [4] Y. Denisyuk, On the reproduction of the optical properties of an object by the wave field of its scattered radiation, *Optics & Spectroscopy*, 15, 279-284 (1963).
- [5] M. Květoň, Acrylamid-based photopolymer for optical holography, CTU (2008).
- [6] M. Škereň, Computer Generated Optical Diffractive Structures, CTU (2006).
- [7] D. Najdek, Synthesis of three-dimensional full-color images using the optical diffractive structures, CTU (2008).
- [8] P. Hariharan, *Optical Holography*, Second edition, Cambridge (1996).
- [9] G. Saxby, *Practical holography*, Second edition, Prentice Hall (1994).
- [10] R. J. Collier, C. B. Burckhardt, L. H. Lin, *Optical Holography*, New York Academic Press (1971).

Hybridní aplanatické optické systémy

V článku se uvádí metoda návrhu hybridních optických systémů využívající aplanatickou podmínku. Tato podmínka se v optimalizačním procesu chápe jako základní kritérium pro návrh fázových funkcí difrakčních optických prvků. Fázová funkce difrakčního optického prvku může být libovolná, není omezena na sférické fázové funkce. Touto metodou bylo navrženo a analyzováno několik hybridních optických systémů, zvláště hybridní dublety a triplety, složené z jednoho difrakčního prvku a jednoho nebo dvou lámavých čoček.

Klíčová slova: optický návrh, difrakční optický prvek, hybridní optický systém, aplanatismus

ÚVOD

V posledních letech aplikace hybridních optických systémů nabývají stále více na důležitosti. Pod hybridním optickým systémem budeme rozumět kombinaci refrakční části (většinou jedna nebo více klasických čoček) a difrakčního optického elementu (DOE). Toto spojení přináší mnoho výhod, např. vyšší kvalitu zobrazení při současném snížení počtu optických prvků nebo snížení prostorové frekvence difrakčního prvku. Vhodným rozdělením optické mohutnosti mezi refrakční část a difrakční prvek lze dosáhnout snížení celkových barevných vad v optickém systému [1].

Difrakční optický prvek tvoří periodická nebo kvaziperiodická difrakční struktura nanosená na povrch substrátu. Ten v případě hybridního systému může tvořit přímo jeden z povrchů refrakční čočky. Obecný DOE může být popsán fázovou funkcí Φ a lokálním mřížkovým vektorem \mathbf{K} příslušné difrakční struktury.

V tomto článku se omezíme na optické systémy s rotační symetrií, tj. fázová funkce a lokální mřížkový vektor budou rotačně symetrické funkce radiální vzdálenosti od středu DOE, tj. $\Phi = \Phi(r)$ a $\mathbf{K} = \mathbf{K}(r)$. Vztah mezi fázovou funkcí $\Phi(r)$ a lokálním mřížkovým vektorem $\mathbf{K}(r)$ může být vyjádřen jako

$$\mathbf{K}(r) = \nabla \Phi(r).$$

Zobrazovací vlastnosti DOE závisí na jeho fázové funkci $\Phi(r)$. Neomezíme se pouze na sférické difrakční prvky, jejichž fázovou funkci lze popsat jako interferenční pole dvou sférických vln, ale budeme předpokládat fázovou funkci DOE zcela libovolnou. Na tomto místě si můžeme položit otázku, jak vhodně vybrat tuto fázovou funkci difrakčního prvku. Tato otázka může být zodpovězena uvažováním aplanatismu.

APLANATICKÁ PODMÍNKA

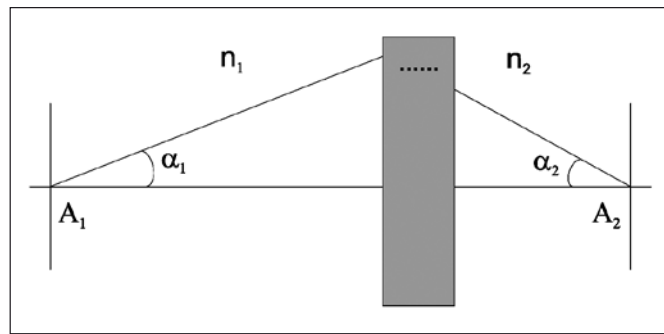
Aplanatické systémy hrají důležitou roli při navrhování optických systémů, protože dovolují zobrazování relativně širokým svazkem světla. U obecného optického systému aplanatická podmínka řeší problém stigmatického zobrazení osového bodu A_1 a jeho obrazu A_2 (viz obr. 1)

Aplanatická podmínka má tvar

$$n_1 \sin \alpha_1 = \beta n_2 \sin \alpha_2.$$

kde α_1 (α_2) je osový úhel zobrazujícího paprsku osového bodu A_1 (A_2), β je příčné zvětšení optického systému a n_1 (n_2) je index lomu předmětového (obrazového) prostoru.

Tuto podmínku lze odvodit uvažováním Fermatova principu nebo přístupem fourierovské optiky [2]. Přestože aplanatická podmínka formuluje vztahy pouze pro osový bod, vyjadřuje jistou



Obr. 1 Aplanatická podmínka pro obecný optický systém

stacionárnost optických aberací i v okolí těchto bodů (tj. i pro mimoosové body). Aplanatickou podmínku převezmeme jako hlavní kritérium pro návrh fázové funkce difrakčního optického prvku a pro následnou optimalizaci hybridních optických systémů.

KOREKCE BAREVNÝCH VAD

Chromatická disperze refrakčního prvku je charakterizována Abbého číslem V příslušného optického materiálu. Disperzní vlastnosti difrakčních prvků mohou být popsány analogickým parametrem, který lze definovat jako

$$V_d = \frac{\lambda_d}{\lambda_F - \lambda_C},$$

kde vlnové délky λ_d , λ_F a λ_C označují tři standardní spektrální čáry použitého záření.

Při uvažování optického světelného záření používáme klasické spektroskopické vlnové délky čar helia ($\lambda_d = 587,56$ nm) a rtuti ($\lambda_F = 486,13$ nm, $\lambda_C = 656,27$ nm).

Stojí za povšimnutí, že toto V_d číslo difrakčního prvku se zásadně odlišuje od Abbého čísla všech optických materiálů, a to jak ve znaménku, tak ve své velikosti. Tudíž, vhodným rozdělením paraxiální optické mohutnosti mezi refrakční prvky a difrakční prvek, je možné dosáhnout snížení celkových barevných vad v hybridním systému. Uvažujeme-li hybridní dublet a předpokládáme-li tenké prvky, tento poměr paraxiálních optických mohutností můžeme vyjádřit jako

$$\frac{\varphi_d}{\varphi_r} = -\frac{V_d}{V_r},$$

kde φ_d a V_d , resp. φ_r a V_r je paraxiální optická mohutnost a Abbého V číslo difrakčního, resp. refrakčního prvku. V_d číslo difrakčního prvku má opačné znaménko než Abbého číslo refrakčního prvku. V důsledku toho u achromatického hybridního dubletu mají obě části stejné znaménko optické mohutnosti.

Tento vztah může být použit jako výchozí bod pro achromatickou korekci a následné optimalizace hybridních optických systémů.

OPTIMALIZACE

Pro oceňování kvality optického zobrazení při návrhu hybridního systému můžeme použít standardní přístup klasické optiky popisu meritní funkcí. Meritní funkce je jediné číslo, které slouží pro ocenění kvality zobrazení dané optické soustavy. Vyjadřuje se jako vážený součet aberací, které zahrnují jak klasické optické aberace (sférická aberace, koma, barevné vady, ...), tak ohodnocení splnění paraxiálních parametrů soustavy (ohnisková vzdálenost, zvětšení, atd.) Následná optimalizace pak představuje matematickou minimalizaci této meritní funkce v závislosti na stupních volnosti.

Stupně volnosti, tj. parametry soustavy, které se při optimalizaci mohou obměňovat, zahrnují křivosti povrchů jednotlivých prvků v soustavě, jejich vzájemné vzdálenosti nebo výběr optického materiálu.

Uvažování hybridních optických systémů přináší další zajímavý stupeň volnosti. Fázová funkce difrakčního prvku se stává dalším nezávislým vstupním parametrem při optimalizaci. Ale jak vhodně tuto fázovou funkci zvolit a navrhnout, když předpokládáme, že může být úplně libovolná? Je to právě aplanatická podmínka, která může tuto otázku vyřešit. Požadavkem na přesné splnění aplanatické podmínky, a to nejen na počátku, ale i v každém následujícím kroku během optimalizace, získáme ono hledané kritérium pro návrh fázové funkce difrakčního prvku v hybridních systémech.

PŘÍKLADY APLANATICKÝCH HYBRIDNÍCH SYSTÉMŮ

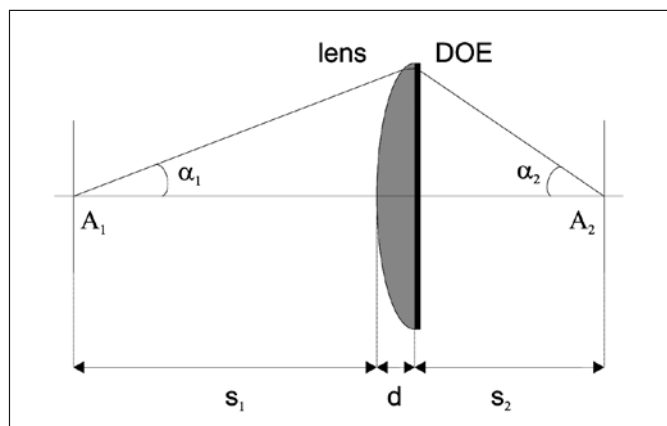
V této části si ukážeme dva příklady aplanatických hybridních systémů, a to hybridní dublet a hybridní triplet.

Hybridní dublet (viz obr. 2) je tvořen plankonvexní čočkou a rovinným difrakčním prvkem. Hybridní triplet (viz obr. 3) je tvořen dvěma plankonvexními čočkami a rovinným difrakčním prvkem, který je vložen mezi ně.

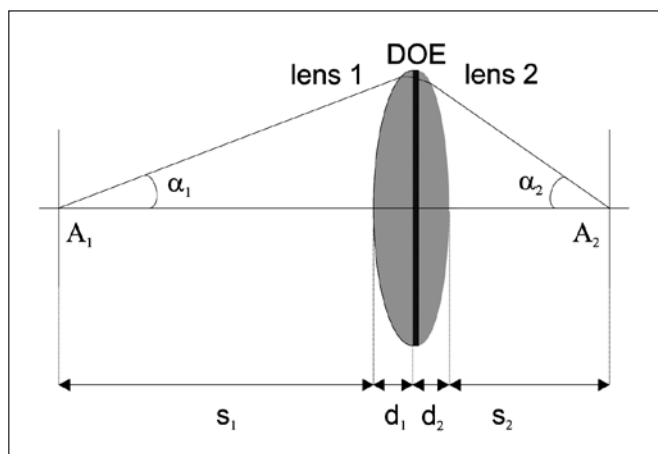
Vzhledem k omezené difrakční účinnosti nemá smysl uvažovat soustavy s více než jedním difrakčním prvkem. Uvažujeme pouze rovinné difrakční prvky a předpokládáme zanedbatelnou vzdálenost mezi prvkem a čočkou. Návrhem aplanatických zakřivených čistě difrakčních prvků se zabývají publikace [3, 4].

Pro možnost srovnání oba systémy měly dány následující shodné parametry:

Vzdálenost předměťové a obrazové roviny $L = 600$ mm a příčné zvětšení $\beta = -0,5$, což udává efektivní ohniskovou vzdálenost $f = 173$ mm. Ve všech případech numerická apertura byla shodně 0,06.



Obr. 2 Geometrie hybridního dubletu



Obr. 3 Geometrie hybridního tripletu

Průměr testu v předměťové rovině byl 20 mm. Vybraný typ skla pro všechny refrakční prvky byl BK7 z katalogu skel Schott.

Soustavy byly navrženy a optimalizovány počítačovým programem DIFOS [5]. Požadovaný průběh lokálního fázového vektoru \mathbf{K} byl nalezen z požadavku splnění aplanatické podmínky pro daný systém. Oba hybridní systémy byly dále optimalizovány změnou některých konstrukčních parametrů. V případě hybridního dubletu to byly předměťová vzdálenost s_1 , tloušťka d plankonvexní čočky a poloměr křivosti R (viz obr. 2). V druhém případě hybridního tripletu to byly předměťová vzdálenost s_1 , tloušťky d_1 a d_2 obou plankonvexních čoček a jejich poloměry křivosti R_1 a R_2 (viz obr. 3). Obrazová vzdálenost s_2 je poté již svázána s požadavkem konstantní vzájemné vzdálenosti předmětu a obrazu. Monochromatické aberace – sférická aberace, koma, astigmatismus, barevné vady v relativní výšce 0,87 testu a velikosti spotů byly hodnoceny jako celková meritní funkce systému při optimalizaci.

Výsledné konstrukční parametry jsou dány v tab. 1 pro hybridní dublet a v tab. 2 pro hybridní triplet.

Tab. 1 Konstrukční parametry hybridního dubletu

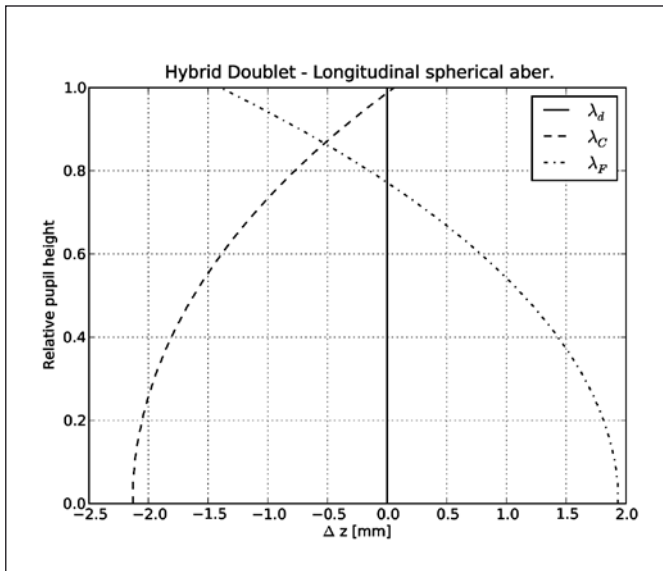
s_1 [mm]	d [mm]	s_2 [mm]	R [mm]
521,508	46,930	231,562	98,456

Tab. 2 Konstrukční parametry hybridního tripletu

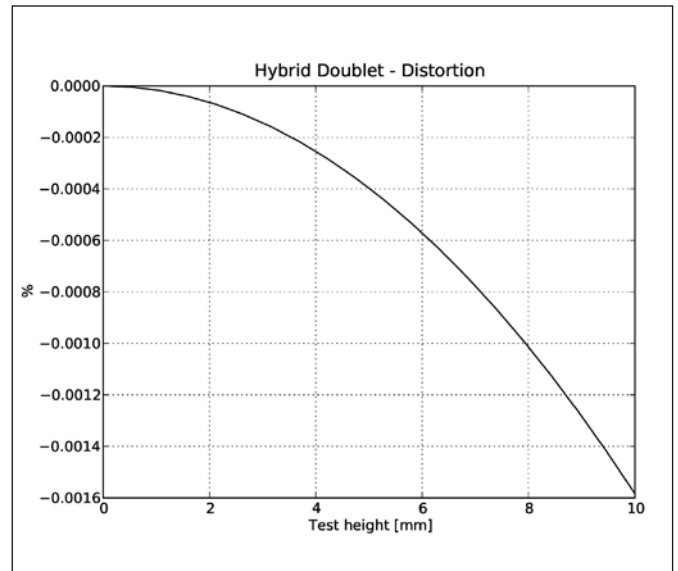
s_1 [mm]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	s_2 [mm]	R_1 [mm]	R_2 [mm]
486,696	38,527	31,849	242,928	292,305	-132,591

Kvalita zobrazení může být ohodnocena z aberačních křivek. Pro hybridní dublet je na obr. 4 znázorněn průběh podélné sférické aberace, na obr. 5 paprskové aberace, na obr. 6 průběh astigmatismu a na obr. 7 zkreslení obrazu. Spotový diagram čtvercové mřížky 5 x 5 bodů pro test o velikosti 20 x 20 mm je znázorněn na obr. 8.

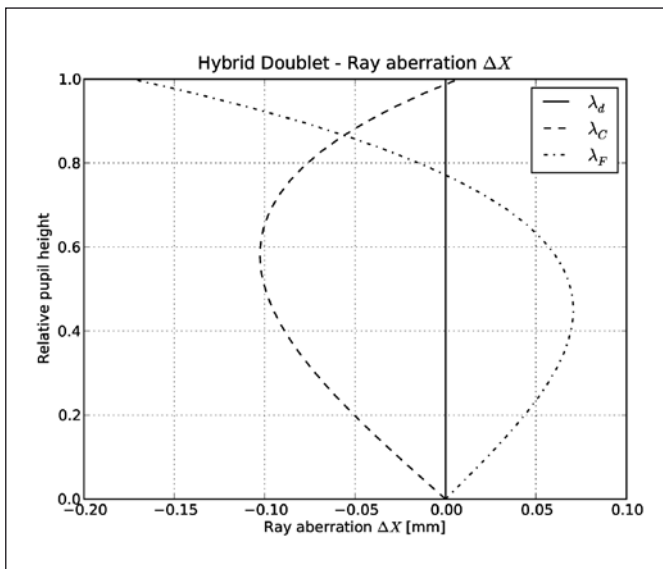
Pro hybridní triplet je na obr. 9 znázorněn průběh podélné sférické aberace, na obr. 10 paprskové aberace, na obr. 11 průběh astigmatismu a na obr. 12 zkreslení obrazu. Spotový diagram čtvercové mřížky 5 x 5 bodů pro test o velikosti 20 x 20 mm je znázorněn na obr. 13. Srovnání velikosti spotů v závislosti na výšce testu můžeme vidět na obr. 14. Výsledkem návrhu difrakčního prvku je radiální průběh jeho lokálního mřížkového vektoru. Opět srovnání mezi hybridním dubletem a tripletem zachycuje obr. 15. Z tohoto lze nahlédnout, že difrakční prvek v hybridním tripletu má relativně nižší (téměř dvakrát) prostorovou frekvenci než v případě hybridního dubletu. Toto snížení prostorové frekvence vede k jednodušší výrobě difrakčního prvku.



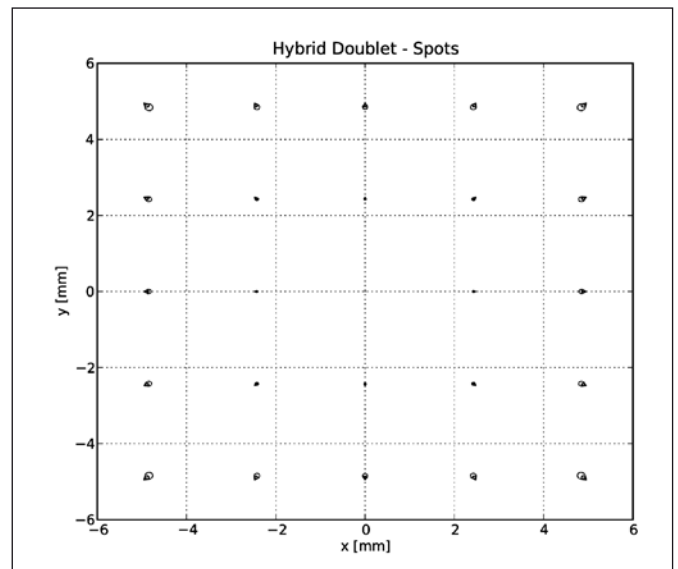
Obr. 4 Hybridní dublet – podélná sférická aberace



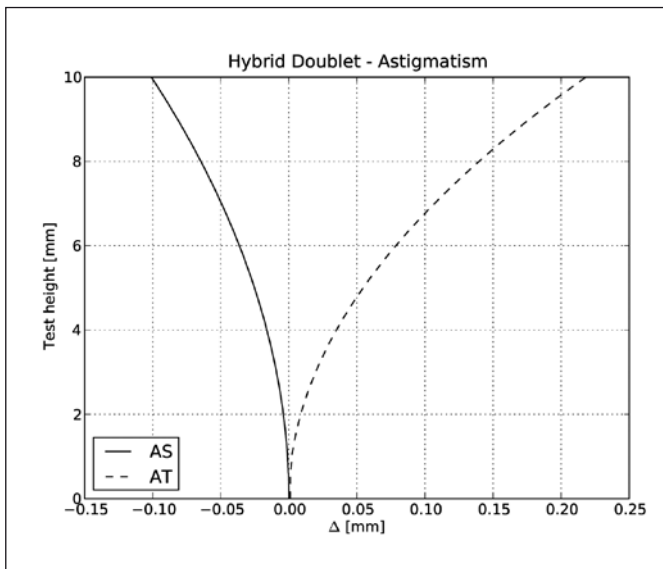
Obr. 7 Hybridní dublet – zkreslení



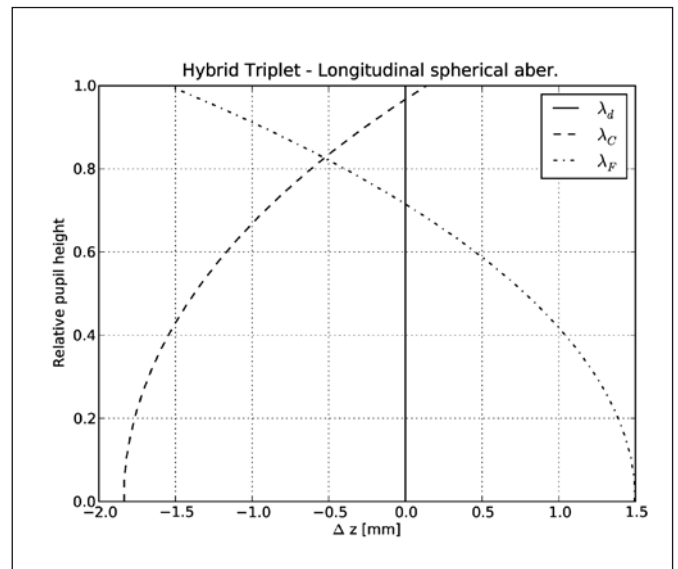
Obr. 5 Hybridní dublet – paprskové aberace



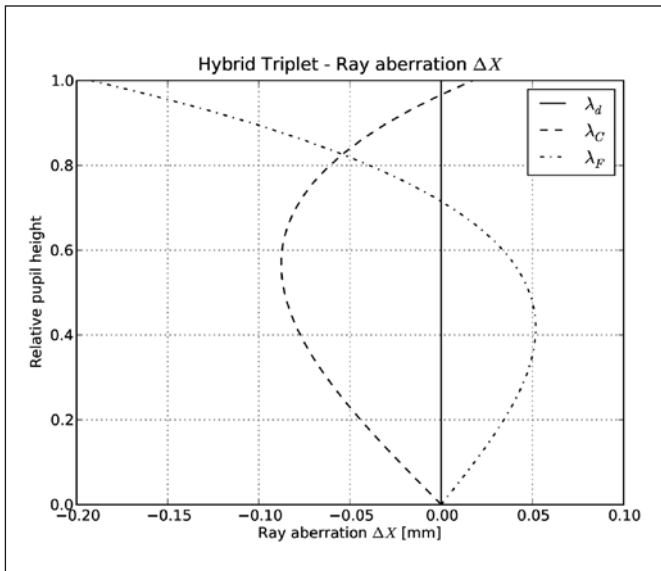
Obr. 8 Hybridní dublet – obraz 20 x 20 mm čtvercové mřížky 5 x 5 bodů



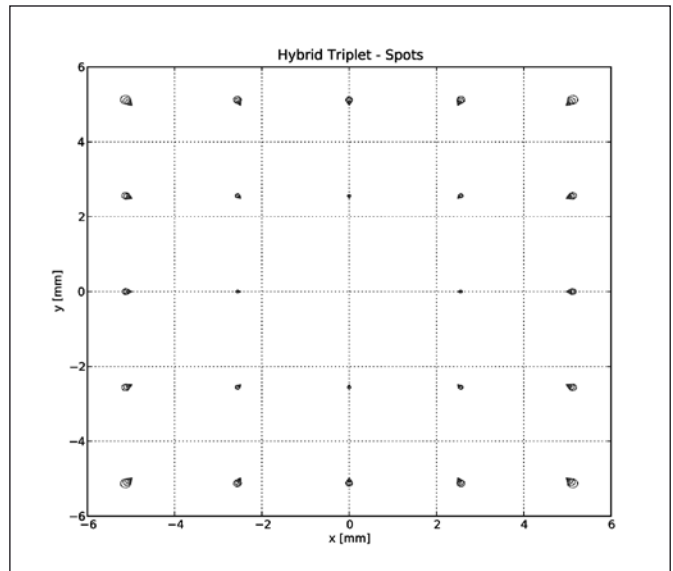
Obr. 6 Hybridní dublet – astigmatismus



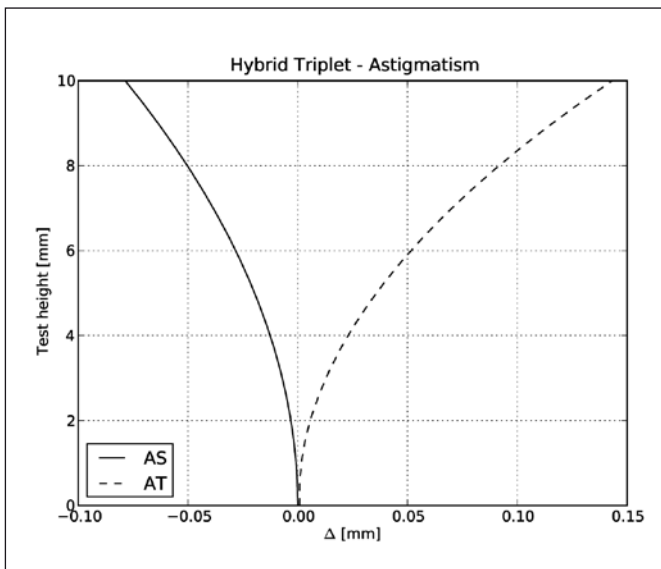
Obr. 9 Hybridní triplet – podélná sférická aberace



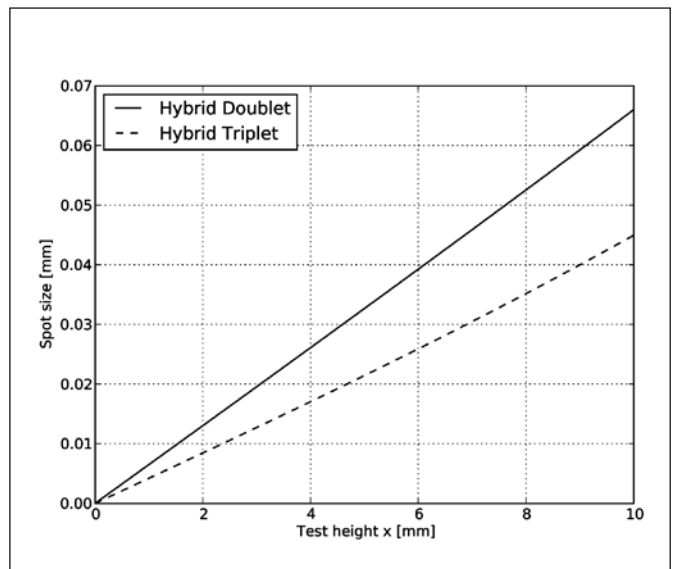
Obr. 10 Hybridní triplet – paprskové aberace



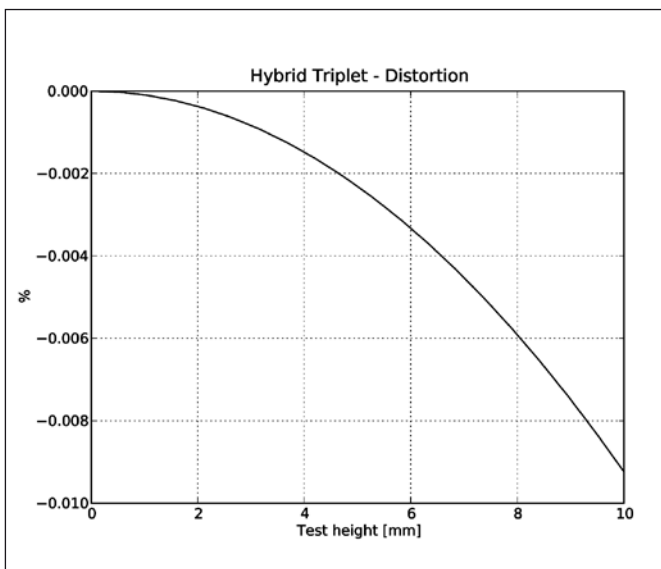
Obr. 13 Hybridní triplet – obraz 20 x 20 mm čtvercové mřížky 5 x 5 bodů



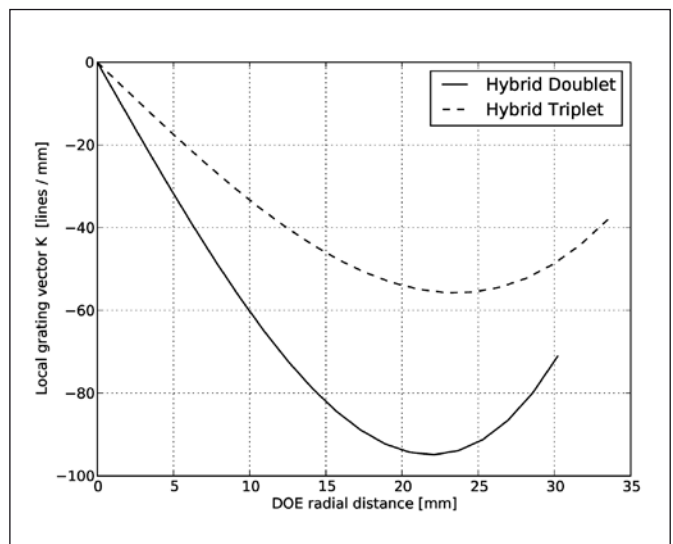
Obr. 11 Hybridní triplet – astigmatismus



Obr. 14 Srovnání velikostí spotů mezi hybridním dubletem a tripletem



Obr. 12 Hybridní triplet – zkreslení



Obr. 15 Graf radiální závislosti lokálního mřížkového vektoru K příslušného DOE

ZÁVĚR

V tomto článku jsme popsali metodu optického návrhu hybridních optických systémů za využití aplanatické podmínky. Tato aplanatická podmínka sloužila jako hlavní optimalizační kritérium pro návrh obecné asférické fázové funkce difrakčního optického prvku v hybridním systému. Tato metoda byla ilustrována na dvou příkladech hybridních systémů.

První příklad byl hybridní dublet tvořený plankonvexní čočkou a difrakčním strukturou na jejím rovinném povrchu. Druhý příklad byl hybridní triplet tvořený dvěma plankonvexními čočkami a rovinným difrakčním prvkem, který byl vložen uprostřed mezi nimi.

Chromatické aberace bylo možné snížit vhodným rozdělením optických mohutností mezi refrakční a difrakční prvek. Následná optimalizace byla provedena standardní metodou minimalizace meritní funkce. V každém kroku optimalizace byla fázová funkce difrakčního prvku znovu generována při požadavku splnění aplanatické podmínky.

Prezentované výsledky mohou být dále rozšířeny i na mimoosové systémy a aplikovány na komplexnější hybridní systémy obsahující tři a více refrakčních prvků.

Literatura

- [1] O'Shea, D. C., Suleski, T. J., Kathman, A. D., and Prather, D. W., [Diffractive Optics - Design, Fabrication, and Test], SPIE Press (2004).
- [2] Born, M. and Wolf, E., [Principles of Optics], Cambridge University Press, 7th ed. (1999).
- [3] Welford, W. T., "Aplanatic hologram lenses on spherical surfaces," Optics Communications 9, s. 268 (1973).
- [4] Fiala, P. and Jerie, T., "Aplanatic holographic systems," Proc. SPIE 1574, s.179-187 (1991).
- [5] Hopp, J., Difos, Software pro ray-tracing (2008).

Tento výzkum byl podpořen grantem MSM6840770022.

Předneseno na konferenci SPIE Europe Optics and Optoelectronics, Praha 2009.

Ing. Jaroslav Hopp, e-mail: hopp@fjfi.cvut.cz, tel.: +420 221 912 823, prof. Ing. Pavel Fiala, CSc., e-mail: fiala@fjfi.cvut.cz, tel.: +420 21 912 824, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, katedra fyzikální elektroniky, Břehová 7, 115 19 Praha 1

Životní jubileum doc. Ing. Josefa Zichy, CSc.

Dne 20. května 2009 se dožil svého sedmdesátého jubilea náš kolega, odborník, konstruktér a kamarád doc. Ing. Josef Zicha, CSc.

Své mládí prožil v nelehkých dobách okupace a poválečného dění v Říčanech, kde jako sedmnáctiletý v roce 1956 odmaturoval. Téhož roku nastoupil ke studiu na Strojní fakultu ČVUT v Praze, kde pak pokračoval na specializaci Přesná mechanika a optika u vynikajícího leteckého konstruktéra prof. Dr. Ing. Miroslava Hajna, jehož životním koníčkem, a v té době i profesí, byla přístrojářina, zejména pak hodinářství a měření času. Pod jeho vedením obhájil v roce 1961 diplomovou práci „Fotoelektrický fotometr pro pozorování v čarách H a H*“ a téhož roku vyhrál konkurz na místo vedoucího inženýra projektovaného dvoumetrového dalekohledu a nastoupil do Astronomického ústavu Československé akademie věd (AsÚ ČSAV) v Ondřejově. Zde byl vyslán na dlouhodobou stáž do Jeny, kde byl přítomen při výrobě ondřejovského dalekohledu. Po jeho instalaci v roce 1966 pak šéfoval dalekohledu jako hlavní inženýr až do r. 1988. Během této praxe se věnoval úpravám a přestavbě dalekohledu a zařízení pro práci v primárním ohnisku (9 m), pro práci za zrcadlem v režimu Cassegrain (ohnisková vzdálenost 29 m) a pro instalaci spektrografu v ohnisku Coudé (ohnisková vzdálenost 64 m). Na počátku osmdesátých let pak inicioval první modernizaci zastaralého systému odečtu souřadnic dvoumetrového dalekohledu.

Kromě prací na dvoumetru se podílel také na konstrukci řady dalších přístrojů, jako například mikrofotometra a komparátoru pro vyhodnocování stelárních spektrogramů, a se svou ženou Olgou vyvinul hypersensibilizující termostat pro práci s horkým vzduchem, dusíkem a nakonec i s vodíkem a spektrosenzitometr s absolutní



Doc. Ing. Josef Zicha, CSc.

kalibrací. Tím se ondřejovská hvězdárna stala teprve čtvrtým pracovištěm na světě, kde se hypersenzibilizace fotomateriálu ve vodíkové atmosféře úspěšně aplikovala.

Během svého působení v Astronomickém ústavu také intenzivně spolupracoval se svojí domovskou katedrou Přesné mechaniky a optiky, kde pravidelně vedl nebo konzultoval diplomové práce, jako externista byl členem státní zkušební komise a od r. 1981 vykonával funkci předsedy jedné ze dvou těchto komisí. Po krátkém působení jako vedoucí vývoje v n. p. Oční optika Praha byl přijat na katedru přesné mechaniky a optiky FS ČVUT, kde byl po své habilitaci jmenován v roce 1992 docentem a v letech 1994 - 2000 působil i jako vedoucí katedry.

Ve svém pedagogickém působení se mohl opírat o své bohaté zkušenosti získané v Astronomickém ústavu, Oční optice, ale i z řady pobytů na univerzitách v Utrechtu, Delftu, Budapešti, Ilmenau a na výzkumných pracovištích v CERN, PSI Villingen nebo Heidelbergu. Své znalosti tak zúročil zavedením výuky nových předmětů „Teorie a konstrukce přístrojů“, „Astronomické přístroje“ nebo „Lékařské přístroje“. Za 19 let působnosti na Strojní fakultě se doc. Zicha intenzivně věnoval konstrukci zařízení pro řadu výzkumných projektů, jako například s firmou Compas Turnov vývoj a výroba přesných tenkých optických zrcadel a montáží pro Ring Imaging Cherenkov (RICH) detektorů projekt COMPASS v CERN a pro projekt HESS v Max Planck Institut für Kernforschung Heidelberg, s firmou ENKI spolupracuje na vývoji stavebních prvků využívajících skleněné optické rastry pro biologické aplikace a v současné době i patentově přispěl ke zdokonalení vývoje mechatrického zařízení HexaSphere.

Tyto vědecké aktivity odrážejí také jeho úspěšnost jako pedagoga s řadou úspěšných diplomantů a doktorandů, kdy například jeho absolvent úspěšně prošel konkurzem na funkci inženýra teleskopu na Havajské hvězdárně na Mauna Kea nebo jiný diplomant uspěl v konkurzu na konstruktéra projektu International Thermonuclear Experimental Reaktor (ITER).

Přes tyto odborné kvality je mimořádnou osobností i v oblasti mimo svoji vlastní profesi. Je výborným houslistou a violistou, dlouhá léta hraje na varhany a je výjimečně úspěšným amatérským dirigentem. Po léta diriguje orchestr a smíšený mnohočlenný pěvecký sbor, který se schází pouze příležitostně, zejména k tradičnímu provedení Rybovy vánoční mše. Koncert s názvem „Pojďte s námi

do Betléma“ probíhá každoročně v Betlémské kapli, pod záštitou Fakulty strojní ČVUT. Výtěžek je pak pravidelně věnován Klinice dětské hematologie a onkologie ve Fakultní nemocnici v Motole.

Je proslulý svým životním optimismem, nadhledem, veselou a kamarádkou povahou ke spolupracovníkům, studentům i svým muzikantům. Na každého si dovede udělat čas a nikomu neodmítne pomoc. Jeho pracovitost pro společnost i pro rodinu je nedocenitelná.

Milý Pepíku, za tvé spolupracovníky, žáky a přátele Ti přeji ke Tvým sedmdesátinám a i do dalších let hlavně zdraví, hodně štěstí a spokojenosti při Tvé tvořivé práci i v osobním životě.

Jan Hošek, Vratislav Šule

Kontakt: Ing. Jan Hošek, Ph.D.,

CONTROL 2009

Mezinárodní odborný veletrh CONTROL zaměřený na zajišťování kvality se letos konal ve dnech 5. – 8. 5. 2009 na Zemském výstavišti ve Stuttgartu. Jeho areál má velmi dobré podmínky pro výstavní i doprovodné akce obdobného typu. CONTROL ve Stuttgartu splňuje všechna kritéria vůdčího světového veletrhu s touto tematikou, přičemž představuje obsáhlou prezentaci světové nabídky komponentů, montážních celků, subsystémů i kompletních systémů pro stavbu měřicích zařízení, metrologii i řízení kvality.

Veletrhu CONTROL se letos zúčastnilo cca tisíc vystavovatelů. V porovnání s dřívějšími ročníky byl ten letošní více zaměřen na automatizaci kontroly při intenzivním nasazení bezkontaktních optických systémů na kontrolu rozměrů, úchylek tvaru, drsnosti včetně 3D zpracování obrazu, topografie, tomografie, ale i různých defektů atd. Řada těchto systémů pracuje s rozlišením v nm, a to i v tvrdých provozních podmínkách. Velký důraz je kladen i na produktivitu kontroly a např. některé kamerové systémy dokáží již rozměrově proměřit a roztrždit až 25 součástek za 1 sec.

Na veletrhu převládaly německé firmy. Silně zastoupena byla i Čína, která se stává významným dodavatelem komunálních měřidel, granitových prvků, ale třeba i tvrdoměrů. Velmi zdařilě



Expozice německé firmy OptoSurf



Vstupní (vnitřní) část Zemského výstaviště ve Stuttgartu

byly i expozice českých firem. Některé české firmy byly součástí expozic partnerských, zejména německých firem.

Úměrná velikost i světovému významu veletrhu CONTROL byla i publicita. Základní informace o vybraných exponátech byly zveřejněny v oficiálních veletržních novinách CONTROL Expres. Odborně zaměřené články byly prezentovány v květnovém čísle prestižního německého časopisu QZ (Kvalita a spolehlivost), např. společný článek pracovníků německé firmy OptoSurf a brněnské společnosti MESING o bezkontaktním měření úchylek kruhovitosti se zaměřením na automatickou kontrolu v provozních podmínkách.

23. ročník veletrhu CONTROL patřil díky současným úsporným opatřením k méně navštíveným. Kvalita jednání při větší připravenosti návštěvníků však byla podstatně vyšší než v dřívějších letech.

Příští, tj. 24. ročník veletrhu CONTROL, by se měl uskutečnit na Zemském výstavišti ve Stuttgartu ve dnech 4. – 7. 5. 2010.

Jan Kůr

Kontakt: Ing. Jan Kůr, Mesing, spol. s r. o., Mariánské náměstí 1, cz 617 00 Brno, tel.: +420 545 426 219, e-mail: info@mesing.cz

Výrobní a vývojový program v CRYTUR, spol. s r. o



Firma CRYTUR, spol. s r. o. se sídlem v Turnově již více než 10 let úspěšně navazuje na výzkumné a vývojové programy Monokrystalů Turnov a Preciosy Crytur. Výroba a vývojové programy jsou zaměřeny na krystalové komponenty pevnolátkových laserů, scintilační detektory, profilový safír,

krystalovou optiku, vakuové napařování a naprašování optických vrstev, speciální opracování tenkých vrstev a zobrazovací systémy s vysokým rozlišením.

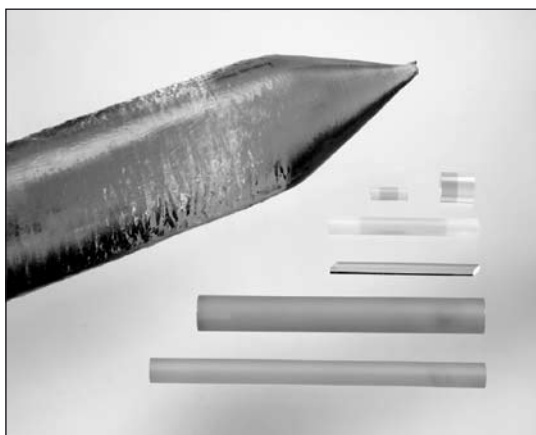
Monokrystaly YAP a YAG jsou pěstovány tažením rotujícího krystalu z taveniny v molybdenovém nebo iridiovém kelímku Czochralského metodou.



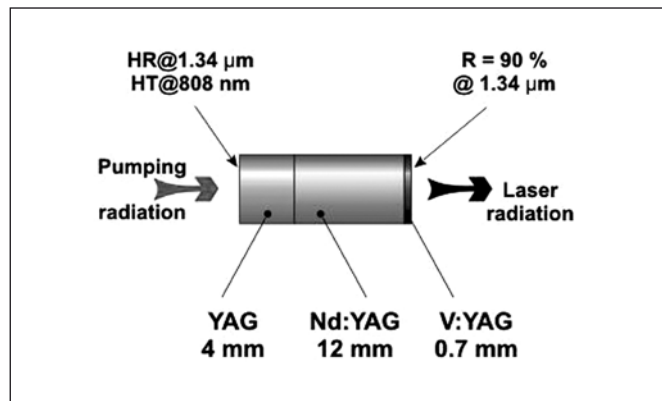
Pec pro pěstování krystalů Czochralského metodou

Monokrystaly YAP a YAG dotované ionty neodymu, yterbia, erbia, thulia slouží jako výchozí materiál pro výrobu aktivního prostředí pro pevnolátkové lasery. Laserové tyče Nd:YAG, Nd:YAP, Er:YAG, Er:YAP, Tm:YAP, Tm:YAG, Yb:YAG vyráběné ve firmě CRYTUR jsou používány zejména v lékařských laserech a v laserových přístrojích pro speciální aplikace.

Kompozitní laserové tyče sestávající z difúzně spojených monokrystalických segmentů, které jsou rovněž vyráběny v CRYTUR, výrazně zlepšují odvod tepla z aktivního prostředí a snižují



Nd:YAG



Mikročipový Q-spínaný 1,3μm laser

tepelné namáhání dielektrických vrstev. Pasivní saturovatelné absorbéry Cr^{++} :YAG a V^{3+} :YAG jsou používány jako pasivní závěrky v Q-spínaných laserech. Na vývoji laserových materiálů CRYTUR úzce spolupracuje s Fakultou jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT Praha.

V komoditě scintilačních detektorů a zobrazovacích systémů s vysokým rozlišením vychází výroba a vývoj z monokrystalů YAG:Ce, YAP:Ce, LuAG:Ce, které díky svým vlastnostem umožňují výrobu složitých detekčních systémů pro užití v elektronové mikroskopii, pozitronové tomografii a přípravu velmi tenkých stínítek pro zobrazovací systémy. Krystalové detekční systémy CRYTUR využívají ve svých přístrojích všichni výrobci elektronových mikroskopů,



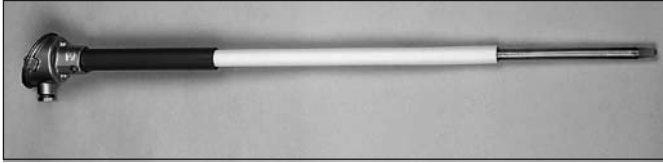
Kamera s vysokým rozlišením pro detekci X-ray, α , β , γ , UV, VUV



Scintilační detektory pro elektronovou mikroskopii a jiné aplikace

výzkumné synchrotronové laboratoře pro zobrazení svazků v širokém spektru energií. Výzkum v této komoditě je zaměřen na vývoj a aplikaci nových krystalických a keramických scintilačních materiálů, detekčních jednotek všech typů ionizujícího záření, UV, VUV.

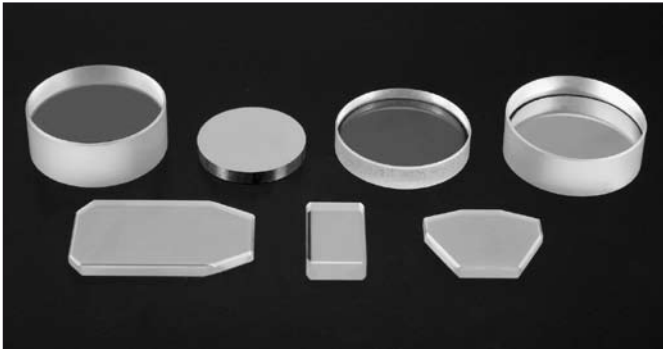
Růst profilového safíru metodou EFG umožňuje přípravu monokrystalických trubic, jímek o průměru až 25 mm a délky 1 m. Tyto jímkové tvoří základní část termočlávkových pouzder pro aplikace ve sklářském průmyslu.



Termočlávkové pouzdro se safírovou trubicí



Napařovací aparatura BAK 600 a BAK 500



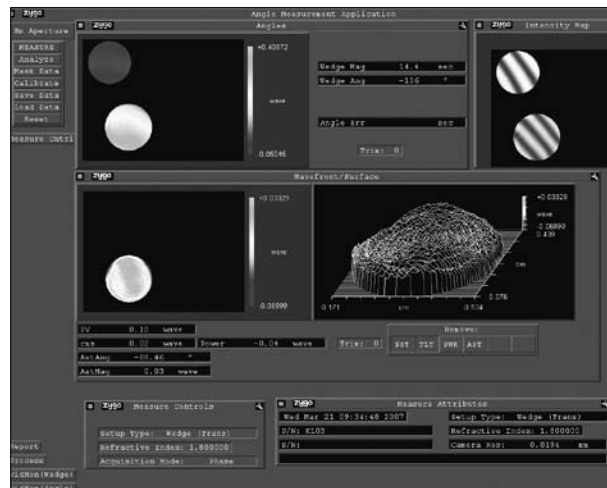
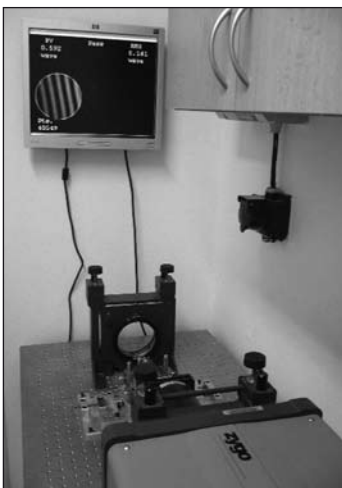
Dielektrická a kovová zrcadla



Leštění laserových tyčí



CNC pro broušení a lapování





Nedílnou součástí firmy je přesné opracování krystalových a tvrdých keramických materiálů. Obrábění s přesností několika mikrometrů a rovinností až $\lambda/20$ umožňuje výrobu náročných laserových a scintilačních komponent.

Všechny výrobky, komponenty a systémy procházejí náročnou výstupní kontrolou a jsou opatřeny certifikátem kvality.

CRYTUR, spol. s r. o. investuje okolo 25 % svého obrátu do výzkumu a vývoje krystalových komponent. Financování vývoje je umožněno účastí v řadě projektů spolufinancovaných státem (MPO) a vývojem na zakázku firm z celého světa. Firma úspěšně realizuje investiční projekt s podporou Czech invest do technologií, zařízení a vybudování nových výrobních prostor.

Crytur spol. s r.o. vystavuje na výstavě LASER World of Photonics v Mnichově v hale B2 na stánku 236.

*Adam Blažek, Karel Blažek,
Jindřich Houžvička, Karel Nejezchleb*

Adam Blažek, Karel Blažek, Jindřich Houžvička, Karel Nejezchleb, Crytur spol. s r.o., Palackého 175, 511 01 Turnov,
e-mail: crytur@crytur.cz

Firma LAO: Komplexní řešení od jednoho dodavatele s mnohaletou tradicí

Laserové technologie a měřicí systémy pro průmyslové aplikace, vědu a výzkum

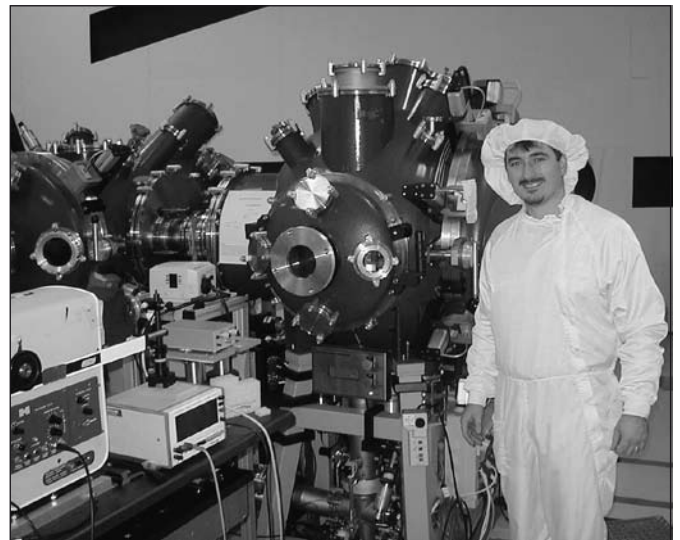
Předmětem podnikání firmy **LAO - průmyslové systémy, s.r.o.** je prodej laserových systémů, optiky a opto-mechaniky, optoelektronických a měřicích zařízení, kompletních technologických laserových systémů pro vědecké i průmyslové aplikace. A to včetně servisu a dodávek náhradních dílů a spotřebního materiálu. Dále nabízíme zakázkové značení a gravírování v naší aplikační laboratoři. Nicméně je nutné říci, že kontinuitu kvalitních služeb firmy LAO vždy zaručovali pracovníci, kteří mají několikaleté zkušenosti s laserovými a optickými aplikacemi, a to více než 17 let.

Základní oblasti aktivit naší společnosti jsou:

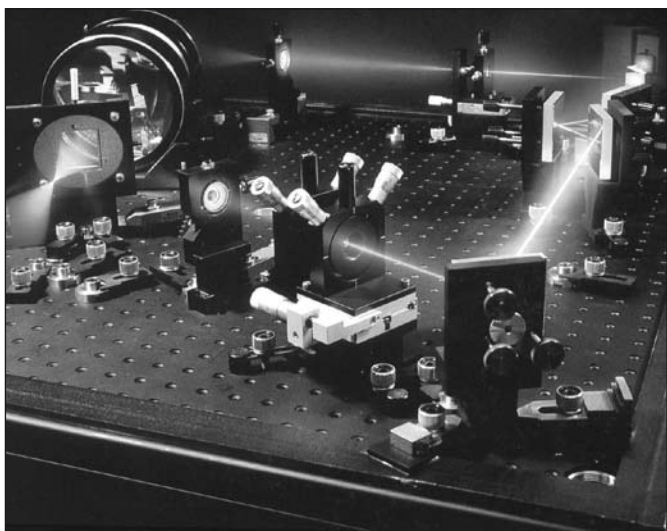
- **vědecké aplikace** - dodávky komponent a zařízení pro vědu a výzkum
- **průmyslové aplikace** - komplexní technologické řešení v oblasti průmyslových laserových aplikací –řezání, svařování, značení, vrtání, atd.
- **prodej náhradních dílů** - prodej náhradních dílů a spotřebního materiálu (optika, lampy, trysky...) pro laserové aplikace do průmyslu i vědy
- **servís a technická podpora** - servis a služby v oblasti školení, technické podpory a pravidelných prohlídek, školení bezpečnosti práce s lasery, atd.
- **zakázkové laserové aplikace** - zakázkové značení a gravírování do kovových i nekovových materiálů a vývoj speciálních aplikací

Snahou firmy LAO – průmyslové systémy, s.r.o. je dělat vše pro to, abychom maximálně a efektivně uspokojili požadavky a potřeby našich zákazníků a zůstali tak ve Vašem povědomí jako schopná a důvěryhodná firma, na kterou se vždy rádi obrátíte. Dokážeme

poradit s řešením dané aplikace, navrhnout vhodnou sestavu či pomůžeme s výběrem optimální technologie. Nabízíme kvalitní a prověřené produkty od světových dodavatelů. Zárukou kvality našich služeb je certifikace ISO 9001-2001, kterou jsme získali v roce 2005 a každoročně ji udržujeme.



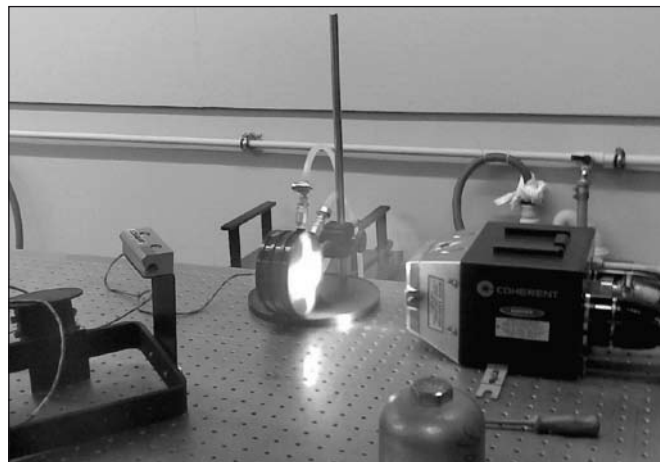
Instalace Streak kamery Hamamatsu na pracovišti PALS Ústavu fyziky plazmatu AV ČR pro detekci femtosekundových a picosekundových jevů



Ukázka optická sestavy s použitím jemných mechanických prvků a různé optiky

Vize do budoucnosti:

Hlavní prioritou firmy bude vysoká kvalita ve smyslu činností jednotlivých pracovníků i výstupních produktů. Naším záměrem je i nadále zůstat moderní a efektivně fungující firmou, ve které bude jasně definovaná struktura, odpovědnosti, pravomoci a procesy.



Měření výkonu 4kW diodového laseru firmy Coherent dodaného Západočeské univerzitě v Plzni pro aplikace povrchového kalení a nanášení vrstev

Naše hlavní námi nabízené produkty a aplikace

- Optoelektrické komponenty
- Optické a optomechanické prvky
- Oblast analytických přístrojů
- Měření vlastností povrchů
- Lasery a laserové systémy
- Měřicí přístroje a systémy
- Materiálový výzkum
- Světelné zdroje
- Zobrazovací spektrografy
- Vláknové spektrometry
- Monochromátory a spektrografy
- Detektory
- Systémy pro detekci
- Návrhy pro konkrétní aplikace
- Vláknové lasery
- Nd:YAG lasery
- CO₂ lasery
- Excimerové lasery
- Diodové lasery
- Řezací a svařovací hlavy
- Kompletní technologické systémy

Naši hlavní dodavatelé

- Coherent
- IPG Photonics
- GSI
- Precitec
- Winbro Group
- Sei laser
- Synrad
- II-VI
- LOT Oriel
- Hamamatsu
- Quantronix
- Quantel
- Melles Griot
- Zygo
- Lasos
- Lambda Physic
- Electrophysics
- Univet
- Andor Technology
- Ocean Optics

Veletrh „electronica & Productronica China 2009“

V šanghajském novém mezinárodním výstavním středisku se konal 17. – 19. března 2009 elektronický veletrh pod názvem „electronica & Productronica China 2009“ ve spolupráci s LASER World of PHOTONICS China a International Electronic Circuits Exhibition. Produkty elektronického průmyslu vystavených 306 výrobců shlédlo rekordních 28 tisíc návštěvníků. Na doprovodných konferencích vystoupili představitelé významných průmyslových podniků společ-

ností, aby pomohli svými znalostmi a zkušenostmi překonat následky ekonomické krize. Bylo zde možno na jednom místě shlédnout úplný přehled elektronických a fotonických součástek a výrobních zařízení, rovněž technické novinky z oblasti telekomunikací, spotřební elektroniky, průmyslových aplikací, výrobků pro automobilový průmysl a průmysl informačních technologií. Příští podobná výstava je plánována na 16. – 18. března 2010 na stejném místě.

Měření příkonového kritéria atypického listového míchadla při míchání modelové suspenze

Je uveden postup měření příkonové charakteristiky atypického listového míchadla v poloprovozním měřítku při míchání vody a modelové suspenze, připravené ze sladového šrotu o definované velikosti částic pro dvě hmotnostní koncentrace 10 % a 17 %. Byly zpracovány příkonové charakteristiky pro různé hodnoty objemu vody a modelových suspenzí, které prokázaly podstatný rozdíl v průběhu příkonové charakteristiky atypického listového míchadla oproti klasickému turbínovému míchadlu.

Klíčová slova: příkonová charakteristika, listové míchadlo, modelová suspenze, sladový šrot, rmut

1. ÚVOD

Z hlediska jednotkových operací lze výrobní procesy ve zpracovatelském průmyslu zpravidla rozdělit na procesy přenosu hmoty, procesy přenosu tepla v plynném/kapalném prostředí, difúzní procesy, dále na míchací, separační a dezintegrační procesy, případně na biochemické procesy, sušení a podobně. Pro správné dimenzování jednotlivých strojních prvků při konstrukci výrobního aparátu je nutná mimo jiné i znalost příkonu elektromotorů těchto míchadel. Pro konstrukci rychloběžných míchadel (např. turbínových) existují velmi dobré technické podklady, neboť příkonové charakteristiky těchto míchadel jsou zpracovány jako technické normy a jsou konstruktérům a projektantům k dispozici [1, 2, 3, 4]. Jiná situace je však při použití pomaluběžných listových nebo kotvových míchadel pro rozmíchání hustých suspenzí s vysokým podílem tuhé fáze, kde potřebné příkonové charakteristiky pro některé typy suspenzí neexistují. S takovým případem je možno se setkat např. v konstrukci varen pro pivovary, zejména rmutovacích pánví, ve kterých původně instalovaná rychloběžná míchadla nebyla schopna dokonale rozmíchat celý objem nádoby a navíc způsobovala ve rmutu nežádoucí střižné síly, které se pak negativně projeví v dalších fázích výroby, zejména ve zhoršení finální kvality výrobku. Proto byly provedeny experimentální práce pro stanovení příkonové charakteristiky listového míchadla při míchání vybrané modelové suspenze na čtvrtprovozním zařízení při různých poměrech plnění pokusné nádoby.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Pro výpočet příkonu geometricky podobných míchadel byla odvozena obecná bezrozměrná závislost [1, 2, 3]:

$$P_0 = f(\text{Re}), \quad (1)$$

kde příkonové kritérium P_0 je definováno vztahem:

$$P_0 = \frac{P}{\rho n^3 d^5}, \quad (2)$$

a Reynoldsovo kritérium je definováno následujícím vztahem:

$$\text{Re} = \frac{nd^2 \rho}{\mu}. \quad (3)$$

Grafický vztah závislosti $P_0 = f(\text{Re})$, se nazývá příkonová charakteristika, jejíž tvar v logaritmických závislostech je uveden na obr. 1. Z této charakteristiky je patrné, že v oblasti nízkých hodnot Reynoldsova kritéria, v tak zvané plouživé oblasti ($0 < \text{Re} <$

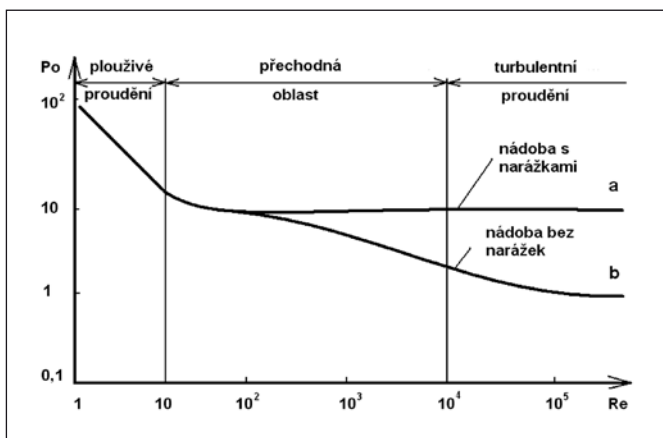
10) má průběh příkonu v logaritmických souřadnicích tvar přímky se směrnicí $k = -1$. Se zvětšující se hodnotou Reynoldsova kritéria ($10 < \text{Re} < 10^4$) se plouživá oblast mění na tak zvanou přechodnou oblast, v níž se obvykle příkonová charakteristika dělí do dvou větvi podle toho, zda je v nádobě vestavbou narážek potlačena tvorba středového víru, jedna větev odpovídá příkonu míchadla v nádobě s narážkami (větší příkon) a druhá je pro míchadlo v nádobě bez narážek. Pro hodnoty Reynoldsova kritéria $\text{Re} > 10^4$ je pak hodnota příkonového kritéria většiny rychloběžných míchadel zpravidla konstantní ($P_0 = \text{konst.}$) [2, 3]. Pro normalizovaná míchadla jsou uvedeny jejich příkonové charakteristiky např. v normě CVS 69 1001 [4]. Pro jiné typy míchadel, což je náš případ použití atypického pomaluběžného listového míchadla pro míchání suspenze s vyšším podílem tuhé fáze, je nutné průběh příkonové charakteristiky stanovit experimentálně. Pro měření příkonové charakteristiky je nutné vzít do úvahy, že příkonová charakteristika pro daný typ míchadla závisí nejenom na Reynoldsově kritériu, ale i na geometrii míchaného systému nádoba – míchadlo, která je charakterizovaná následnými geometrickými simplexými [2, 3, 4]:

$$D/d, H_1/D, H_2/D \text{ a případně dalšími.} \quad (4)$$

Pro porovnání energetické náročnosti míchání při použití jednotlivých typů míchadel se často používá měrný příkon ϵ_m , tj. příkon vztažený na jednotku hmotnosti vsádky [3, 4]:

$$\epsilon_m = \frac{P}{V_{su} \rho_{su}}. \quad (5)$$

Pro stanovení příkonové charakteristiky je známo více metod [2, 3, 4]. Jednou z nich je použití míchací stanice, sloužící k měření krouticího momentu na hřídeli míchadla při současném měření otáček. Z těchto hodnot je pak možno, za předpokladu znalosti hustoty a viskozity míchaného média, stanovit příkon míchadla. Míchací stanice se skládá z trojfázového regulačního komutátorového elektromotoru s regulačním transformátorem, kterým se plynule reguluje frekvence otáčení v požadovaném rozsahu, a dynamometru. Tento je tvořen torzním snímačem a elektronickým snímačem krouticího momentu a otáček. Torzní snímač je zabudován mezi elektromotor a hřídel míchadla a je tvořen torzní tyčí, která má na obou koncích generátory střídavého proudu. Při práci bez zatížení jsou střídavé proudy z obou generátorů ve fázi. Při zatížení hřídele krouticím momentem dojde k vzájemnému natočení rotorů generátorů o úhel zkroucení, který je úměrný krouticímu momentu. To se projeví fázovým posunem střídavého proudu z obou generátorů.



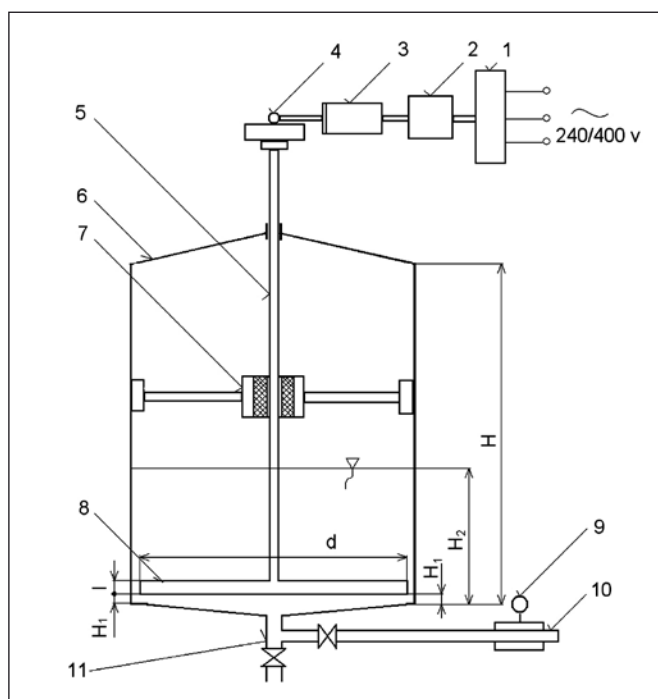
Obr. 1 Průběh příkonové charakteristiky rychloběžného míchadla

Tento signál je vyhodnocován v elektronické části dynamometru a na ukazovacích přístrojích je možno odečítat krouticí moment a frekvenci otáčení. Jiným způsobem měření příkonu elektromotoru míchadla je použití měřicí aparatury, snímající v nastavitelných časových úsecích (milisekundy až sekundy) všechny elektrické parametry elektrického proudu elektromotoru míchadla (napětí, proud, $\cos(\varphi)$, výkon činný, výkon zdánlivý a výkon jalový), z nich se vypočítá okamžitý elektrický výkon ve wattch. Z hlediska dostupnosti měřicích aparatur byla pro experimentální práci vybrána druhá varianta, tedy měření příkonu elektromotoru. Jako modelová suspenze se použil pivovarský rmut, což je vodní suspenze s rozemletým sladovým šrotem. Pro stanovení Reynoldsova kritéria je nutná znalost hustoty rmutu a viskozity míchaného rmutu; hustotu rmutu lze snadno změřit v běžné laboratoři, pro stanovení viskozity míchané suspenze je známo více metod. Znalost hodnoty dynamické viskozity sladu nebo rmutu je velmi důležitá, protože je jedním kvalitativním ukazatelem např. pivovarských surovin [5]. Stanovením viskozity rmutu se zabývala řada autorů, např. Hoog, Annemüller a Senge. Tito vyvinuli pro měření viskozity různých médií reometr typu „Physica Rheoswing RSD 1-1“, který si nechali patentovat [6]. Tento přístroj pracuje se zkrutnou rozkmitanou sondou ponořenou do měřené suspenze. Z průběhu tlumení kmitů této sondy lze stanovit viskozitu měřené suspenze. Na základě naměřených výsledků udávají autoři hodnotu dynamické viskozity $\mu = 10$ mPas pro suspenzi (sladový rmut) s obsahem 10 % tuhé fáze (hm.) a hustotou $\rho = 1020$ kgm⁻³, alternativně $\mu = 15$ mPas pro suspenzi s obsahem 17 % (hm.) tuhé fáze při hustotě $\rho = 1040$ kgm⁻³ [6]. Podobné hodnoty dynamické viskozity suspenze (pivovarského rmutu) udávají i další autoři, Götz, Schneider, Först a Weisser [7]. Tito vyvinuli pro měření dynamické viskozity suspenzí laboratorní měřicí systém pracující na principu komparativní magnetické rezonance a naměřili hodnoty dynamické viskozity suspenze (rmutu) při teplotě 20 °C při koncentraci tuhé fáze 10 % $\mu = 8 - 10$ mPas [8]. Další stanovení dynamické viskozity rmutu za použití různého poměru náhrady sladu za nesladovaný ječmen provedli Hermann a Sommer [9] a dále Declan, Wiltschko, Ulmere, Arendt z irské University College of Cork [10]. Všechny udávané hodnoty dynamické viskozity uvedených suspenzí navzájem korelují.

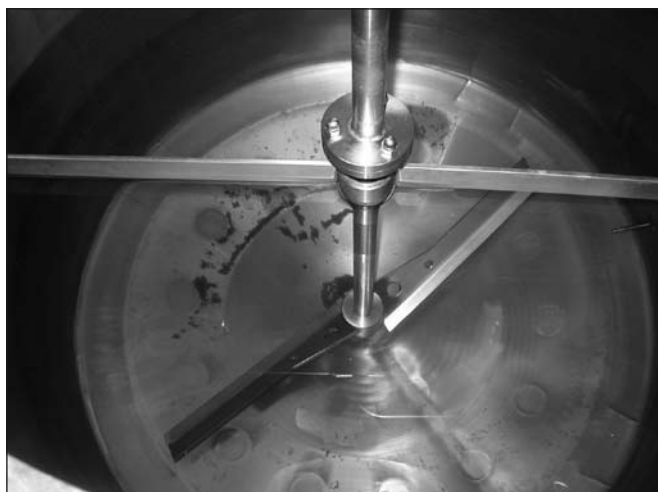
3. POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ

Pro vlastní měření příkonu míchadla byla použita stojatá nerezová nádoba bez nárazek o plnicím objemu 1,0 m³ (průměr $D = 1000$ mm, výška válcové části $H = 1440$ mm, celkový objem 1,13 m³), s mírně kuželovým dnem, jinak používaná jako mladinová pánev varny Výukového a výzkumného pivovaru České zemědělské univerzity v Praze. Výška spodní hrany míchadla ode dna nádoby byla $H_2 = 150$ mm. Schéma experimentální aparatury je uvedeno na obr. 2. Nádoba je vybavená atypickým nerezovým listovým míchadlem o průměru $d = 800$ mm, výška míchadla je $L = 75$ mm.

List tohoto míchadla nemá běžný sklon listových míchadel 90°, ale je lomený, první část tohoto listu je vodorovná a druhá část je skloněná pod úhlem 45°, takže při otáčení míchadla dochází k navedání částic suspenze a tím k jejímu šetrnému promíchání při snížení nežádoucích střížných sil. Další změnou oproti běžnému listovému míchadlu jsou dva otvory o průměru 30 mm v ploše poblíž středového hřídele, na ploše skloněné pod úhlem 45° (obr. 3). Pro náhon míchadla byl použit třífázový elektromotor SIEMENS, typ 3r 1LA7 106 6AA 11 UD 05 05 /2180307 - 1 se šnekovou převodovkou opatřený frekvenčním měničem OMRON typ 363 JV A - 4022 (Japonsko). Výstupní frekvence otáčení míchadla bylo možno regulovat v rozsahu 20 - 30 - 40 - 50 - 60 otáček za minutu, při frekvenci 10 otáček za minutu se míchadlo v suspenzi přestalo otáčet, a proto tato frekvence se pro experimentální práci nepoužila. Příkon míchadla byl snímán měřicí aparaturou



Obr. 2 Schéma experimentální aparatury pro stanovení příkonové charakteristiky, 1 – frekvenční měnič, 2 – měřicí souprava pro stanovení elektrického příkonu, 3 – elektromotor, 4 – šneková převodovka, 5 – hřídel míchadla, 6 – nerezová nádoba 1000 l, 7 – ložisko hřídele míchadla, 8 - listové míchadlo, 9 – indukční průtokoměr, 10 – přívod vody, 11 – odpad

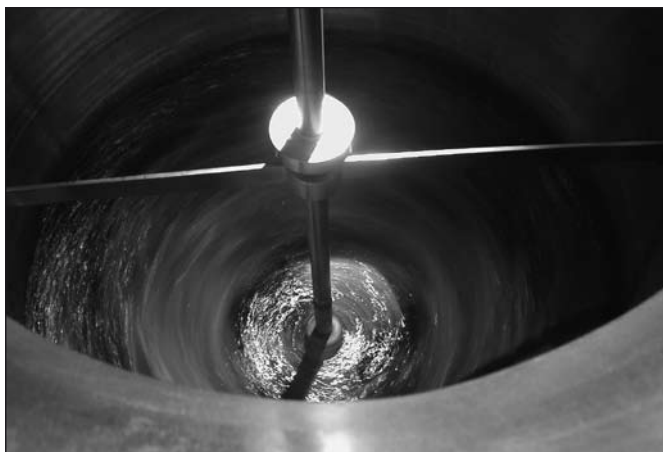


Obr. 3 Atypické listové míchadlo použité pro stanovení příkonu elektromotoru

typu NanoWin (Jižní Korea), určenou pro přesné stanovení všech parametrů elektrického proudu. Sledované parametry elektrického proudu (napětí, proud, $\cos \varphi$, výkon činný, výkon zdánlivý a výkon jalový) se snímaly a ukládaly do počítače, který je vyhodnotil v časovém úseku 2 sekundy a uložil do paměti. Pro eliminaci ztráty výkonu nutného pro překonání odporu všech ložisek elektromotoru, převodovky a hřídele byla provedena tato shodná měření příkonu elektromotoru v prázdné nádobě při všech použitých frekvencích otáček míchadla a zjištěný výkon byl vždy odečten z hodnot výkonu naměřených při stejné frekvenci a plném zatížení míchadla. Pro přípravu suspenze v různých hmotnostních koncentracích byl použit běžný sladový šrot připravovaný na dvouálcovém šrotovníku [11, 12]. Velikost štěrbin mezi oběma válci se regulačními šrouby nastavila na 0,6 mm, tato hodnota byla po celé délce mlecího válce po každém mletí kontrolována lístkovou měrkou. Složení velikosti částic namletého sladového šrotu byla stanovena obvyklou síťovou analýzou na doporučeném pfungstadském vibračním sítu [13], výsledky této analýzy jsou uvedeny v tabulce 1. Množství vody přiváděné do nádoby se snímalo magneticko-indukčním průtokoměrem OPTIFLUX 6300C DN 40 od firmy Krohne CZ, jeho výrobce zaručuje maximální plusovou odchylku +0,04% a minusovou odchylku -0,06% od správné hodnoty průtoku. Teplota média se udržovala na hodnotě 20 °C, tato hodnota byla sledována teplotovým čidlem Pt 100, jehož údaj se vyhodnocoval teplotním digitálním regulátorem Logitron, typ XT 110 C. Pro kontrolu frekvence otáčení listového míchadla, nastaveného frekvenčním měničem, byl použit mechanický otáčkoměr. Na obr. 4 je patrný průběh míchání suspenze při objemu 500l a nejvyšší frekvenci otáčení míchadla 1 s⁻¹ (60 min⁻¹).

Tabulka 1 Výsledky síťové analýzy rozemletého sladu na pfungstadském prosévadle

číslo síta	velikost otvorů	počet otvorů na 1 cm ²	Název	Podíl
[1]	[mm]	[1]		[%]
1	1,27	36	Pluchy	27
2	1,01	64	Hrubá krupice	16,1
3	0,547	196	Jemná krupice I	15,9
4	0,253	961	Jemná krupice II	15,5
5	0,152	2 704	Mouka	6,5
Dno			Moučka	19
Celkem				100



Obr. 4 Průběh míchání suspenze při frekvenci otáčení 1 s⁻¹ (60 l/min), V = 500 l

4. VÝSLEDKY A DISKUSE

V tabulce 2 jsou uvedeny vypočítané hodnoty Reynoldsova kritéria pro vodu v rozsahu frekvence otáčení 0,166 až 1 s⁻¹, v dalších tabulkách 3 a 4 jsou hodnoty Reynoldsova kritéria znázorněny pro suspenze o koncentraci 10 % a 17 %. Z uvedených hodnot Reynoldsova kritéria je patrné, že se jedná o turbulentní míchání ($Re = 7,3 \cdot 10^3$ až $6,41 \cdot 10^5$). Hodnoty dynamické viskozity a hustoty suspenzí a vody byly vzaty z literatury [8, 9, 10].

Tabulka 2 Výpočet Reynoldsova kritéria pro vodu 20 °C

č. měření	Frekvence otáčení	Průměr míchadla	Dyn. viskozita	hustota	Re
	[s ⁻¹]	[m]	[Pa s]	[kgm ⁻³]	[1]
1	0,166	0,8	0,001	1002	1,06 10 ⁵
2	0,33	0,8	0,001	1002	2,11 10 ⁵
3	0,5	0,8	0,001	1002	3,2 10 ⁵
4	0,66	0,8	0,001	1002	4,23 10 ⁵
5	0,83	0,8	0,001	1002	5,32 10 ⁵
6	1	0,8	0,001	1002	6,41 10 ⁵

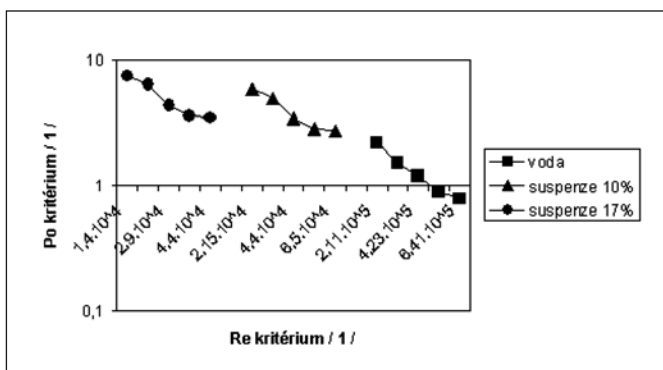
Tabulka 3 Výpočet Reynoldsova kritéria pro suspenze 10 % (hm.), teplota 20 °C

č. měření	frekvence otáčení	Průměr míchadla	dyn. viskozita	hustota	Re
	[s ⁻¹]	[m]	[Pa s]	[kgm ⁻³]	[1]
1	0,166	0,8	0,01	1020	1,08 10 ⁴
2	0,33	0,8	0,01	1020	2,15 10 ⁴
3	0,5	0,8	0,01	1020	3,26 10 ⁴
4	0,66	0,8	0,01	1020	4,3 10 ⁴
5	0,83	0,8	0,01	1020	5,4 10 ⁴
6	1	0,8	0,01	1020	6,5 10 ⁴

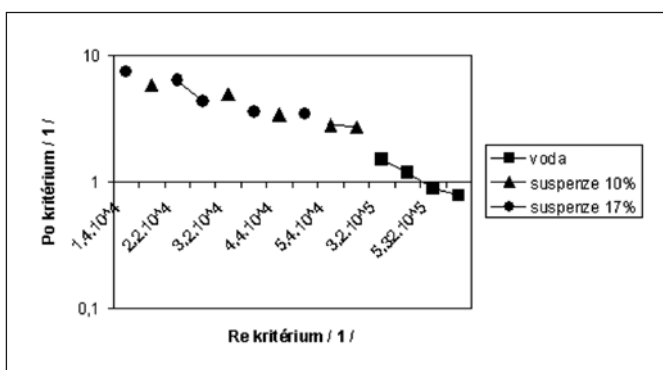
Tabulka 4 Výpočet Reynoldsova kritéria pro suspenze 17 % (hm.), teplota 20 °C

č. měření	frekvence otáčení	Průměr míchadla	dyn. viskozita	hustota	Re
	[s ⁻¹]	[m]	[Pa s]	[kgm ⁻³]	[1]
1	0,166	0,8	0,015	1040	7,3 10 ³
2	0,33	0,8	0,015	1040	1,4 10 ⁴
3	0,5	0,8	0,015	1040	2,2 10 ⁴
4	0,66	0,8	0,015	1040	2,9 10 ⁴
5	0,83	0,8	0,015	1040	3,6 10 ⁴
6	1	0,8	0,015	1040	4,4 10 ⁴

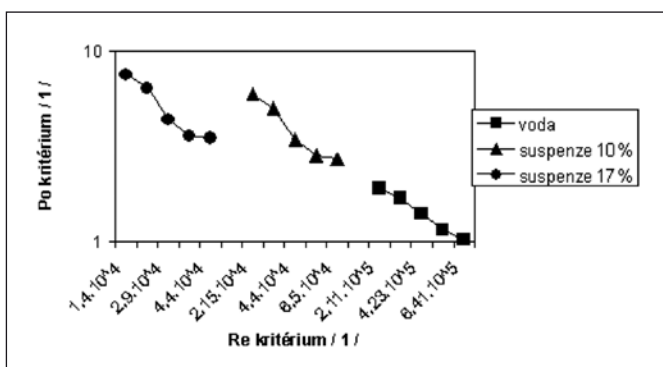
V následujících obrázcích 6, 7 a 8 jsou uvedeny průběhy příkonového kritéria v závislosti na Reynoldsově kritériu a simplexu H_1/D při konstantních hodnotách simplexů H_2/D a D/d . Z obrázku 5, na kterém jsou znázorněny výsledky z měření $V = 2001$ a $H_1/D = 0,25$, je zřejmé, že hodnoty příkonového kritéria při míchání vody (objem suspenze $V = 2001$, simplex) při hodnotách Reynoldsova kritéria $4,23 \cdot 10^5$ až $6,41 \cdot 10^5$ leží v rozsahu $1 < P_0 < 8$, zatímco u rych-



Obr. 5 Příkonové kritérium atypického listového míchadla v závislosti na Reynoldsově kritériu – objem 200 l, $H_1/D = 0,25^\circ$, $H_2/D = 0,25$, $D/d = 1,25$



Obr. 6 Příkonové kritérium v závislosti na Reynoldsově kritériu – objem 500 l, $H_1/D = 0,64$, $H_2/D = 0,25$, $D/d = 1,25$



Obr. 7 Příkonové kritérium atypického listového míchadla v závislosti na Reynoldsově kritériu – objem 1 000 l, $H_1/D = 1,28$, $H_2/D = 0,25$, $D/d = 1,25$

loběžného míchadla hodnoty příkonového kritéria jsou podstatně nižší a téměř konstantní, přibližně $P_0 = 1$, jak je patrné z obrázku 1. Stejný trend byl naměřen u obou suspenzí (10 % a 17 % hm.), kde se hodnoty příkonového kritéria pohybovaly v rozsahu $8 < P_0 < 4$ (suspenze 10 % hm.) pro Reynoldsovo kritérium v rozsahu $1,4 \cdot 10^4 < Re < 4,4 \cdot 10^4$, alternativně $6 < P_0 < 9$ (suspenze 17 % hm.) a rozsah $2,15 \cdot 10^4 < Re < 6,5 \cdot 10^4$. Obdobné výsledky potvrzují i další měření suspenzí o objemu $V = 500$ l, simplex $H_1/D = 0,64$ (obr. 6) a objemu $V = 1 000$ l, simplex $H_1/D = 1,28$, zobrazené na obr. 7. Při všech těchto měřeních byl zjištěn pokles hodnot příkonového kritéria ($3 < P_0 < 9$) v závislosti na rostoucí hodnotě Reynoldsova kritéria ($1,4 \cdot 10^4 < Re < 6,5 \cdot 10^4$). Tím se prokazuje podstatný rozdíl chování atypického listového míchadla oproti klasickému turbínovému míchadlu, kde

P_0 kritérium pro rozsah $Re > 10^4$ a pro nádoby bez narážek nabývá hodnot přibližně $P_0 < 3$ (obr. 1). Tento zajímavý poznatek bude dále studován i při použití jiných modelových suspenzí s tímto typem míchadla, případně s jeho upraveným tvarem.

Seznam použitých symbolů

d	– průměr míchadla	[m]
D	– průměr nádoby	[m]
L	– výška míchadla	[m]
H	– výška nádoby	[m]
H_1	– výška hladiny v nádobě	[m]
H_2	– výška dolní hrany míchadla ke dnu nádoby	[m]
n	– frekvence otáčení míchadla	[s ⁻¹]
P	– příkon elektromotoru míchadla	[W]
P_0	– příkonové kritérium	[1]
Re	– Reynoldsovo kritérium	[1]
V_{susp}	– objem suspenze	[m ³]
$\varepsilon^{\text{susp}}$	– měrný příkon	[Wkg ⁻¹]
ρ	– hustota	[kgm ⁻³]
η	– dynamická viskozita	[Pa s]
η_{susp}	– dynamická viskozita suspenze	[Pa s]
ρ	– hustota kapaliny	[kgm ⁻³]
ρ_{susp}	– hustota suspenze	[kgm ⁻³]

Literatura

- [1] Novák, V., Rieger, F., Vavro, K.: *Hydraulické pochody v chemickém a potravinářském průmyslu*. SNTL, Praha 1989.
- [2] Šesták, J. a kol.: *Tepelné pochody - transportní a termodynamická data*. Skriptum ČVUT FSI, Praha 1993.
- [3] Ambros, F., Dufek, M.: *Experimentální metody (cvičení)*. Skriptum ČVUT FSI, Praha 1991.
- [4] CVS 69 1001 *Míchačí zařízení. Výpočet příkonu rotačních míchadel kapalin*. Norma sdružení CheVess, Brno 1992.
- [5] Kunze, W.: *Technology of Brewing and Malting*, 2nd edition, VLB Berlin, Germany 1999, ISBN 3-921 690-49-8.
- [6] Hoog, D., Annemüller, G., Blochwitz, R., Böhm, W.: „*Verfahren zur Kontrolle des Maischprozesses sowie Qualitätssicherung angelieferter Malzes*“, Patentanmeldung P 443 712 6.8 vom 5. 10. 1994 am Deutschen Patentamt.
- [7] Götz, J., Schneider, J., Först, P., Weisser, H.: „*A comparative nuclear magnetic resonance and rheological Study on Mash and spent grain Suspensions, Worts and carbohydrate Solutions*“, Journal of American Society of Brewing Chemists, 61, 37-47, 2003, ISSN 0361-0470.
- [8] Hoog, D., Annemüller, G., Senge, B.: *Rheologische Kontrolle des großtechnischen Maischprozesses*, Brauwelt 138, 1998, č. 19, s. 858, ISSN 0724-696.
- [9] Hermann, J., Sommer, K.: *Development of a measuring system for determining mash rheology*, Proceeding of the 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure, Zurich, Switzerland 2003.
- [10] Declan, L.G., Wiltshko, E., Ulmer, H. M., Arendt, E.K.: *Application of the rapid Visco analyser as a rheological tool for the characterisation of mash viscosity as affected by the level of barely adjunct*, Journal of the Institute of Brewing, Vol. 111, No 2, 2005, pp. 165 – 175, ISSN 0046-9750.
- [11] Manger, H.J.: „*Planung von Anlagen für die Gärungs- und Getränkeindustrie*“ VLB Berlin, 1999. ISBN 3 -921 690 - 38 - 2.
- [12] Chládek, L.: „*Přivovarnictví*“, nakladatelství Grada, Praha 2007, ISBN 978 - 80 - 247 - 1616 - 9.
- [13] Kosař, K. a kol.: „*Technologie výroby piva a sladu*, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha 2000, ISBN 80 - 902 658 - 6 - 3.

Přístroje pro laserovou litografii nové generace

3D strukturalizace v nanooblasti vyžaduje polohování s vysokou přesností

Laserová litografie je klíčovou technologií pro mnoho oborů dnešní doby. Typickými příklady jsou mikro a nanoelektronika, mikro a nanofluidika, fotonika nebo biotechnologie. Dosud běžné postupy, s jejichž pomocí se dají vytvářet dvourozměrné (případně i dvou a půl rozměrné, pokud vezmeme v úvahu tloušťku vrstvy) struktury ve světlocitlivých materiálech, dosahují jak ve výzkumu, tak v průmyslu hranice svých možností. Ale ani v oblasti laserové litografie se vývoj nezastavil. Pomocí nového postupu je poprvé možné vytvářet také velmi komplexní třírozměrné mikro a nanostruktury ve světlocitlivých materiálech.

Po šesti letech intenzivní výzkumné práce na Institutu nanotechnologií Výzkumného centra Karlsruhe a na Institutu aplikované fyziky Univerzity Karlsruhe (TH) byla založena společnost Nanoscribe GmbH se sídlem v Eggensteínu-Leopoldshafenu. Kromě inovačních přístrojů pro 3D-laserovou litografii nabízí angažování mladí podnikatelé svým zákazníkům také služby jako např. návrh a výrobu vzorků nebo implementace materiálu (např. křemíku). Při této činnosti mají podporu kompetentního partnera. Optický koncern Carl Zeiss má zájem na potenciálu nového podniku a podporuje jej jak dodávkami know-how, tak investicemi.



Obr. 1 Systém pro laserovou litografii pro výrobu třírozměrných mikro a nanostruktur (foto: Nanoscribe)

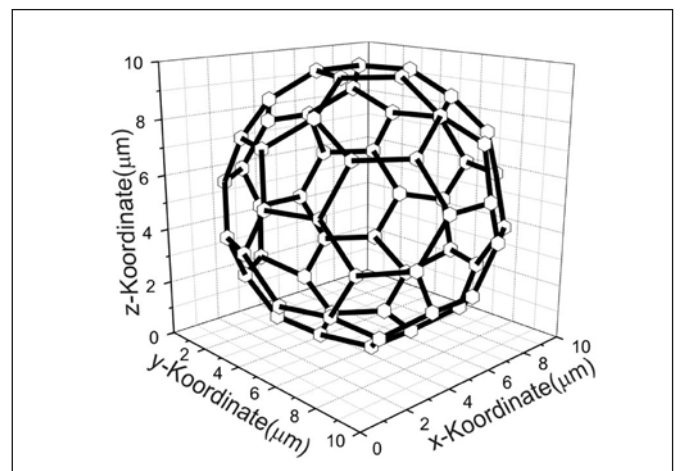
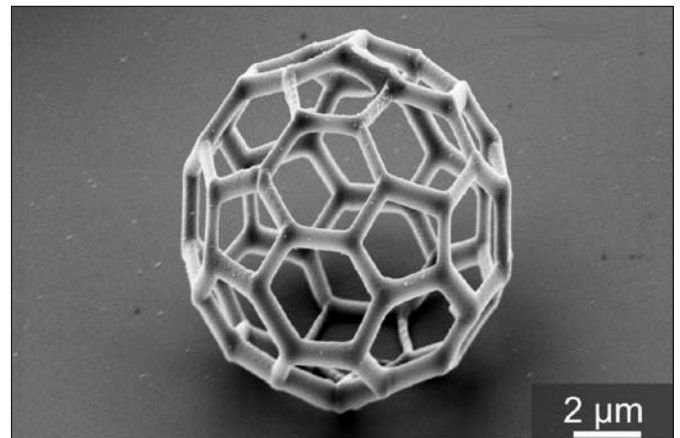
Psaní laserovou tužkou

Perspektivní je nový postup v 3D-litografii, který Nanoscribe uvedl na trh. Tento postup umožňuje realizovat zcela automaticky takřka libovolné trojrozměrné mikro a nanostruktury, tak jak to požadují optické technologie budoucnosti. Funkci litografického postupu, který pracuje s celou řadou komerčně dostupných fotolaků, je možné snadno pochopit. Princip je srovnatelný s vnitřním rytím skla. Silnou fokusací ultrakrátkých pulzů je materiál osvětlen v ohnisku v důsledku nelineárního procesu. Podobně jako jakási tužka vedená ve třech rozměrech opisuje laserový paprsek v materiálu libovolné dráhy. Šířka čáry dosahuje od několika mikrometrů až po 150 nm, přičemž je možné popsat objem o rozměrech 300 μm x 300 μm x 80 μm v závislosti na volbě mikroskopového objektivu a konfiguraci skeneru. Systém může být případně přizpůsoben také na větší objemy nebo šířky čar. Dosažitelná opakovatelnost je nižší než 5 nm.

Přesné polohování předmětu vůči laserovému paprsku

Při psaní zůstávají laser a ohnisko nepohyblivé, zatímco se předmět, případně vzorek, pohybuje, jak to odpovídá zadané třírozměrné úloze. Tím je možné dosáhnout kvalitních výsledků (obr. 2). Řízení pohybu je však velmi náročné, protože nestačí pouze přesně najet do zadaných poloh. Požaduje se regulace pohybu na celé dráze s vysokou přesností a přirozeně také intenzita laseru musí být přizpůsobena zrychlení nebo zpomalení posuvu a také musí být proměnná, aby bylo možné regulovat šířku čáry, případně čáru přerušit (například při vytváření čárkované čáry). „Pro jemné polohování vzorků, které je při laserovém popisu nutné, jsme našli kompetentního partnera ve firmě Physik Instrumente (PI)“, vysvětluje Martin Hermatschweiler (obr. 3), jednatel firmy Nanoscribe GmbH. „Polohovací systém firmy se sídlem v Karlsruhe se stal klíčovou součástí našeho litografu. Piezoelektrický posuv (viz. rámeček) je možné

měrné úloze. Tím je možné dosáhnout kvalitních výsledků (obr. 2). Řízení pohybu je však velmi náročné, protože nestačí pouze přesně najet do zadaných poloh. Požaduje se regulace pohybu na celé dráze s vysokou přesností a přirozeně také intenzita laseru musí být přizpůsobena zrychlení nebo zpomalení posuvu a také musí být proměnná, aby bylo možné regulovat šířku čáry, případně čáru přerušit (například při vytváření čárkované čáry). „Pro jemné polohování vzorků, které je při laserovém popisu nutné, jsme našli kompetentního partnera ve firmě Physik Instrumente (PI)“, vysvětluje Martin Hermatschweiler (obr. 3), jednatel firmy Nanoscribe GmbH. „Polohovací systém firmy se sídlem v Karlsruhe se stal klíčovou součástí našeho litografu. Piezoelektrický posuv (viz. rámeček) je možné



Obr. 2 Nový litografický postup je perspektivní metoda, umožňující vyrábět komplexní třírozměrné mikro a nanostruktury ve světlocitlivých materiálech (a). Data se mohou exportovat přímo z CAD systému (b) (foto: Nanoscribe)

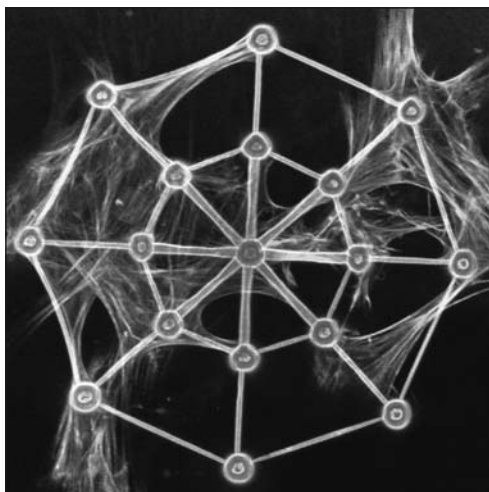


Obr. 3 Martin Hermatschweiler, jednatel společnosti Nanoscribe GmbH. „ Pro jemné polohování vzorků, které je při laserovém popisu nutné, jsme našli kompetentního partnera ve firmě Physik Instrumente (PI). Polohovací systém firmy se sídlem v Karlsruhe se stal klíčovou součástí našeho litografu.“ (foto: Nanoscribe)

umístit na mikroskopový skenovací x, y stolek, který se používá pro hrubé nastavení. Pracuje v rozsahu $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$, přičemž opakovatelnost se pohybuje v oblasti nanometrů“.

Nové perspektivy pro různé oblasti aplikace

Pro mnoho aplikací se otevírají nové perspektivy. Typickou oblastí pro použití nové technologie je např. výroba třírozměrných konstrukcí v buněčné biologii (obr. 4). Nakonec život se odehrává v „3D“. Při zkoumání kmenových buněk je potvrzené, že diferenciaci buněk, kromě vhodného chemického okolí, podstatně ovlivňuje

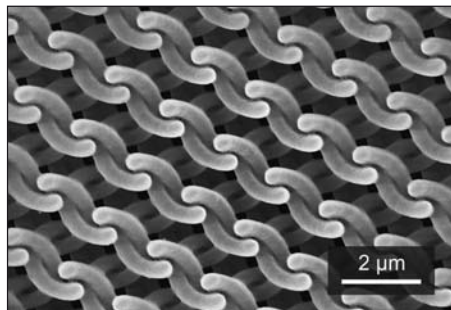


Obr. 4 Kontrukce pro buněčnou biologii vyrobená pomocí 3D litografie (foto: Nanoscribe)

také geometrické okolí. Vliv fyzikálních parametrů jako geometrie a tuhost třírozměrné umělé extracelulární matice může být cíleně zkoumán pouze díky technologii Nanoscribe. Také při výrobě mikrooptických stavebních prvků nebo fotonických krystalů se novému postupu laserové litografie otevírají mnohé oblasti použití (obr. 5). Krystaly mohou cíleně kontrolovat šíření světla a v budoucnosti najdou uplatnění v laserech, optických filtrech, vlnovodech, polarizátorech, děličích světla, navazovačích nebo snímačích. Kromě toho jsou přístroje pro 3D litografii vhodnými nástroji pro výrobu prototypů a malých sérií mikro a nanofluidických systémů.

Uživatelsky orientovaný software

Přítom zacházení s novou technologií je jednoduché a praktické: požadovaná struktura může být navržena a exportována každým CAD software, který podporuje formát DXF, případně pomocí speciálně vyvinutého skriptového jazyka GWL, který je přizpůsoben potřebám 3D strukturalizace. Vyvinutý postup je víceúčelový, takže jeho použití není omezeno na výrobu třírozměrných struktur. Také v současné době běžné 2D nebo 2[~]D struktury je možné vytvářet, ovšem s podstatně vyšším rozlišením než je tomu u běžných přístrojů.



Obr. 5 Také při výrobě mikrooptických stavebních prvků nebo fotonických krystalů se novému postupu laserové litografie otevírají mnohé oblasti použití (foto: Nanoscribe)

Paralelní vícenásobný kinematický systém s paralelní metrologií

Jemné nastavení vzorků vyrobených pomocí laserové litografie provádí piezoelektrický nanoposuv firmy Physik Instrumente (PI), Karlsruhe (obr. 6). K vysoké přesnosti nastavení přispívá sestava - paralelní vícenásobný kinematický systém: hnací silou nanoposuvů jsou předpjaté vysokovýkonné piezoelektrické jednotky s vysokou životností, které jsou částí paralelního kinematického vodícího systému, který je bez tření a je vybaven klouby.

Všechny piezoelektrické jednotky působí na centrální základnu. Tak lze docílit identické dynamické chování pro všechny osy. U 3D litografie je to zejména výhodné, protože vzorky mohou mít různou strukturu. Jedna „pomalejší“ osa, která např. při řádkovém skenování nepředstavuje žádný problém, by se projevila negativně. Kromě toho působí senzorika ve všech regulovaných stupních volnosti současně. Touto paralelní metrologií je možné aktivně zabránit přeslechům mezi osami a chybám při vedení. Pozitivně je ovlivněna také přesnost dráhy a opakovatelnost. Řízení dráhy se provádí pomocí řídicí jednotky, která je provedena jako zásuvná deska PCI. Podobně jako polohovací systém je řídicí jednotka výrobkem firmy PI a je sladěna s paralelními kinematickými piezoelektrickými polohovacími systémy.



Obr. 6 Nano-posuvný systém P-563.3CD s digitální PC plug in řídicí jednotkou E-761 (vpředu) je vhodný pro aplikace na základě své vysoké přesnosti polohování a rozsahu posuvu $300 \mu\text{m}$ ve třech osách. (foto: Physik Instrumente (PI))

Text: Ing. Steffen Arnold, vedoucí oddělení „trh a odbyt“ firmy Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Ellen-Christine Reiff, M.A., redakce Stutensee. Přeložil: RNDr. Pavel Pavlíček, Ph.D.

Další informace k tomuto tématu najdete na: www.physikinstrumente.de a www.nanoscribe.de

CONTENTS

Laser World of Photonics (A. Präg) 131

Discharge pumped Pr: YalO3 laser generating visible radiation (M. Fibrich, H. Jelínková, J. Šulc, A. Novotný, K. Nejezchleb, V. Škoda)..... 132

A successful generation of Pr: YalO3 (Pr:YAP) laser visible radiation 747 nm and 662 nm was achieved under room temperature. Discharge-pumped Pr:YAP laser was working in pulse and free-generation regimes. A steady laser action occurs when using a special plane glass colour UV filter placed inside laser cavity. Maximal output pulse energy 102 mJ was generated at the wavelength 747 nm with corresponding pulse duration 92 μ s. Inserting the diaphragm inside the resonance cavity it was possible to obtain a beam quality described by the parameter $M^2 \sim 1.2$. In the case of 662nm laser emission the corresponding parameters are 6.1 mJ, 47.5 μ s a $M^2 \sim 1,5$ (without resonator diaphragm). The shape and width of spectral line are stabilised in both cases for various pumping power. Keywords: Pr: YalO3 laser, discharge-pumping, colour UV filter

Third SPIE Europe Symposium on „Optics and Optoelectronics“ (P. Tománek)..... 137

Prague Congress Centre hosted recently more than 460 scientists from 47 countries, which have taken part in third SPIE Europe Symposium on Optics and Optoelectronics (20-23 April 2009). They answered to the invitation, and the most important optical event ever organised in the Czech Republic has been born. The excellent and exciting plenary talks on Hot topics in Optics were followed by successful ten conferences on Metamaterials, Nonlinear optics and Applications, Photon Counting applications, Quantum optics and Quantum Cryptography, Adaptive optics for Laser Systems and Other Applications, Optical Sensors, Damage to VUV, EUV and X-Ray Optics, Photonic Crystal Fibers, Holography. The importance of the Symposium was enhanced by presence of SPIE President Prof. Maria Yzuel.

3D holographic generation: an overview (M. Škereň, P. Fiala) 139

The article is an overview of basic findings used in classical holography recording. It summarises the holography methods for generating 3D pictures and various approaches evolved during the last 50 years. It also can serve as an introduction to more specific presentations dealing with actually employed design and construction hologram techniques.

Hybrid aplanatic optical systems (J. Hopp, P. Fiala)..... 144

A method of optical design of hybrid optical systems by utilization the

aplanatic condition is introduced here. The aplanatic condition was taken as a main optimizing criterion for the design of phase functions of diffractive optical elements during the optimization procedure. The phase function of the diffractive element can be arbitrary. We don't restrict ourselves to diffractive optical elements with a spherical phase function. Several hybrid optical systems, in particular hybrid doublets and hybrid triplets, consisting of one diffractive element and one or two refractive lenses, were designed and analyzed by this method.

Keywords – optical design, diffractive optical element, hybrid optical system, aplanatism.

Doc. Ing. Josef Zicha, CSc.'s anniversary (J. Hošek, V. Šulc)..... 148

CONTROL 2009 (J. Kür)..... 149

Production and research program in CRYTUR, spol. s r.o. (A. Blažek, K. Blažek, J. Houžvička, K. Nejezchleb) 150

LAO company: Complex solution from single supplier with many years of tradition 152

Fair-trade “electronica & Productronica China 2009” 153

The determination of power characteristic of the atypical blade stirrer during mixing of model suspension (L. Chládek, M. Příklad, J. Zeman)..... 154

The way of determination of the power characteristic of blade stirrer during mixing of water and model suspension in pilot plant is described. The model suspension (concentration 10% and 17% (w/w)) was prepared using crashed malt with a defined particle sizes. The experimental tests with different volumes of water and model suspensions were carried out, power characteristics of the atypical blade stirrer calculated, obtained results showed quite different course of power characteristic of blade stirrer compared with a turbo-stirrer.

Keywords: power characteristic, blade stirrer, suspension, malt crash, mash

New generation instruments for laser lithography 158

Laser lithography is a crucial technology for a number of today production activities. Typical examples are micro and nanoelectronics, micro and nanofluidics, photonics and biotechnology. Current procedures for creation 2D structures (or 2.5D ones considering the layer thickness) in sensitive to light materials are at the edge of their limits both in the research and industry. But a progress in lithography is also not yet abandoned, using the new procedure it is for the first time possible to build up the very complex 3D micro and nanostructures in sensitive to light materials.

LAO PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY, S.R.O.

- ☑ Bohatý rozsah produktů a služeb
- ☑ Již 17 let zkušeností
- ☑ Zákaznická řešení

- ☑ Technická podpora a lokální servis
- ☑ Individuální přístup ke každému zákazníkovi

VĚDECKÉ APLIKACE

POLOHOVÁNÍ

- nanopolohovací systémy, optické stoly, interferometry pro přesné odměřování vzdáleností

SPEKTROSKOPIE

- monochromátory, spektrometry, světelné zdroje, optická vlákna, filtry

DETEKCE A ZOBRAZOVÁNÍ

- fotodiody, fotonásobiče, CCD, ICCD, EMCCD, InGaAs kamery, X-ray a CT systémy

TENKÉ VRSTVY A POVRCHY

- elipsometry, profiloměry, AFM systémy, nano a mikro tvrdoměry

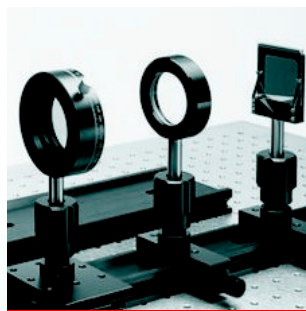
FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

- magnetometry, supravodivé magnety a kryostaty

PRODUKTY PRO VĚDU A VÝZKUM



OPTIKA



OPTOMECHANIKA



DETEKTORY



LASERY



MĚŘICÍ PŘÍSROJE

PRŮMYSLOVÉ APLIKACE

LASEROVÉ TECHNOLOGIE



SVAŘOVÁNÍ



ŘEZÁNÍ



VRTÁNÍ



KALENÍ, NANÁŠENÍ

STANDARDNÍ SYSTÉMY
ZÁKAZNICKÁ ŘEŠENÍ
AUTOMATIZOVANÉ
SYSTÉMY
INTEGRACE
PŘÍSLUŠENSTVÍ
SERVIS
SPOTŘEBNÍ MATERIÁL
NÁHRADNÍ DÍLY
ŠKOLENÍ

ZAKÁZKOVÉ SLUŽBY:
GRAVÍROVÁNÍ
ZNAČENÍ A POPIS
ŘEZÁNÍ, VRTÁNÍ
KALENÍ
RAZNÍKY A FORMY...



Na Floře 1328/4, 143 00 Praha 4, tel.: 241 046 800
e-mail: laser@lao.cz, www.lao.cz



ISO 9001:2001



Crytur, spol. s r.o.

Vývoj a výroba

- monokrystalických materiálů
- laserových tyčí a laserových komponent
- napařování a naprašování optických komponent
- zobrazovacích systémů s vysokým rozlišením pro detekci α , β , γ , X-ray, UV, VUV
- detektorů ionizujícího záření
- safírových profilů a termočlávkových pouzder
- přesné opracování monokrystalických materiálů a keramiky
- montáže v čistých prostorech



Crytur, spol. s r.o., Palackého 175, CZ-511 01, Turnov, Czech Republic
Tel. +420 481 319 511, FAX: +420 481 322 323, e-mail: crytur@crytur.cz

www.crytur.com