

2
2006

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS

**OCULUS, spol. s r.o. je výhradním
zástupcem japonské firmy NIDEK pro ČR**



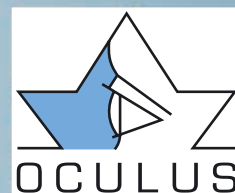
**DODAVATEL VYŠETŘOVACÍCH
PŘÍSTROJŮ A POMŮCEK
PRO OFTALMOLOGII
A OČNÍ OPTIKU**

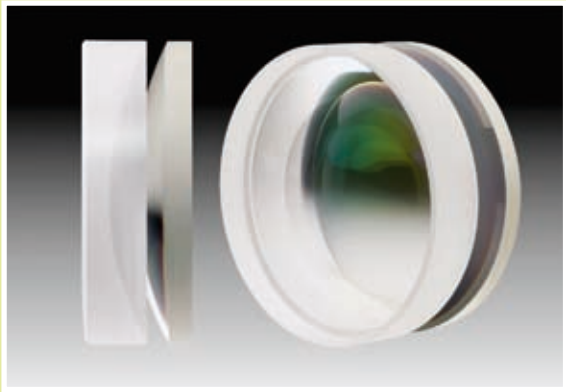
vystavujeme na výstavě **OPTA 2006**
pavilon V stánek 075



**AUTOREFRAKTO/KERATOMETR
A BEZKONTAKTNÍ TONOMETR
V JEDINÉM PŘÍSTROJI!**

OCULUS, spol. s r.o.
Pardubická 765, 500 04 Hradec Králové
tel./fax: 495 531 140 email: oculus@oculus.cz www.oculus.cz



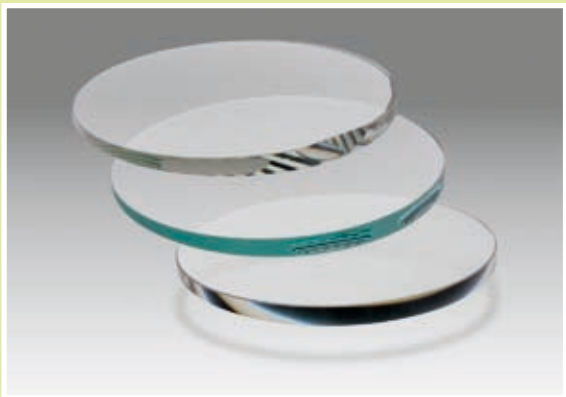


D I O P T R A



DIOPTRA a. s. TURNOV NABÍZÍ:

- zakázkovou optiku dle domluvy nebo výkresové dokumentace
- asférické a další speciální čočky např. pro automobilový a letecký průmysl nebo pro efektní osvětlovací zařízení apod.
- lupy ruční i stojánkové - od průměru 16 mm do 180 mm
- lupy s osvětlením a svítidla - s halogenovými, zářivkovými i LED diodovými zdroji světla



KONTAKTY:

Dioptra, a. s. Turnov
Sobotecká 1660
511 21 Turnov
Česká republika

telefon - příjem objednávek - velkoobchod:
00420 / 481 358 244

fax - příjem objednávek - velkoobchod:
00420 / 481 323 200

telefon - zakázková optika - technické informace:
00420 / 481 358 208, 00420 / 481 358 285

telefon - příjem objednávek - lupy, svítidla + technické informace:
00420 / 481 358 282, 00420 / 481 358 290

fax - příjem objednávek - lupy, svítidla a ostatní:
00420 / 481 322 761

telefon - spojovatelka: 00420 / 481 358 111
internet: www.dioptra.cz, e-mail: postbox@dioptra.cz

REDAKČNÍ RADA

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

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, doc. Dr. RNDr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, RNDr. Vojtěch KRĚSÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, a.s., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, a.s., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDERÁKOVÁ, CSc., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

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

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

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

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

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

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

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

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

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

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

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

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

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2006

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 51 2/2006

OBSAH

Dvě výročí Dioptry (J. Kalina)	31
... kde někteří končí, KONVEX - Recept optika s.r.o. ještě pokračuje! (J. Brožek, V. Pavlas)	31
Měření kvality asférických optických ploch (J. Hošek)	33
Internet a laboratoře integrované automatizace (F. Hruška)	43
Tepelné značky a jejich využití v mikrofluidice (M. Adámek, L. Macků)	46
Studium optometrie na Univerzitě Palackého (J. Wagner, F. Pluháček)	50
Komora s kontrolovanou atmosférou pro projekt AIRFLY (V. Vacek, M. Doubrava, L. Nožka, M. Hrabovský, J. Řídký, P. Schovánek, M. Palatka, M. Boháčová, M. Pech, D. Mandát)	51
OCULUS – Váš spolehlivý dlouholetý partner pro dodávky oftalmologických a optických přístrojů (Z. Siegel)	55
Poznámka k článku „Mikrokanálkové plátky - MCP“ (M. Jedlička)	57
ECONOS 2006	58
Z dílny starých mistrů	58
Z technické knihovny (I. Brezina, J. Novák)	59
Přirůtky knihovny SPIE/CS	60

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

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

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Ing. Libor HOVORKA, H & H hodinářská s.r.o., Nové Město nad Metují, Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric., Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, a.s., Přerov (Czech Rep.), Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

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

FINE MECHANICS AND OPTICS

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

Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: Karel JUNGWIRTH

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

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

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

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

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

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

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

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

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2006

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 51 2/2006

CONTENTS

Double Dioptra anniversary (J. Kalina)	31
... where some fail KONVEX - Recept optika s.r.o. proceeds! (J. Brožek, V. Pavlas).....	31
Aspherical optical surface quality measurement (J. Hošek).....	33
Internet and integrated automatization laboratories (F. Hruška).....	43
Heat Marks and Microfluidic (M. Adámek, L. Macků).....	46
Optometry studies at Palacky University (J. Wagner, F. Pluháček).....	50
Chamber with controlled atmosphere for the project AIRFLY (V. Vacek, M. Doubrava, L. Nožka, M. Hrabovský, J. Řídký, P. Schovánek, M. Palatka, M. Boháčová, M. Pech, D. Mandát)	51
OCULUS - Your reliable confirmed partner supplying ophthalmological and optical instruments (Z. Siegel)	55
Note to the article "Microchannel plates - MCP" (M. Jedlička)	57
ECONOS 2006	58
SPIE/CS library acquisition	60

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

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

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Dvě výročí Dioptry

Dioptra a.s. Turnov má v r. 2006 hned dvě významná jubilea; 110 let od založení optické výroby v Turnově a 50 let od vzniku samostatného podniku Dioptra.

V roce 1896 položil podnikatel Jan Mařan základy k výrobě optiky. Na počátku obchodoval s optickým zbožím nakupovaným v Německu. Rozvoj firmy byl utlumen první světovou válkou. V roce 1939 koupili firmu pražští továrníci Srb a Štýs. Po znárodnění v r. 1946 turnovský závod byl přiřazen pod národní podnik Okula Nýrsko až do konce roku 1955. Vznik samostatného národního podniku Dioptra Turnov se datuje od 1. ledna 1956 a to je právě 50 let v roce 2006.

Jak napovídá sám název Dioptra, je nosným výrobním programem výroba brýlových čoček a optických prvků na zakázku.

Uplynulých 50 let nás nutí k zamyšlení nad jednotlivými etapami vývoje podniku především z hlediska výrobně technické základny. Zprvu jsme byli odkázáni na vlastní výrobu a stavbu strojů a na spolupráci s podniky v rámci republiky z nichž byla především významná spolupráce s Meoptou Přerov.

Změna nastala koncem 80 let, kdy jsme dovezli na hlavní sortiment výroby strojní zařízení včetně technologie ze SRN a Itálie.

V posledním desetiletí akciové společnosti nastaly podstatné změny, nejen z důvodu konkurence v prodeji brýlových čoček silikátových, ale především v trendu nárůstu plastových brýlových čoček.

Dioptra a.s. je v současné době též výhradním distributorem sortimentu brýlových čoček firmy Hoya.

V posledních letech došlo také k podstatnému zkvalitnění povrchu brýlových čoček. Provádíme oboustranné antireflexní

vrstvy v různých barevných odstínech, hydrofobní úpravy povrchu a tvrzení brýlových čoček.

Mimo výrobu minerálních brýlových čoček a prodeje výrobků Hoya je preferován další výrobní program a to výroba prvků na zakázku z různým průmyslovým podnikům, malým firmám i soukromým zájemcům. Do této oblasti spadá hlavně opracování rovinných ploch asferických kondenzorů pro automobilový průmysl, výroba optických prvků pro efektová a osvětlovací zařízení, krycí a klínová a sferická skla do palubních přístrojů letadel, speciální čočky do kamer používaných např. v geologickém průmyslu, pod vodou nebo při výrobě miniaturních elementů, přesné obrábění vnitřních a vnějších skleněných trubek, skleněné pyramidy, krychle, dárková optika a další prvky dle požadavků zákazníků.

Významné postavení na trhu má DIOPTRA také ve výrobě a prodeji lup ručních, stojánkových bez osvětlení i s osvětlením a svítidel pro průmysl, zdravotnictví i domácí použití s halogenovými, halogen - xenonovými, zářivkovými a v poslední době i LED - diodovými zdroji světla.

Dioptra a.s. hledí do dalších let s optimismem a je připravena uspokojit nejrůznější zakázky, jak tuzemských, tak i zahraničních zákazníků.

Bližší informace naleznete na www.dioptra.cz.

*Ing. Jiří Kalina
ředitel a.s. Dioptra Turnov*

... kde někteří končí, KONVEX - Recept optika s.r.o. ještě pokračuje!

KONVEX - Recept optika spol. s r.o. byla založena na konci roku 1991 s cílem vyrábět a prodávat zakázkové brýlové čočky. V tehdejší době byly zejména speciální vysokodioptrické plastové čočky velice nedostatkové nebo sice dostupné, ale většinou s dlouhými dodacími lhůtami. Chtěli jsme tuto situaci zlepšit.

Na začátku roku 1992 jsme začali připravovat vše potřebné pro výrobu. Ve skromných podmínkách ve sklepních prostorech rodinného domku jsme postupně opravovali starší a konstruovali a vyráběli i nové optické obráběcí stroje. Rovněž se musela připravit alespoň základní sada brousicích a leštících přípravků. Celá

výrobní linka na sférické čočky byla zprovozněna a odzkoušena ještě v uvedených sklepních prostorech. Až do této doby se prakticky na veškerých pracích podíleli jen samotní společníci. Současně s přípravou výroby probíhalo intenzivní hledání vhodných prostor pro výrobu. Nakonec se podařilo pronajmout bývalou restauraci na okraji Rovenska pod Troskami. V květnu 1992 jsme přijali prvního zaměstnance a začali v Rovensku pod Troskami vyrábět na zakázku a prodávat očním optikům vysokodioptrické brýlové čočky.

Na tomto místě je možná vhodné položit otázku: Jak dnes vlastně vznikají brýle s korekčními čočkami?

Na počátku realizace je většinou oční lékař, který napíše recept s dioptrickou korekcí oční vady. Pacient-zákazník s tímto receptem zpravidla zamíří do některé oční optiky. Nemusí mít však vždy s sebou nový recept od lékaře. Pokud nedošlo ke zhoršení vidění, postačí i opis dioptrických hodnot z minulého předpisu. V mnoha očních optikách jsou schopni zákazníkovi přeměřit refrakci a posoudit, zdali nedošlo ke změně. Potom po konzultaci s očním optikem si vybere vhodné brýlové obruby a vhodný typ brýlových čoček. Tento výběr zejména v případě silnějších dioptrických korekcí není úplně jednoduchý a vyžaduje komplexní přístup obsluhujícího personálu oční optiky po stránce nejen optické a obecně technické, ale i zdravotní a estetické a samozřejmě také s ohledem na finanční možnosti zákazníka. Potřebné brýlové čočky, pokud jsou to ty nejběžnější, má většina očních optik zpravidla na svém skladě k okamžitému použití. Všechny ostatní potřebné brýlové čočky musí nejdříve objednat u některého ze svých dodavatelů.

Brýlové čočky se z hlediska jejich výroby dělí na dvě skupiny. Jsou to jednak hotové čočky, které jsou již předem vyrobeny v sériové výrobě zpravidla ve velkých optických firmách a potom se



Leštění brýlových skel

s nimi obchoduje jako s jiným zbožím. Toto se týká samozřejmě jen brýlových čoček s nejběžnějšími kombinacemi nízkých dioptrických hodnot z nejčastěji používaných materiálů a jen v několika univerzálních průměrech. Druhou skupinou jsou všechny ostatní brýlové čočky, které musí být vyrobeny na zakázku podle konkrétních požadavků očního optika např. v naší firmě. Až optik obdrží potřebné brýlové čočky, provede přesné zcentrování podle očního rozestupu zákazníka a zabrousí je do brýlové obruby. Při výdeji hotových brýlí ještě provádí tzv. přizpůsobení brýlí přímo podle požadavků zákazníka, aby brýle dobře „seděly“.

Tato správná cesta je zejména v poslední době často nahrazena nákupem velmi levných hotových dioptrických brýlí „ze stojanů“ v obchodních domech, lékárnách, v různých stáncích apod. Je zřejmé, že takto pořízené brýle se nemohou kvalitativně srovnávat s individuálně zhotovenými brýlemi.

Vraťme se tedy zpět do počátků výroby ve firmě KONVEX-Recipe optika. Nejprve jsme se zaměřili na zaplnění největší mezery v tehdejší sortimentu brýlových čoček. Byly to plastové vysokodioptrické sférické čočky včetně tzv. lenticulárních až do -20 dioptrií. Obchodní úspěch v této poměrně náročné oblasti optické výroby nám připravil dobré podmínky pro další rozvoj firmy. Brzy bylo však potřeba dodávat se sférickými čočkami i torické čočky, které vyžadují jiné strojní vybavení. Finanční prostředky na nákup starších strojů z různých zemí západní Evropy jsme si zajistili pomocí soukromých půjček a úvěru v bance. Už na podzim v roce 1992 jsme začali s výrobou tolik potřebných torických plastových čoček. Souběžně s tím jsme také rozvíjeli výrobu a prodej minerálních čoček. Tehdejší počátky souběžné výroby byly někdy velice komplikované. Neměli jsme ještě dostatečný počet brousicích a leštících strojů a tak jsme byli nuceni střídát vždy po několika dnech pracovní náplně ve strojích pro plastové nebo pro minerální čočky. To samozřejmě způsobovalo mnoho komplikací technologických i obchodních. Pokud jsme zrovna vyráběli např. plastové čočky, nemohli jsme ihned reagovat na expresní výrobu minerálních čoček. Postupně jsme proto výrobní kapacity posílili.

V dalších letech jsme postupně zařazovali do své nabídky další, už i běžné a výrobně jednodušší zakázkové brýlové čočky z různých minerálních i plastových materiálů. Současně jsme však posouvali hranice dioptrických hodnot ke stále silnějším hodnotám. Vyráběli jsme už brýlové čočky o hodnotách přesahující +30 a dokonce neuvěřitelných -80 dioptrií. Tím jsme se dostali do podvědomí optiků jako dodavatel, kterého nezastaví prakticky žádná dioptrická hodnota. Takže kde někteří výrobci už končí, KONVEX ještě pokračuje...

Kromě objednávek na zakázkové čočky jsme postupně začali zaznamenávat i požadavky našich zákazníků na běžné nízkodioptrické čočky, které by však zakázkovým způsobem vyrobené byly neúměrně drahé. Proto byla činnost firmy už v roce 1993 rozšířena s rostoucí poptávkou také o prodej sériových hotových skladových brýlových čoček, které jsme samozřejmě už sami nevyráběli, ale nakupovali od jiných výrobců nejvíce od firem Dioptra, Sola Optical a American Optical. Tím jsme dosáhli značně širokou nabídku brýlových čoček. Toto rozšíření činnosti se ukázalo jako velmi správné, neboť před několika lety se začaly provádět laserové oční refrakční operace, které nám značně zmenšily počet uživatelů brýlí s vyššími dioptrickými korekcemi a tím i počet speciálních zakázek. V současné době je již nosným programem firmy výroba a prodej prakticky všech druhů brýlových čoček. Dodáváme jednoohniskové, bifokální a progresivní čočky z různých minerálních i plastových materiálů.

Výroba zakázkových čoček a prodej hotových čoček se sice dobře rozběhly, ale nedostatkem bylo, že jsme nebyli schopni na dodávané čočky dodat zákazníkům požadované povrchové úpravy. Jedinou výjimkou bylo již dobře zvládnuté barvení plastových čoček, ke kterému nejsou potřeba vakuové stroje. Vakuové povrchové úpravy jsme tedy vyřešili nejdříve pomocí kooperací s několika firmami, abychom byli schopni od roku 1995 dodávat také i minerální čočky s barevnými absorpčními úpravami



Vrstvení brýlových skel

a později i antireflexní úpravy jak na minerální tak i na plastové čočky. Kooperace však nebylo úplně vždy ideální řešení. Často jsme se potýkali s kvalitou úprav, kterou jsme prakticky nebyli schopni ovlivnit. Největším nedostatkem však byla nemožnost expresního vyřízení objednávky. Proto jsme se začali od roku 1998 vybavovat vakuovými stroji, které jsme podle našich požadavků a postupně po nasbírání potřebných zkušeností vylepšovali. Samozřejmě dokud jsme neměli zkušenosti z technologie vakuového nanášení vrstev, vyvíjeli jsme a zaváděli zpočátku jen jednodušší úpravy. Dnes již dodáváme velmi široký sortiment vakuových povrchových úprav na brýlové čočky. Různé stupně běžných hodnot absorpčních úprav na minerální čočky dokonce ve 4 barevných odstínech a u různých antireflexních úprav jsme se propracovali až k nanášení vícevrstevných systémů, pro plastové čočky navíc i s hydrofobním povrchem. V poslední době nanášíme i zrcadlové úpravy. Pomocí vakuových vrstev vyrábíme také speciální absorpční brýlové čočky s velmi vysokou absorpcí dosahující až 99 %. Takže opět zde platí, že kde mnozí výrobci už končí, KONVEX ještě pokračuje...



Kontrola brýlových skel

Provádíme i několik druhů tvrzení brýlových čoček podle požadovaného stupně odolnosti. Pro oční optiky jsme zavedli rovněž i službu zabrušování brýlových čoček prakticky do všech druhů brýlových obrub spojenou s předehozí optimalizací návrhu a výroby čoček s ohledem na jejich výslednou tloušťku. Tento způsob optikům pomáhá zejména ve složitějších případech, kdy si nejsou jisti správnou volbou brýlové čočky nebo jejich parametrů. Část výroby, zejména výrobně složitější speciální brýlové čočky také exportujeme.

Kromě brýlové optiky se zabýváme i výrobou technické optiky. Vyrábíme a opravujeme skleněné formy určené k odlévání některých speciální polotovarů pro výrobu plastových brýlových čoček pro firmu Optim. Dále spolupracujeme s Vývojovou optickou dílnou Akademie věd ČR v oblasti výroby speciálních optických ploch, určených zejména pro výrobu válcových a torických zrcadel. Dále vyrábíme optické prvky do osvětlovacích soustav a i pro jiné aplikace v rozsahu průměrů od 30 do 80 mm podle individuálních požadavků zákazníků z různých oborů.

Tento poměrně velký rozsah činností ovšem vyžaduje i potřebné provozní plochy. Již poměrně brzy nám začaly být pronajímány prostory v původní budově příliš těsné a neumožňovaly již další rozvoj obchodu a služeb. V roce 1995 bylo rozhodnuto o přístavbě skladových prostor a vakuové úpravy. Později, v roce 1998 se nám podařilo původní část budovy odkoupit do svého vlastnictví. Před

několika lety se opět objevil problém s nedostačujícím prostorem, a proto byla v roce 2001 dokončena druhá, rozsáhlejší přístavba a přestavba do dnešní podoby.

Odbornost většiny našich 25 zaměstnanců má základ v letitých zkušenostech v optické výrobě, která je tradiční v našem regionu a společně s nově získávanými informacemi dosahuje vysoké úrovně.

Podobně jako v minulých letech, firma KONVEX – Recept optika s.r.o. chce i nadále do budoucna svůj rozvoj směřovat zejména k dosažení co možná nejširší a nejkompaktnější nabídky typů a dioptrických rozsahů brýlových čoček včetně různých povrchových úprav a dalších služeb v oboru brýlové a i technické optiky.

KONVEX - Recept optika s.r.o. je stále se vyvíjející nezávislou ryze českou společností. Její již 14letá existence dokazuje důvěru zákazníků-očních optiků a díky tomu jí náleží pevné místo mezi výrobci a dodavateli brýlové optiky.

KONVEX – Recept optika s.r.o., Tyršova 466, 512 63 Rovensko pod Troskami

Majitelé a jednatelé: Ing. Jiří Brožek, Ing. Vladimír Pavlas, tel.: 481 381 137, fax: 481 381 138, e-mail: konvex.rovensko@volny.cz

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

Měření kvality asférických optických ploch

Článek podává přehled o metodách kontroly měření kvality asférických optických ploch. Z přehledu kontaktních i bezkontaktních metod jsou zdůrazněny principy interferometrického měření kvality aplikované na plochy typu rotačního hyperboloidu. Pro určení vlivu jednotlivých justážních chyb na kvalitu interferometrického měření hyperbolických optických ploch Hindleovou metodou byl vytvořen simulační program určující velikost jednotlivých chyb způsobující deformaci vlnoplochy požadované velikosti. Nakonec je podán přehled numerické simulace charakteristických interferenčních obrazců reprezentující jednotlivé justážní chyby.

1. ÚVOD

Asférické plochy představují jednu z možností, jak optičtí návrháři mohou dosáhnout požadovaných vlastností optické soustavy při její poměrně jednoduché stavbě. V řadě případů jsou jedinou možností, jak danou optickou soustavu bezaberačně realizovat. Základní tvary asférických ploch se díky stigmatickému zobrazení mezi významnými body předmětového a obrazového prostoru používají v konstrukci optických soustav již od 19. století, a to zejména v oblasti astronomické optiky, kde široké uplatnění našly především paraboloidická zrcadla a korekční Schmitovy desky astronomických komor. Širšímu použití asférických ploch v minulosti bránila především obtížnost jejich výroby, kdy bylo nutné zajistit na asféře posuv nástroje po povrchu obrobku ve dvou stupních volnosti. To bylo realizovatelné, za soustavné kontroly geometrie vyráběných ploch, pouze pro válcové plochy, parabolické a hyperbolické plochy s velkými ohniskovými vzdálenostmi a Schmitovu desku její statickou deformací při výrobě. Teprve s rozvojem automatických obráběcích center, je možné vyrábět asférické plochy libovolného tvaru s praxí vyhovující přesností, která v současné době představuje opakovatelnou přesnost geometrie broušeného výrobku až 0,1 μm [1]. Proto výhody použití asférických ploch se začaly využívat i v dalších oborech optiky, zejména v oblasti fotografické, osvětlovací, laserové, infračervené nebo televizní techniky. V souvislosti s rozšířením asférických ploch, a zejména zmenšením jejich rozměrů a parametrů, bylo nutné modifikovat stávající měřicí metody kontroly kvality asférických ploch. Cílem tohoto článku je podat přehled

metod měření asférických ploch a pro hyperbolickou plochu, která je v současné době v optických členech nejpoužívanější, určit vliv nepřesností interferenční měřicí soustavy na její kontrolu kvality.

2. ASFÉRIKÉ PLOCHY A JEJICH VLASTNOSTI

Hlavním cílem použití asférických ploch v optice je kompenzace aberací optické soustavy a dosažení stigmatického zobrazení – předmětový bod na optické ose se zobrazí ideálně do sdruženého obrazového bodu. Při hledání vhodné rotační plochy [2], [3], [4], [5] která splňuje stigmatické zobrazení je nutné vyjít ze základního principu šíření světla Fermatova principu. Ten říká, že světlo se bude šířit z jednoho bodu do druhého po takové dráze, kterou urazí za nejkratší čas. Rovnice meridiánu ideálního rozhraní z obrázku 1 pak musí splňovat podmínku:

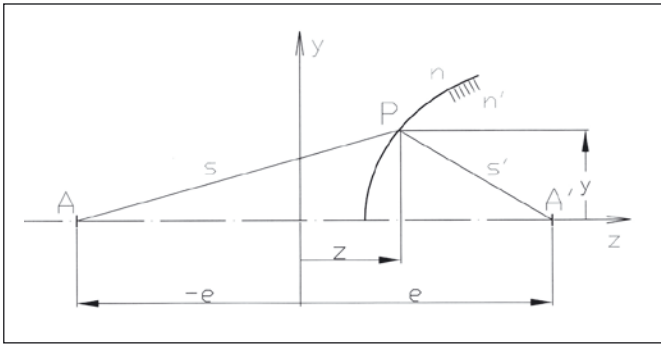
$$sn + s'n' = 2a = konst. \quad (1)$$

Vyjádríme-li si geometrické dráhy s a s' pomocí e , y a z , získáme rovnici meridiánu plochy ideálního stigmatického zobrazení:

$$n\sqrt{(z+e)^2 + y^2} + n'\sqrt{(e-z)^2 + y^2} = 2a \quad (2)$$

A po úpravách:

$$16a^2n^2[(e-z)^2 + y^2] = \left(4a^2 + n^2[(e-z)^2 + y^2] - n^2[(z+e)^2 + y^2]\right)^2 \quad (3)$$



Obr. 1 Schéma určení meridiánu rozhraní stigmaticky zobrazujícího bod A do A'

Jedná se o plochu 4. stupně a plochy splňující tuto podmínku se nazývají plochami Descartovými. Přestože je výroba této plochy možná, častěji se v praxi používají degenerované plochy nikoli 4. ale 2. stupně.

Prvním příkladem degenerace stigmatické plochy rozhraní použitím rovnosti $n' = -n$, což je běžné vyjádření odrazu na zrcadle získáme rovnici:

$$z^2(a^2n^2 - e^2n^4) + y^2a^2n^2 = a^2(a^2 - n^2e^2), \quad (4)$$

kde pro dosažení za $n = 1$ a pro $a > e$ dostáváme rovnici elipsy ve středovém tvaru:

$$\frac{z^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2 - e^2} = 1, \quad (5)$$

kde $e = \sqrt{a^2 - b^2}$ je poloviční vzdálenost mezi geometrickými ohnisky nazývaná lineární výstřednost (excentricita) a a a b jsou velikosti poloos plochy. Geometrická ohniska (nikoli optická ohniska) elipsy jsou pak sdružené body stigmatického zobrazení touto plochou.

Pokud uvažujeme v rovnici (5) $a < e$, pak dostáváme rovnici hyperboly ve středovém tvaru:

$$\frac{z^2}{a^2} - \frac{y^2}{e^2 - a^2} = 1. \quad (6)$$

I zde platí, že sdružené body stigmatického zobrazení hyperbolické plochy jsou její geometrická, a nikoli optická ohniska a pro lineární výstřednost hyperboly platí vztah $e = \sqrt{a^2 + b^2}$, kde a a b jsou hodnoty velikosti poloos hyperboly.

V případě volby $2a = 0$ dostaneme opět degenerovanou rovnici meridiánu 2. řádu, a to tvaru kružnice:

$$z^2 + y^2 + 2ze \frac{n^2 + n'^2}{n^2 - n'^2} + e = 0, \quad (7)$$

kde je kružnice posunuta vůči středovému tvaru o vzdálenost $m = -e \frac{n^2 + n'^2}{n^2 - n'^2}$ a její poloměr křivosti je $r^2 = m^2 - e^2$. I kulová

plocha vykazuje sdružené body stigmatického zobrazení, pro které platí vztah mezi sečnými vzdálenostmi p a p' :

$$p\ddot{n} = pn. \quad (8)$$

Mimo tyto body kulová plocha také triviálně zobrazuje bod ve středu křivosti a bod ve svém vrcholu. Tyto stigmatické body se využívají pro konstrukci aplanatických sférických čoček. Nicméně, protože tyto čočky nevytvářejí reálné zobrazení je nutné je vždy kombinovat s dalšími optickými prvky.

Druhým požadovaným typem stigmatického zobrazení je zobrazení z nekonečna do bodu. Opět pomocí Fermatova principu lze z obrázku 2 vyjádřit rovnici meridiánu požadovaného stigmatického rozhraní pro toto zobrazení:

$$p\ddot{n} = n' \sqrt{(p' - z)^2 + y^2} + nz. \quad (9)$$

Pro tento typ zobrazení vystačíme tedy s plochami 2. řádu. Za předpokladu, že $n < n'$ získáme úpravou rovnice (9) rovnici elipsy ve vrcholovém tvaru:

$$\frac{\left(z - \frac{p'n'}{n'+n}\right)^2}{\left(\frac{p'n'}{n'+n}\right)^2} + \frac{y^2}{\frac{p'^2(n'-n)}{n'+n}} = 1, \quad (10)$$

kde pro její poloosy platí:

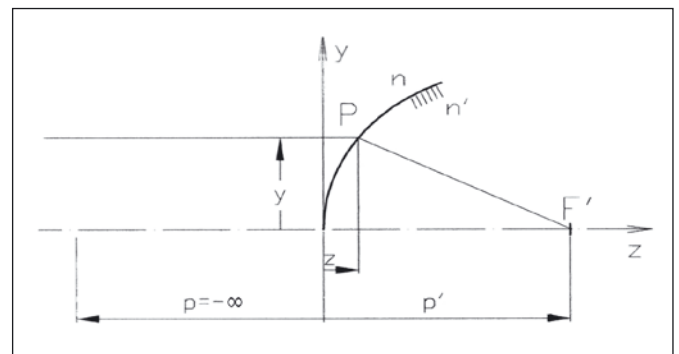
$$a = \frac{p\ddot{n}}{n'+n} \quad \text{a} \quad b = p' \sqrt{\frac{n'-n}{n'+n}} \quad (11)$$

Při záměně indexů lomu před a za rozhraním, tedy $n > n'$, vyjde z rovnice (9) meridián rozhraní ve tvaru hyperboly s rovnici opět ve vrcholovém tvaru:

$$\frac{\left(z - \frac{p'n'}{n'+n}\right)^2}{\left(\frac{p'n'}{n'+n}\right)^2} - \frac{y^2}{\frac{p'^2(n'-n)}{n'+n}} = 1. \quad (12)$$

Poslední možností realizace stigmatického zobrazení z nekonečna do bodu je použití nikoli refraktivního rozhraní, ale rozhraní typu zrcadla, pro které platí $n = -n'$. Pak úpravou rovnice (9) získáme plochu meridiánu rozhraní ve tvaru paraboly s rovnici:

$$y^2 = 4p'z. \quad (13)$$



Obr. 2 Schéma určení meridiánu rozhraní stigmaticky zobrazujícího z nekonečna do F'

Bod stigmaticky sdružený s nekonečnem pak leží v geometrickém ohnisku rotačního hyperboloidu a toto geometrické ohnisko je tedy totožné s ohniskem optickým. Tato skutečnost se stala základním principem mnoha typů astronomických dalekohledů využívající plochu rotačního paraboloidu jako funkční plochu primárního zrcadla.

Z uvedeného je patrné, že pro konstrukci optických rozhraní stigmaticky zobrazující soustavy se lze omezit na plochy kuželoseček, z nichž nejvyšší podíl na výrobě asférických optických ploch představují plochy typu rotačního hyperboloidu.

3. METODY KONTROLY A MĚŘENÍ ASFÉRIKÝCH PLOCH

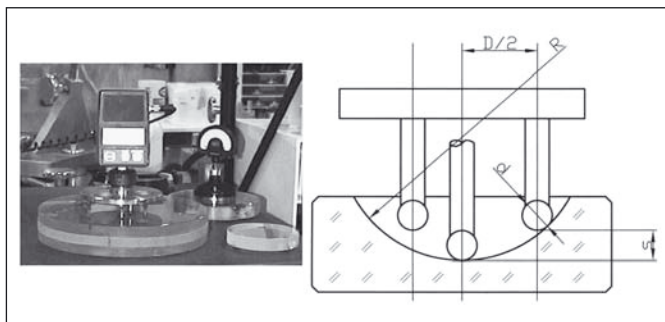
V optické výrobě patří k základním úkolům určení odchylek tvaru vyráběných asférických ploch od jejich nominálního (požadovaného) tvaru. Tyto odchylky vznikají v důsledku nedokonalosti technologického procesu výroby asférických ploch. Úkolem kontroly je pak zjistit, zda vyrobená plocha splňuje požadované parametry, tedy zda je vyrobená v rámci povolených výrobních tolerancí. Kontrola kvality vyráběné plochy není jen závěrečnou

operací výroby, ale často hraje významnou úlohu již při výrobním procesu a s rostoucím rozměrem a složitostí geometrie se kontrolní operace významně podílejí na celkové ceně výrobku.

Metody kontroly asférických ploch lze rozdělit na dvě základní podskupiny, a to na metody kontaktní a bezkontaktní. Protože při výrobě, zejména kusových výrobků, není vhodné spoléhat pouze na jednu měřicí metodu používají se oba typy metod, jak ve fázi výroby asférické optiky, tak i pro její povýrobní testování.

3.1 Kontaktní metody

Nejjednodušším přístrojem pro kontrolu kvality optických ploch je *sférometr* viz obrázek 3.



Obr. 3 Ukázka sférometrů pro kontrolu geometrie optických ploch jeho schématu

Ve svém základním provedení se jedná o tři nožky zakončené přesnými kuličkami, v jejichž středu je měřicí dotek určující výšku vrchlíku lokálního poloměru křivosti v bodu měření. Hodnotu měřeného poloměru křivosti lze určit z rovnice:

$$R = \frac{(D/2)^2 + s^2}{2s} \pm \frac{d}{2}, \quad (14)$$

kde D je průměr roztečné kružnice nožek, s je změřená výška kulového vrchlíku a d je průměr dosedacích kuliček dle schématu na obrázku 3. Přesnost odečítání výšky kulového vrchlíku je v závislosti na typu použitého snímače 10 až 0,1 μm . Nevýhody této metody jsou zřejmé. Jedná se o lokální měření, takže pro celkovou informaci o tvaru plochy je nutné proměřit síť bodů a ty vyhodnotit. Pro měření asférických ploch je přesnost měření lokálního poloměru křivosti vždy nižší v důsledku různých poloměrů křivosti plochy v rovinách nožek. Proto se také používá dvounožková verze sférometru nebo sférometru doplněného na měřicím doteku o skleněný kalibr, při jehož přiblížení k měřenému povrchu lze pozorovat Newtonovi kroužky a tím určit lokální tvar měřené plochy. Výsledná přesnost sférometrů pro měření asférických ploch se pohybuje na úrovni 0,1 – 0,001 mm, a proto se používají zejména pro kontrolu tvaru během broušení asférických ploch. [Trioptics GmbH]

Jiný způsob kontaktního měření geometrie asferických ploch je použití *třísouřadnicových měřicích strojů*. Jedná se o přesné masivní měřicí stroje různých velikostí často na vzduchovém vedení. Jako měřicí doteky slouží safírové kuličky viz obr. 4 a stroj reaguje na přítlak hodnoty 0,01 N po přiblížení k měřenému povrchu. Tolerance měření rozměrů se pohybuje dle typu stroje od 20 μm – 10 nm. Pro dodržení takovéto přesnosti měření musejí být tyto stroje umístěny ve speciálních podmínkách zajišťující tepelnou a antivibrační stabilitu, což jejich přímé použití ve výrobním procesu poněkud omezuje. Výhodou však je možnost provádět kontrolu geometrie s vysokou přesností lokálně i po celé ploše měřeného objektu.

Kontrolovaným parametrem asférické plochy na těchto strojích je hodnota vrcholového poloměru křivosti r_c . Tu lze určit z polohových souřadnic $[x_i, y_i, z_i]$ a odpovídajících rádiusů vektorů r_i ($r_i^2 = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2$) minimálně čtyř změřených bodů ve vrcholové



Obr. 4 Ukázka výměnných dotekových hlavice třísouřadnicových strojů [Zeiss]

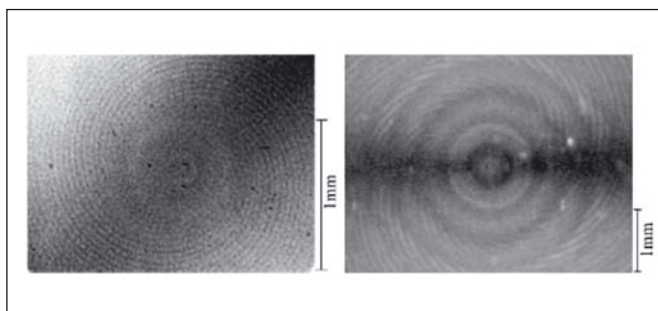
oblasti asféry. V případě použití pouze čtyř měřených bodů [6] je vrcholový poloměr křivosti r_c určen z rovnice:

$$Ar_c = b,$$

kde:

$$A = \begin{pmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 \\ x_1 - x_4 & y_1 - y_4 & z_1 - z_4 \end{pmatrix}, \quad b = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} r_1^2 - r_2^2 \\ r_1^2 - r_3^2 \\ r_1^2 - r_4^2 \end{pmatrix} \quad \text{a} \quad r_c = \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix}$$

Důležitým parametrem vyráběné optické asférické plochy je také mikrodrsnost způsobená diamantovým nástrojem, jeho trajektorií a vibracemi - viz obrázek 5. Tuto mikrodrsnost je nutné sledovat v ploše několika cm^2 , a proto, aby nedošlo k poškození měřené plochy se vytváří její replika, nejčastěji na bázi pryskyřic, a tato replika se proměřuje drsnoměrem, interferenčním nebo sctanovacím mikroskopem s rozlišením dosahujícím až 1 Å.



Obr. 5 Ukázky mikrodrsnosti povrchu vzniklých broušením optických ploch [7]

3.2 Bezkontaktní metody

Výhodou bezkontaktních měřicích metod je, že měřená plocha a měřicí systém nejsou v přímém kontaktu, a proto se nemohou vzájemně ovlivňovat. Zejména nemůže dojít k poškození měřeného povrchu nebo jeho deformaci, a tím ke zkreslení měřeného údaje. Bezkontaktní měřicí metody používané pro měření asférické optiky lze rozdělit na tři základní skupiny, a to metody geometrické optiky, metody interferometrické a metody moiré.

Metody geometrické optiky

Principiálně nejjednodušší metodou měření tvaru asférických ploch představuje použití *profiloměru*. Jedná se o komerčně dostupná zařízení s kolimátorem generujícím rovnoběžný svazek paprsků různého průměru, do něž se vkládá měřená součást. Profil měřeného objektu se sleduje pomocí objektivu a kamery a vyhodnocuje počítačem. Tyto přístroje dosahují rozlišení tvaru pod 1 μm. Jejich výhodou je sledování tvaru měřené plochy v celém jejím řezu a snadné zpracování a vyhodnocení měření, ale nelze je použít ke sledování tvaru profilu dutých ploch.

Další obvyklou testovací metodou je *Hartmanova zkouška* [8]. Základní myšlenkou této zkoušky je realizace úzkých paprsků procházejících optickou soustavou. Ty jsou v klasické konfiguraci zkoušky realizovány pomocí clony (Hartmanovy) s mnoha malými otvory o rozměru $10^{-2} - 10^{-3}$ ohniskové vzdálenosti vložené do vstupní pupily testované optiky. Po osvětlení rovnoběžným svazkem paprsků se v obrazovém prostoru vytvoří množina stop, které jsou detekovány ve dvou rovinách posunutých o známou vzdálenost podél optické osy. Z obou obrazů pak lze vypočítat chod jednotlivých paprsků, polohu ohniska soustavy i tvar a deformace měřené optické plochy. Protože klasická Hartmanova zkouška vyžaduje výrobu rastru stejné velikosti jako měřená optika byla tato jinak velmi jednoduchá a robustní metoda modifikována do podoby *Shack-Hartmanovy metody* [9,10,11,12]. Zde je Hartmanova clona nahrazena čočkovým rastrem typu hmyzí oko umístěným nikoli ve vstupní pupile testované optiky, ale v rovnoběžném svazku vytvořeném kolimátorem za její obrazovou rovinou. Paprsky vytvořené čočkovým rastrem jsou pak objektivem a kolektivem soustředěny na fotodetektor, kde vytvářejí síť světelných bodů. Srovnáním polohy bodů vytvořených referenčním zdrojem a měřeným optickým prvkem lze určit odchylky geometrie měřené optické plochy. Výhodou jsou malé a konstantní rozměry měřicích prvků včetně čočkového rastru. Nevýhodou je pak jeho značná cena. Proto poslední *modifikace Shack-Hartmanovy metody* představuje umístění bodového zdroje do uzlového bodu snímacího objektivu a náhrada čočkového rastru vhodným clonovým rastrem umístěným přímo před CCD snímač [13].

Další možností je použití paprskových metod je realizace měřicích paprsků pomocí laserového svazku a rozmítače. Rozmítaný paprsek rastruje měřenou plochu a na plošném fotodetektoru je snímána jeho odražená stopa. Z odchylek stopy od referenční pozice lze opět numericky určit tvar a deformace proměřované optické plochy. Kombinací této metody s interferenčními metodami lze proměřovat velké plochy s vysokou přesností [14].

Výše uvedené geometrické bezkontaktní měřicí metody jsou často používány jako referenční měření pro verifikaci mnohem přesnějších finálních měření optiky pomocí interferenčních měřicích metod.

Interferometrické metody

Měřicí metody založené na dvousvazkové interferometrii byly po dlouhou dobu nejpřesnější bezkontaktní metody hodnocení tvaru vyráběných optických ploch. Dodnes jsou se svojí dosahovanou přesností velikosti $\lambda/20$ až $\lambda/100$ zcela vyhovující naprostě většině požadavků na přesnost měření tvaru sférických i asférických ploch v optickém průmyslu. Měření lze realizovat pomocí vhodné konstruovaných interferometrů, a to buď *Fizeauova* typu nebo *Twyman-Greenova* typu [15,16,17,18,19]. S rozvojem CCD senzorů a piezoelektrických posuvů lze pomocí těchto interferometrů plně automaticky vyhodnocovat tvar asférických ploch, a to pomocí vhodných algoritmů umožňujících určit fázi vyšetřovaného vlnového pole na základě měření intenzity interferenčního pole vzniklého interferencí vyšetřovaného vlnového pole s referenčním vlnovým polem [20,21,22].

Principem těchto metod je vhodná transformace referenční vlnoplochy (rovinné nebo sférické) na asférickou vlnoplochu, která bude mít, v místě měřené asférické plochy, stejný tvar jako požadovaná asférická plocha. Bude-li tedy mít měřená asférická plocha požadovaný tvar, bude mít vlnoplocha odražená od měřené

plochy tvar stejný. V případě, že se tvar měřené asférické plochy bude odchylovat od požadovaného (nominálního) tvaru, bude odražená vlnoplocha deformována a bude se lišit od tvaru referenční vlnoplochy. Necháme-li tyto dvě vlnoplochy interferovat, můžeme vyhodnocením interferenčního pole získat informaci o odchylkách měřené asférické plochy od svého nominálního tvaru.

Interferenci dvou koherentních, monochromatických a lineárně polarizovaných polí o komplexních amplitudách

$$U_0 = A_0 \exp(i\varphi_0) \quad \text{a} \quad U_R = A_R \exp(i\varphi_R),$$

kde A popisuje amplitudu a φ fázi referenčního pole s indexem R a měřeného pole s indexem 0 lze popsat intenzitní interferenční rovnicí [16,17,19]:

$$I = I_0 + I_R + 2\sqrt{I_0 I_R} \cos(\varphi_R - \varphi_0) = A + B \cos(\varphi). \quad (15)$$

Ve výsledném interferenčním obrazci se budou světlé interferenční proužky (maxima intenzity) nacházet v místech, kde bude pro rozdíl fází obou polí platit podmínka:

$$\varphi_R - \varphi_0 = \pm 2n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

a tmavé interferenční proužky (minima intenzity) v místech splňujících podmínku:

$$\varphi_R - \varphi_0 = \pm (2n+1)\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

s kontrastem interferenčních proužků daným vztahem:

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}.$$

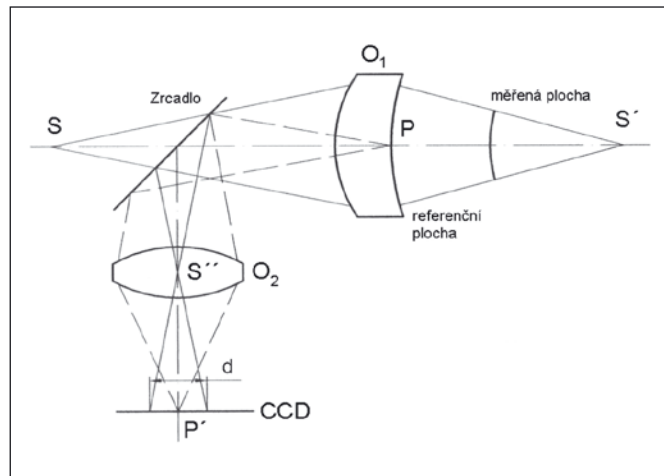
Vyhodnocení interferenčního pole spočívá v určení fázového rozdílu obou polí v bodech interferogramu $\varphi(x,y)$, tedy určení neznámých A , B a φ v rovnici (15). Protože zmíněná rovnice má tři neznámé, je pro jejich určení nutné provést minimálně tři měření intenzity pro různé hodnoty fázového posuvu φ_R referenčního pole a vyřešení soustavy rovnic typu:

$$I_i = A + B \cos(\varphi - \varphi_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (16)$$

Podle počtu a hodnoty měřených fázových posunutí použitých pro vyhodnocení interferenčního pole je popsána celá řada tří, čtyř, pěti i vícekových algoritmů [21,22,23,24,25], z nichž nejvíce se v praxi používají právě metody tříkové a pětikové. Ze znalosti fázového posunutí interferujících vlnových polí lze pak snadno vyhodnotit jejich dráhový rozdíl:

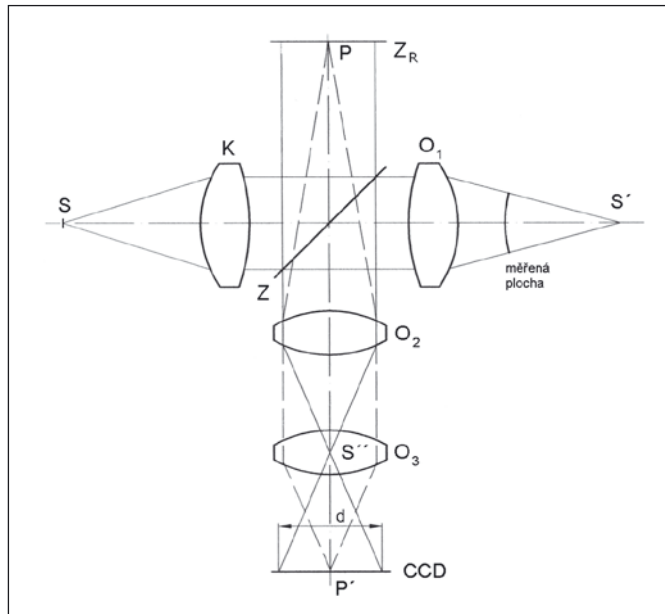
$$W(x,y) = \frac{\lambda}{2\pi} [\varphi(x,y) - \delta], \quad (17)$$

kde λ je použitá vlnová délka zdroje záření a δ je hodnota fázového posunutí vůči zvolenému počátku souřadnic.



Obr. 6 Schéma funkčního uspořádání Fizeauova interferometru

Pro realizaci interference měřené a referenční vlnoplochy se realizuje nejčastěji pomocí vhodně konstruovaných interferometrů *Fizeauova* nebo *Twyman-Greenova* typu. Princip obou interferometrů je zobrazen na *obrázcích 6 a 7*, kde d označuje průměr vzniklého interferenčního obrazce. V případě *Fizeauova* interferometru je vlnoplocha bodového zdroje deformována přímo do tvaru měřené plochy, od které se odráží zpět a interferuje s referenční vlnoplochou odraženou většinou od poslední plochy objektivu O_1 . Ostatní optické plochy objektivu O_1 proto musejí být pokryty antireflexními vrstvami. V případě použití zdroje záření konečné velikosti budou interferenční proužky lokalizované na odrazné referenční ploše objektivu a jsou snímány pomocí zrcadla a objektivu O_2 , jehož pupila je umístěna v obrazu zdroje. Dalo by se říci, že se jedná o bezkontaktní použití metody kalibru. Výhodou této metody je kompaktnost celého řešení a podobná hodnota reflexe referenční plochy jako nepokovené měřené optické plochy přibližně 4%. Nevýhodou je značný dráhový rozdíl mezi referenční a měřenou vlnoplochou, a proto se zde jako zdroj záření používá především laser.



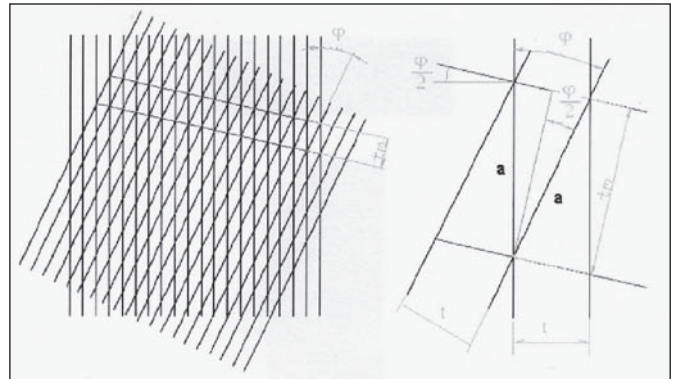
Obr. 7 Schéma funkčního uspořádání Twyman-Greenova interferometru

Naproti tomu interferometr Twyman-Greenova typu využívá interference rovinných vlnoploch. Bodový zdroj S je kolimatorem K transformován na rovinnou vlnoplochu. Ta je rozdělena na zrcadle Z na referenční větev vybavenou stavitelným rovinným referenčním zrcadlem Z_R a měřicí větev s objektivem O_1 , který požadovaným způsobem deformuje vlnoplochu pro odraz na měřené ploše. Po odrazech obě vlnoplochy interferují a pomocí objektivů O_2 a O_3 jsou snímány interferenční proužky lokalizované na referenční rovinné ploše. Výhodou tohoto typu interferometru je velký rozsah pracovních vzdáleností při zachování pozorování nultého interferenčního řádu a možnost aktivně měnit hodnotu intenzity záření v referenční větvi pro dosažení maximálního kontrastu interferenčních proužků.

Interferenční metody kontroly optiky se díky své citlivosti používají především k závěrečné kontrole vyleštěných optických prvků. Nicméně protože se jedná o metodu podávající informaci o kvalitě celé vyráběné plochy najednou jsou tyto metody aplikovány i pro kontrolu broušení náročných a velkých optických ploch. V tomto případě se neprovádí kontrola ve viditelné části spektra, ale používá se interference v IR záření, nejčastěji na vlnové délce CO_2 laseru $10,6 \mu m$, pro které má broušený povrch zrcadlovou kvalitou.

V případě měření ploch vykazující velkou úroveň gradientu povrchu, kdy rozteč proužků interferenčního obrazce je natolik

malá, že jednotlivé proužky již nelze pozorovat lze využít metodu *moiré interference*. S moiré interferencí se lze v běžném životě setkat na každém kroku. Stačí pozorovat dva ploty nebo jiné rastry přes sebe. Principem je tedy překrývání se dvou rastrů za vzniku interferenčních proužků, a tím zviditelnění jejich rozdílu, jako například na *obrázku 8*.



Obr. 8 Schéma vzniku moiré interference natočením dvou rastrů

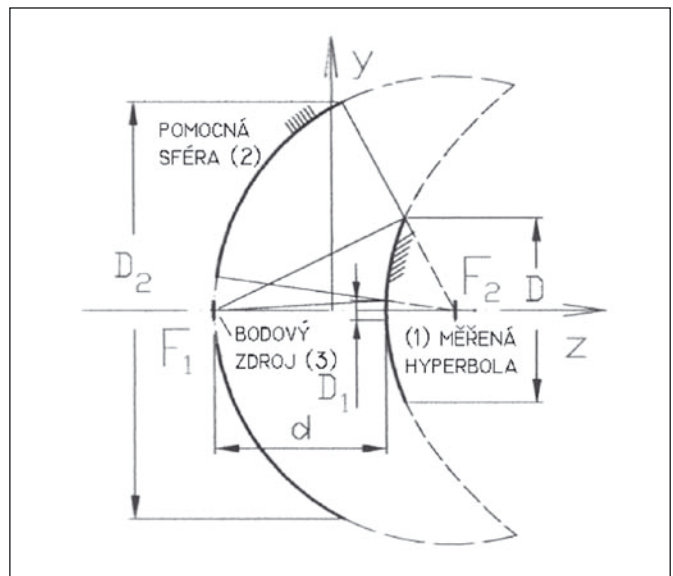
V tomto případě bude rozteč vzniklých interferenčních moiré proužků pro konstantní rozteč obou rastrů t a úhlem natočení φ dána vztahem:

$$t_m = \frac{t}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}$$

Pro úhly natočení $\varphi = <0^\circ, 60^\circ$) bude rozteč moiré proužků vždy větší než rozteč proužků původního rastru a lze tímto způsobem zviditelnit i velmi gradientní interferenční pole. V praxi se nejčastěji používá k vytvoření moiré interference dvou vlnových interferenčních polí v rovině fotodetektoru vzniklých použitím dvou různých vlnových délek zdroje záření procházející měřicí interferometrickou soustavou [16,26,27].

4. INTERFEROMETRICKÉ MĚŘENÍ HYPERBOLICKÝCH PLOCH

V současné době je jednou z nejčastěji vyráběných asférických optických ploch plocha tvaru rotačního hyperboloidu. Proto v další části článku se budu zabývat měřením právě této asférické plochy.

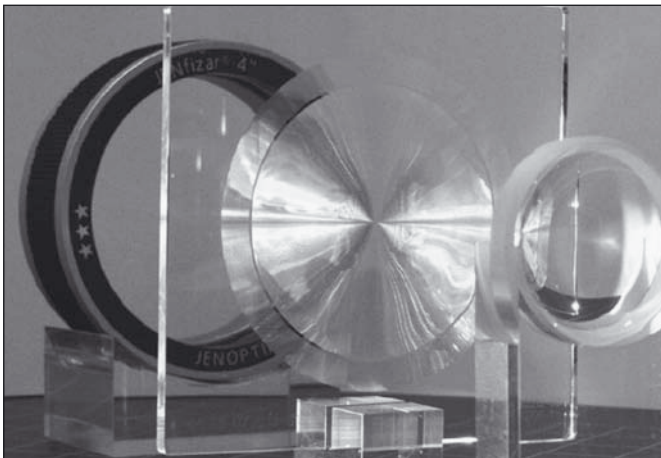


Obr. 9 Schéma měřicí metody vypuklých hyperbolických ploch dle Hindela

Pro použití interferenčního měření asférické plochy je nutné v obou případech výše zmíněných interferometrů deformovat tvar vlnoplochy za objektivem O_1 , většinou vlnoplochu sférického tvaru, na tvar rotačního hyperboloidu. K tomu lze využít dva základní principy.

Prvním z nich zobrazeném na obrázku 9 je využití stigmaticky zobrazujících bodů hyperbolické plochy, tedy jejich geometrických ohnisek. Tato metoda byla popsána pro kontrolu sekundárních zrcadel astronomických dalekohledů Hindelem [28] již roku 1931. Sférická vlnoplocha šířící se z ohniska F_1 dopadá na hyperbolickou plochu, od které se odráží a vytváří neskutečný obraz v geometrickém ohnisku F_2 . Pro návrat paprsků zpět do interferometru je v tomto případě použito pomocné duté sférické zrcadlo se středem v geometrickém ohnisku hyperboloidu F_2 . To sférickou vlnoplochu šířící se z F_2 odrazí zpět na měřenou hyperbolickou plochu, která jí stigmaticky zobrazí zpět do ohniska F_1 a dále do interferometru. Přes jednoduchost celého uspořádání je značnou nevýhodou tohoto principu nutnost vyrábět pomocné zrcadlo vždy většího průměru, než je příčný rozměr měřeného hyperboloidu.

Druhou metodou deformace vlnoplochy obecně používanou pro kontrolu asférické optiky je použití počítačově generované difrakční struktury, jako například na obrázku 10.



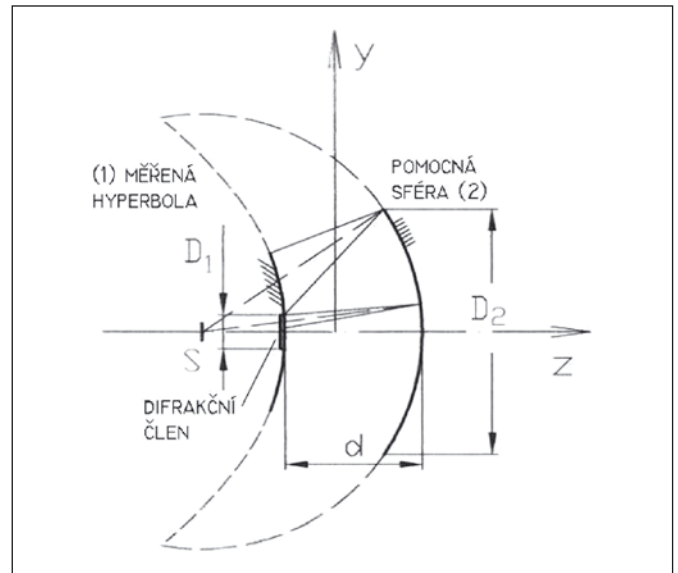
Obr. 10 Ukázka využití počítačem generovaného difrakčního prvku k testování optiky. [www.jenaoptic-los.com]

V tomto případě musí difrakční struktura zajistit dopad deformované vlnoplochy normálově na měřenou plochu. Od té se odrazí zpět a po opětovném průchodu difrakční strukturou se transformuje na původní vlnoplochu vstupující zpět do interferometru. Protože výroba velkých difrakčních struktur je nákladná a často i nemožná, používá pro kontrolu asfér hyperbolického tvaru systému difrakčního členu v kombinaci s pomocným dutým sférickým zrcadlem se středem křivosti v bodě S , od kterého se difrakované paprsky odrážejí a dopadají v normále na měřenou hyperbolickou plochu, jak je znázorněno na obrázku 11.

V tomto případě je průměr pomocného sférického zrcadla pro stejně velkou měřenou asférickou plochu menší než v případě klasické Hindelovy metody [29]. Nicméně obě zmíněné metody v uvedeném uspořádání měření mají nevýhodu, že jimi nelze provést měření hyperbolické plochy v její střední části. V prvním případě je průměr zakryté oblasti dán vztahem:

$$D_1 = \frac{d - D(de + r)}{de - r}, \quad (18)$$

kde d je vzdálenost mezi vrcholy měřené hyperboly a pomocného zrcadla, D je průměr měřené hyperbolické plochy, e je lineární excentricita hyperbolické plochy a r je vrcholová křivost měřené hyperboly. Ve druhém případě je průměr zakryté oblasti dán přímo velikostí difrakčního prvku D_1 .



Obr. 11 Schéma metody měření vypuklých hyperbolických ploch pomocí difrakčního členu a pomocné sféry

V případě, že všechny optické prvky obou měřících metod budou dokonale sjustované a kvalita asféry ideální, nebudou v interferenčním obrazi v rovině fotodetektoru interferometru pozorovány žádné interferenční proužky. Případná výrobní odchylka od ideálního tvaru asférické plochy se pak v interferenčním obrazi projeví vznikem interferenčních proužků. Nicméně na vznik interferenčních proužků má i při ideálním tvaru asférické plochy vliv nepřesnost justáže měřící soustavy. Tato otázka je zvláště významná pro případ měření pomocí klasické Hindelovy metody, která byla navržena pro měření hyperbolických zrcadel astronomických dalekohledů s hodnotou lineární excentricity v řádu několika metrů, takže vliv nedokonalého seřízení prvků soustavy pro kontrolu těchto ploch byl zanedbatelný. Avšak v současnosti jsou tyto hyperbolické plochy navrhovány pro soustavy s ohniskovou vzdáleností několika desítek milimetrů, tedy o několik řádů menší. Proto lze očekávat významný vliv nedokonalosti justáže měřící soustavy na hodnocení kvality měřené plochy. Cílem této práce je tedy získat základní přehled o vlivu jednotlivých parametrů nepřesnosti seřízení Hindelovy měřící soustavy na kvalitu měření.

5. URČENÍ VLIVU JUSTÁŽE HINDELOVY MĚŘÍCÍ SOUSTAVY NA KVALITU MĚŘENÍ HYPERBOLICKÝCH OPTICKÝCH PLOCH

Celá Hindelova měřící soustava na obrázku 9 je ovlivněna justáží tří základních prvků, a to:

- měřené hyperbolické plochy (1)
- odrazné sférické plochy (2)
- bodového zdroje záření v ohnisku F_1 hyperboly (3)

Všechny tyto prvky mohou být dejustovány ve směrech os x , y , z . Dalším možným pohybem způsobující nežádoucí deformaci vlnoplochy je rotace jednotlivých členů. Vzhledem k symetrii sférické plochy a sférické vlnoploše vystupující z obrazu v ohnisku F_1 , má vliv na kvalitu vlnoplochy pouze rotace hyperbolického prvku. Díky rotační symetrii celé soustavy je vliv justážních chyb v rovinách xz a yz na kvalitu vlnoplochy co do velikosti stejný. Proto postačí početně sledovat vliv pouze sedmi parametrů, a to: dx_1 , dz_1 , $d\phi x_1$, dx_2 , dz_2 , dx_3 , dz_3 , kde dx a dz jsou posunutí v osách x a z , $d\phi x$ je natočení prvku v rovině xz od osy z a číslo značí optický prvek, ke kterému se parametr vztahuje.

Pro numerické určení vlivu chyb jednotlivých justážních parametrů byl vypracován program v prostředí MATLAB 6.4. Ten simuluje průchod paprsku soustavou z bodového zdroje $P_1 = [dx_3, dy_3, -e+dz_3]$ v blízkosti ohniska $F_1 = [0, 0, -e]$ na rotačně symetrickou hyperbolickou plochu analyticky vyjádřenou rovnicí [30]:

$$\frac{(x-m)^2}{a^2} + \frac{(y-n)^2}{a^2} - \frac{(z-p)^2}{c^2} = -1, \quad (19)$$

kde z je souřadnice na ose hyperboloidu, x a y jsou souřadnice kolmé na optickou osu, a a c jsou velikosti poloos hyperboloidu, kde pro lineární excentricitu hyperboly platí $e = \sqrt{a^2 + c^2}$ a m, n, p jsou posunutí hyperboloidu v jednotlivých osách odpovídající parametrům dx_1, dy_1, dz_1 . Vztah mezi analyticky vyjádřenými poloosami hyperboly a vrcholovým poloměrem křivosti r a kónické konstantě K používané v rovnici kuželoseček užívané v optickém návrhářství:

$$z = \frac{A_0 C r^2}{1 + \sqrt{1 - K C^2 r^2}} + A_2 r^2 + A_4 r^4 + A_6 r^6 + \dots, \quad (20)$$

je dán vztahy:

$$A^2 = -\frac{r^2}{K} \quad \text{a} \quad C = -\frac{r}{K}$$

Od této hyperbolické plochy se simulovaný paprsek odráží dle obecného vztahu pro vektorový odraz:

$$S' = S - 2(S \cdot n) \cdot n, \quad (21)$$

kde S je směrový vektor paprsku dopadajícího na rozhraní, n je normálový vektor povrchu v místě dopadu paprsku na rozhraní a S' je směrový vektor odraženého paprsku. Odražený paprsek pak dopadá na pomocnou kulovou plochu se středem v blízkosti ohniska $F_2 = [0, 0, e]$ danou rovnicí:

$$(x - m_k)^2 + (y - n_k)^2 + (z - p_k + e)^2 = R^2, \quad (22)$$

kde m_k, n_k, p_k jsou posunutí středu kulové plochy v jednotlivých osách odpovídající parametrům dx_2, dy_2, dz_2 a R je poloměr křivosti pomocné sféry daný vztahem $R = 2e$. Od této pomocné sféry se paprsek odráží dle rovnice odrazu (21) zpět na hyperbolickou plochu a od ní se opět odráží zpět do obrazu zdroje P_1' . V případě dokonale sjustované soustavy, tedy $d_{ji} = 0, j = [x, y, z, \phi x], i = [1, 2, 3]$ vytváří obraz ohniska F_1 v sobě samém. Simulace natočení hyperboloidu ve směru parametru $d\phi_1$ je pro matematicky jednodušší vyjádření provedena ekvivalentním natočením polohy bodu zdroje paprsku P_1 okolo vrcholu hyperbolické plochy dle vztahů:

$$\begin{aligned} P_1 x &= (e+c) \sin(-d\phi_1) \\ P_1 y &= (e+c) \sin(-d\phi_1) \\ P_1 z &= c - (e+c) \cos(-d\phi_1) \cos(-d\phi_1) \end{aligned} \quad (23)$$

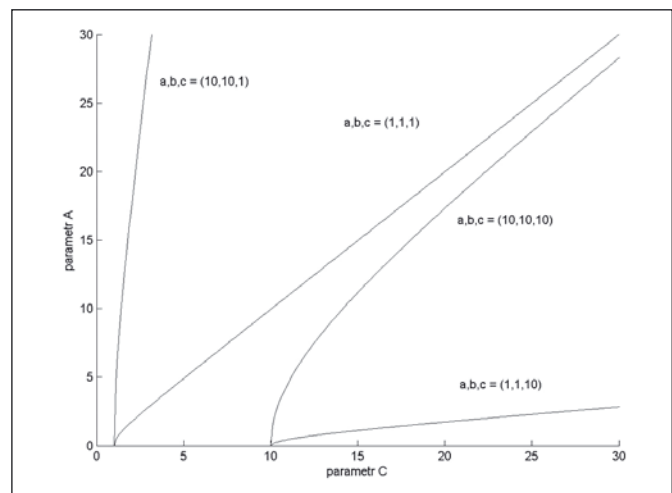
Protože u obou výše zmíněných typů interferometrů jsou interferenční proužky lokalizovány na odrazné referenční ploše interferometru je nutné provést její promítnutí do Hindlova měřicího systému a určit deformaci vlnoplochy a obraz interferenčních proužků v tomto místě. V případě Fizeauova typu interferometru bude referenční plochou sférická plocha se středem v ohnisku F_1 hyperboly tvořená posledním členem objektivu O_1 obrázku 5. V případě interferometru Twyman-Greenova typu to bude rovněž sférická plocha, pro nulový řád interference totožná s plochou pomocného sférického zrcadla. Nicméně protože po odrazu od tohoto zrcadla se při chodu paprsků zpět do interferometru vlnoplocha ještě jednou deformuje na hyperbolické měřené ploše, je nutné určovat deformaci vlnoplochy opět na sférické vlnoploše se středem v ohnisku F_1 hyperboly. Pro případ naznačený na obrázku 9 bude její poloměr křivosti roven dvojnásobku vzdálenosti d od ohniska F_1 k vrcholu hyperboly. Deformace vlnoplochy v tomto místě se pak určí vyčíslením dráhového rozdílu mezi referenční sférickou vlnoplochou a koncovými body všech paprsků simulovaně procházejících soustavou. Správnost výsledků navrženého algoritmu byla ověřena nulovou deformací simulované vlnoplochy pro dokonale sjustovanou soustavu a dále pak srovnáním hodnot simulované deformace vlnoplochy W_s s vlnoplochou W vypočtenou z poloh koncových bodů jednotlivých paprsků v rovinách xz a yz dle vztahů [18]:

$$W = \frac{1}{R'} \int_0^x \delta x' dx \quad \text{a} \quad W = \frac{1}{R'} \int_0^y \delta y' dy, \quad (24)$$

kde R' je poloměr křivosti referenční vlnoplochy a funkce $\delta x'$ a $\delta y'$ jsou funkce dopadových výšek jednotlivých paprsků v rovině kolmé na optickou osu v závislosti na příčné výšce koncového bodu paprsku.

Vytvořený program simuluje průchod 1520 paprsků soustavou a z nich určuje deformaci vlnoplochy a obraz interferenčních proužků lokalizovaný v ploše obrazu referenčního zrcadla interferometru do měřicí větve. Velikost jednotlivých parametrů způsobujících maximální deformaci vlnoplochy požadované velikosti je určena iterační metodou půlení intervalu, kde spodní hodnota prohledávaného intervalu je $d_i = 0$ a horní krajní hodnotu program aktivně hledá. Kritériem ukončení iteračního procesu je určeno dovolenou odchylkou 0,1 % od hledané hodnoty. Simulovanou měřicí vlnovou délkou je červená čára HeNe laseru $\lambda = 632,8$ nm.

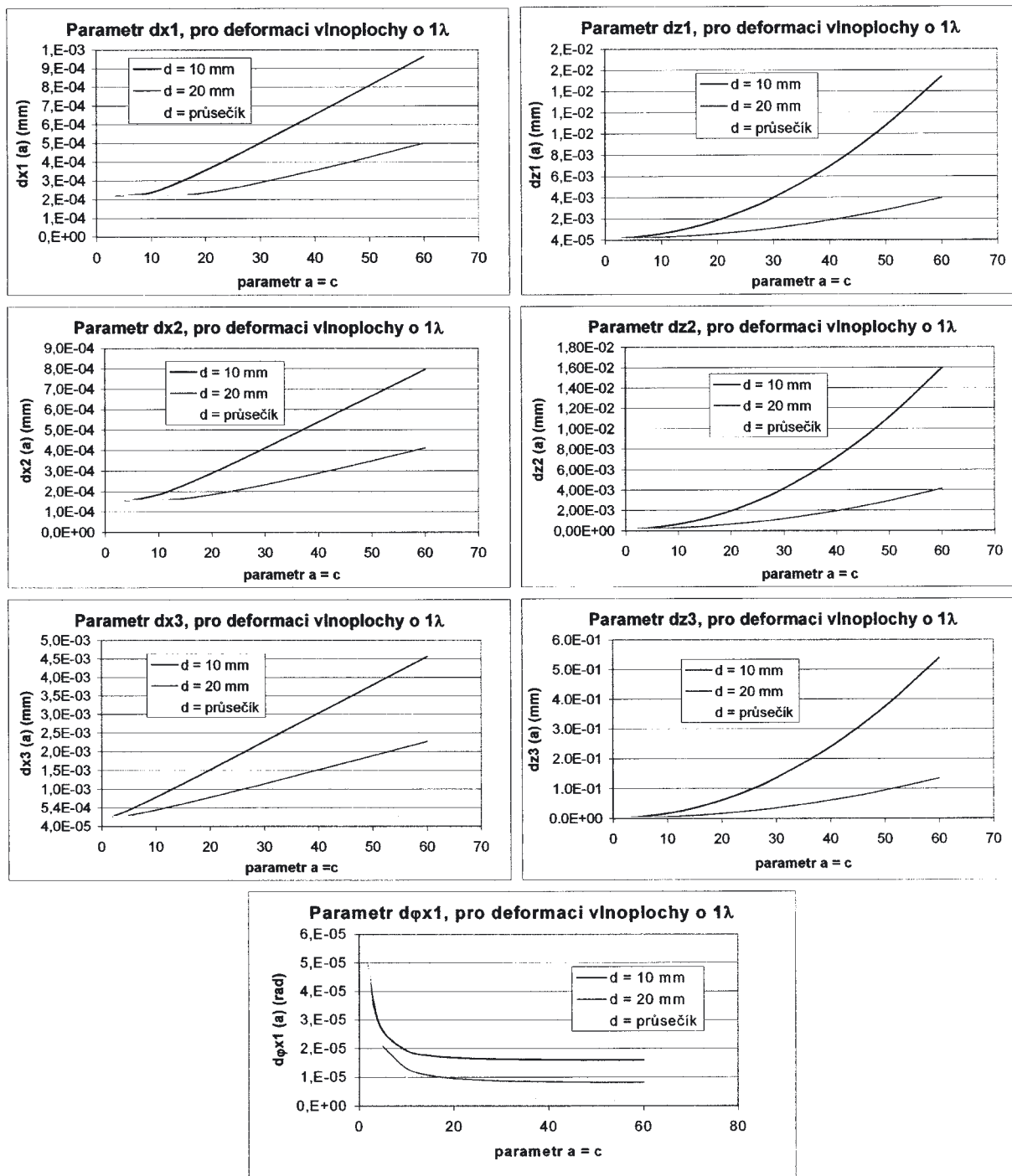
V technické praxi se používají části hyperbolických ploch, které se blíží jistému vrcholovému poloměru křivosti. Naopak nepoužívají se části hyperbolických ploch, které mají asymptotický charakter. Na obrázku 12 jsou znázorněny některé tvary hyperbolických ploch pro jednotlivé parametry a a c .



Obr. 12 Tvary hyperbolických ploch s malými hodnotami parametrů a a c a malou hodnotou excentricity

Poměr vhodných parametrů a/c hyperbolických ploch pak vychází v intervalu (1,10), případně ještě větší. Protože velikost deformace vlnoplochy závisí nejen na hodnotách parametru a a c , ale také na rozměru měřené hyperbolické plochy je na následujícím obrázku zobrazen charakter a velikost hodnot jednotlivých sledovaných justážních parametrů vyvolávající celkovou deformaci vlnoplochy o 1λ , pro jednoduchost, pro hyperboloidy, jejichž velikost poloos a a c je rovná. Do grafů jsou vyneseny hodnoty pro měřené aperturní průměry optiky 10 mm, 20 mm a pro průměr odpovídající průsečíku hyperbolické plochy a pomocného sférického zrcadla.

Z obrázku je patrná klesající citlivost justážních chyb v závislosti na zmenšujícím se průměru kontrované optiky, a také asymptotický charakter hodnot těchto chyb pro měření až do krajní polohy průsečíku hyperbolické plochy a pomocného sférického zrcadla. Obecně lze říci, že měřicí optická soustava je nejcitlivější na seřizení měřeného hyperboloidu podél optické osy z a na příčné vyosení bodového zdroje z ohniska F_1 - parametry dx_1, dy_1, dx_2 a dy_2 . Naopak nejméně citlivá je na posun bodového zdroje v optické ose z - parametru dz_3 . Všechny uvedené parametry jsou silně závislé na kombinaci hodnot poloos měřeného hyperboloidu. Pro parametry hyperboloidů $[a,a,c] = [10,10,1..100]$ se hodnoty dovolených chyb pro deformaci vlnoplochy o $\lambda/4$ a maximální průměr měřené optiky



Grafy hodnot dejustáže jednotlivých parametrů soustavy vyvolající deformaci vlnoplochy 1λ pro hodnotu poloos hyperboly $a = c$ a různé průměry sledované soustavy

omezené průsečíkem hyperboloidu a pomocné sférické plochy pro $R = 2e$ se pohybují na hodnotách $10^{-3} - 10^{-5}$ mm, takže vliv justážních chyb na kvalitu měření je v tomto případě velký. Za zmínku pak také stojí, že hodnota dovoleného příčného vyosení měřené hyperboly dx_1 a dy_1 je lineárně závislá na poloose a hyperboly a hodnota dovoleného natočení hyperbolické plochy kolem jejího vrcholu $d\phi_{x1}$ není závislá na parametru c hyperboly. Ostatní justážní chyby mají pro rostoucí rozměr poloosy a hyperboloidu charakter asymptotické hyperbolické funkce s horní limitou – chyby: dz_1 , dx_2 a dz_2 a dolní limitou – chyby: dx_3 , dz_3 .

Hodnota velikosti poloměru pomocné sférické plochy se obecně nemusí rovnat hodnotě $R = 2e$, jak je naznačeno na obrázku 9, ale může nabývat jakékoli hodnoty větší než

$$R \geq e \left(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{a^2 + c^2}} \right), \quad (25)$$

což je hodnota poloměru R , pro kterou se vrchol sféry dotkne vrcholu měřené hyperboly. Pro případ hyperboly s rovnou velikostí poloos pak vychází minimální hodnota na:

$$R = e \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right).$$

Numerická simulace jednotlivých justážních chyb ukázala jejich nezávislost na volbě poloměru křivosti pomocné sféry pro libovolnou hodnotu poloos hyperboly $a = c$ a konstantní měřený průměr hyperboly. Lze proto minimalizovat rozměr pomocného sférického zrcadla volbou jeho poloměru křivosti R tak, aby radiální rozměr průsečíku obou ploch byl roven měřenému průměru hyperboly D . To je ale vykoupeno zvětšením oblasti necitlivosti měření ve vrcholu měřeného hyperboloidu, dané vztahem (18). Velikost poloměru křivosti pomocného sférického zrcadla pak v závislosti na průměru měřené plochy a parametru hyperboly vychází dle rovnice:

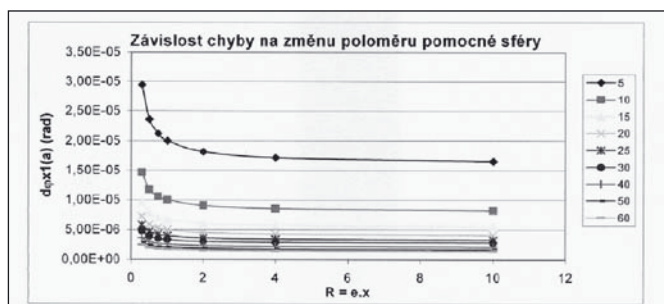
$$R^2 = \frac{D^2}{4} \left(1 - \frac{1}{K} \right) - 2C \sqrt{\frac{D^2}{4} \left(1 - \frac{1}{K} \right) + e^2 + e^2 + 1}, \quad (26)$$

kde K je kónická konstanta hyperboloidu $K = \frac{a^2}{c^2}$ a e je lineární excentricita $e = \sqrt{a^2 + c^2}$. Pro tento případ pak jsou jednotlivé justážní chyby měřicí soustavy závislé na poloměru křivosti R . Vyjímku jsou chyby způsobené příčným posuvem hyperboly a sféry $-dx1, dy1, dx2$ a $dy2$, které ani v tomto případě na poloměru křivosti R závislé nejsou. Ostatní chyby mají charakter hyperbolické funkce, jak je vidět na obrázku 13, a hodnota chyb nezávisí na velikosti poloos hyperboly $a = c$.

Jedinou výjimkou je chyba natočení hyperboloidu $d\phi x1$, jejíž hodnota je závislá na velikosti poloos hyperboly, jak je znázorněno na obrázku 14.



Obr. 13 Hyperbolický charakter hodnot justážních chyb v závislosti na poloměru křivosti pomocného sférického zrcadla vyjádřeném jako násobek lineární excentricity hyperboloidu e



Obr. 14 Chyba natočení hyperboloidu $d\phi x1$ závislá na velikosti poloos hyperboly

Oba grafy jsou vygenerovány pro hodnotu deformace vlnoplochy rovné 1λ . Klesající citlivost chyb pro zmenšování poloměru křivosti pomocného sférického zrcadla je v tomto případě jen důsledkem zmenšení zvoleného rozměru měřené plochy.

Jednotlivé justážní chyby se projeví ve výsledném měřeném interferenčním obrazci charakteristickým způsobem. Přehled numerické simulace těchto charakteristických obrazců včetně

odpovídajícího tvaru vlnoplochy pro parametry hyperboloidu $[a,a,c] = [10,10,20]$ je pro hodnotu deformace vlnoplochy 3λ na následujícím obrázku 15 [31].

Z obrázků je zřejmá analogie jednotlivých justážních chyb a přitom jejich vzájemná rozdílnost.

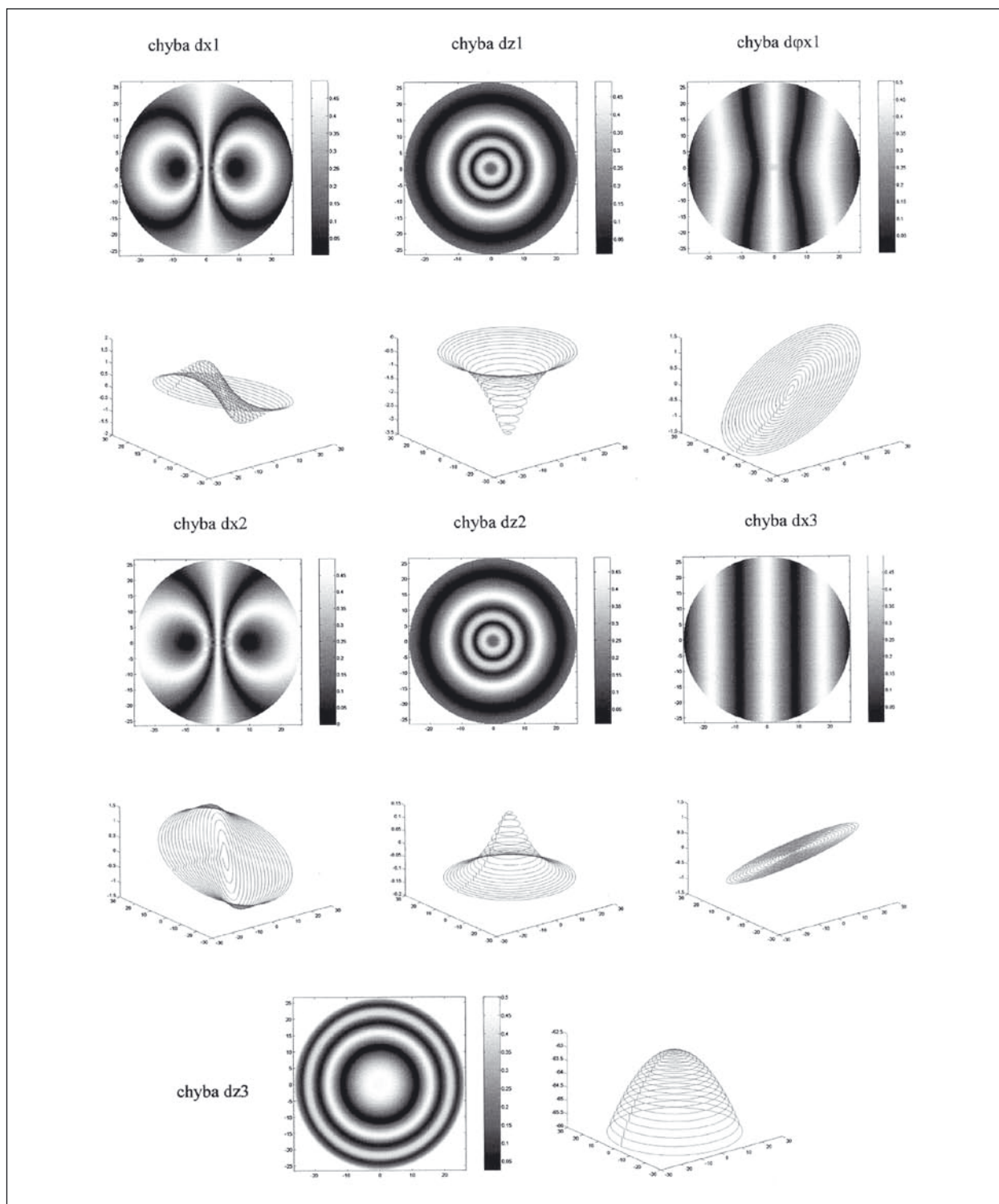
6. ZÁVĚR

Byl podán stručný přehled vybraných kontaktních i bezkontaktních metod sloužících k měření kvality asférických optických ploch. Pro případ optických ploch tvaru rotačního hyperboloidu byly prezentovány způsoby měření těchto ploch interferenčním způsobem. Pro případ měření kvality optických ploch tvaru rotačního hyperboloidu interferenčním způsobem pomocí klasické Hindleovy metody byl vypracován program numerické simulace deformace vlnoplochy způsobené justážními pohyby jednotlivých optických členů měřicí soustavy. Největší vliv na kvalitu měření hyperbolických ploch má seřízení měřeného hyperboloidu v podél optické osy z a dále pak příčné vyosení bodového zdroje z ohniska F_1 . Velikost hodnot těchto chyb závisí na kombinaci velikosti poloos simulovaných hyperboloidů a hlavně průměru měřené asférické plochy. Dále bylo zjištěno, že velikost jednotlivých justážních chyb Hindleovy měřicí metody nezávisí na volbě poloměru křivosti pomocné sféry pro libovolnou hodnotu poloos hyperboly $a = c$ pro konstantní měřený průměr hyperboly. Lze proto minimalizovat rozměr pomocného sférického zrcadla volbou jeho poloměru křivosti R tak, aby radiální rozměr průsečíku obou ploch byl roven měřenému průměru hyperboly D . Pro tento případ byl zjištěn asymptotický charakter hodnot jednotlivých justážních chyb způsobujících konstantní hodnotu deformace vlnoplochy dejustovanou soustavou.

Také byla provedena numerická simulace charakteristických interferenčních obrazců a tvarů deformovaných vlnoploch pro jednotlivé justážní chyby. Je otázkou experimentálního ověření, zda by šlo tyto charakteristické interferenční obrazce použít jako vodítko pro přesné seřízení měřicí soustavy kontroly hyperboloidu.

Literatura

- [1] Giggel, V., Köhler, T., Ullrich, G., Weber, C.: Technologické postupy ve výrobě přesných asférických ploch., *Jemná mechanika a optika*, roč. **50**, č. 9, s. 268-271, 2005.
- [2] Havelka, B.: Geometrická optika I, ČSAV, Praha 1955.
- [3] Jurek, B.: Optical Surfaces, Academia, Praha 1976.
- [4] Apenko, M.I., Zaprjagajeva, L.A., Svješnikova, I.S.: Zadačnik po prikladnoj optike, Nedra, 1987.
- [5] Baudyš, A.: Technická optika, Vydavatelství ČVUT, Praha 1996.
- [6] Mikš, A.: Ověřování přesnosti souřadnicových měřicích strojů pomocí dvoubodového normálu délky., *Jemná mechanika a optika*, roč. **43**, č. 3, s. 81-83, 1998.
- [7] N. Yoshihara, T. Kuriyagawa, H. Ono: Development of Fluctuation-Free Ultra-Precision Grinding Method for Extreme Precise optical Parts, *The VIIth International Conference on Monitoring and Automatic Supervision in Manufacturing – AC 04*, Zakopane, Poland, 19 - 21 August 2004.
- [8] Hartmann, J.: Bemerkungen über den Bau und die Justirung von Spectrographen, *Z. Instrumentenk.*, 20-47, 1900.
- [9] Shack, R. V., Platt, B. C.: Production and use of a lenticular Hartmann screen. Optical Sciences Center, University of Arizona, Tucson, Spring Meeting, *JOSA* 61-656, 1971.
- [10] Southwell, W. H., *Wave-front estimation from wave-front slope measurements*, *JOSA* Vol. 70, No. 8, August 1980.
- [11] Guang-ming Dai, *Modified Hartman-Shack Wavefront Sensing and Iterative Wavefront Reconstruction*, SPIE Vol. 2201: Adaptive Optics in Astronomy, 1994.
- [12] Hardy, J. W., *Adaptive Optics for Astronomical Telescopes*, Oxford University Press, 1998.
- [13] Snopek, D.: Testování optických prvků pomocí analýzy tvaru vlnoplochy. *Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky*, 51-54, Herbertov Vyšší Brod, 3. - 5. června, 2005.



Obr. 15 Přehled charakteristických interferenčních obrazců jednotlivých justážních chyb vyvolající deformaci vlnoplochy 3λ

- [14] Novák, J., Mikš, A.: Modern optoelectronic methods for non-contact deformation measurement in industry, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, **4**, S413-S420, 2002.
- [15] Rusinov, M. M.: Nesferičeskije poverchnosti v optice: Rasčet, izgotovaniye i kontrol, Nedra, Moskva 1973.
- [16] Optical Shop Testing, Edited by Daniel Malacara, *John Wiley & Sons, inc.*, 1992.
- [17] Václavík, P.: Technická optika II, Vydavatelství ČVUT, 152 s., Praha 1996.
- [18] Mikš, A.: Aplikovaná optika 10 (Geometrická a vlnová optika). 1. vyd. Vydavatelství ČVUT, 259 s., Praha 2000.
- [19] Mikš, A.: Interferometrické metody vyhodnocování sférických ploch v optice., *Jemná mechanika a optika*, roč. **46**, č. 1, s. 29-35, 2001.
- [20] Malacara-Doblado, D., Dorrio B.V.: Family of detuning-insensitive phase-shifting algorithms. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. Oct*, **17**(10): 1857-63, 2000.
- [21] Novák, J.: New Phase Shifting Algorithms Insensitive to Linear Phase Shift Errors, *Acta Polytechnica*, Vol. **42**, No. 4, s. 51-56, 2002.
- [22] Huang, P. S, Hu, Q. J., Chiang, F. P.: Double three-step phase-shifting algorithm. *Appl Opt.*, Aug 1;41(22):4503-9, 2002.

- [23] Novák, J.: Five-step phase-shifting algorithms with unknown values of phase shift. *Optik.*, Vol. **114**, No. 2, s. 63-68, 2003.
- [24] K. Larkin, "A self-calibrating phase-shifting algorithm based on the natural demodulation of two-dimensional fringe patterns," *Opt. Express* **9**, 236-253 (2001), <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=OPEX-9-5-236>.
- [25] Wyant, J. C.: Phase shifting interferometry, <http://www.optics.arizona.edu/jwyant/Optics513/ChapterNotes/Chapter05/PrintedVersionPhaseShiftingInterferometry.pdf>, 2000
- [26] Patorski, K.: Moiré Methods in Interferometry, *Opt. and Lasers in Eng.* **8**:147, 1988.
- [27] Patorski, K.: The Moiré Fringe Technique, Elsevier, London, 1993.
- [28] Hindle, J. H., A New Test for Cassegrainian and Gregorian Secondary Mirrors. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. **91**, p. 592, 1931.
- [29] Grammatin, A. P., Zverev, B. A.: Interferometričeskij kontrol vypuklych giperboli-českých zerkal. *Optičeskij žurnal*, tom **67**, No 4, 2000.
- [30] Bartsch, H. J.: Matematické vzorce, SNTL Praha, 1983.
- [31] Hošek, J.: Vliv nepřesnosti justáže na kontrolu hyperbolických optických ploch, *Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky*, 55-58, Herbertov, Vyšší Brod, 3. - 5. června, 2005.

Ing. Jan Hošek, Ph.D., Ústav přístrojové a řídicí techniky, FS ČVUT, Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, Praha
Kontaktní adresa: Fakulta strojní ČVUT, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha6, tel.: 420-224 352 552

František HRUŠKA, Ústav elektrotechniky a měření, Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín

Internet a laboratoře integrované automatizace

Příspěvek dává úvodní informace o řešení projektu FRVŠ s názvem „Laboratoře integrované automatizace. Cílem projektu je vybudovat moderní laboratoře s distančními reálnými experimenty (dále jen úloha) přístupnými lokálně i dálkově přes internet. Přístup a provádění laboratorních úloh a praktických měření při výuce aplikované informatiky a integrované automatizace je navržen pro celkem 9 úloh.

ÚVOD

Cílem projektu je vybudovat moderní laboratoře s distančními reálnými experimenty (dále jen úloha) přístupnými lokálně i dálkově přes internet. Přístup a provádění laboratorních úloh a praktických měření při výuce aplikované informatiky a integrované automatizace je navržen pro úlohy:

- regulace teploty (model DE1)
- topná soustava (model DE2)
- průtokoměry (model DE3)
- spjité řízení motoru (model DE4)
- biochemický proces (model DE5)
- propojení RS232-Internet (model DE6)
- komunikace ASI- Ethernet (model DE7+DE8+DE9).

V následující části příspěvku je uveden popis typických úloh podle použitých centrálních jednotek.

POPIS TYPICKÝCH ÚLOH

Úloha okruh regulace teploty – model DE1

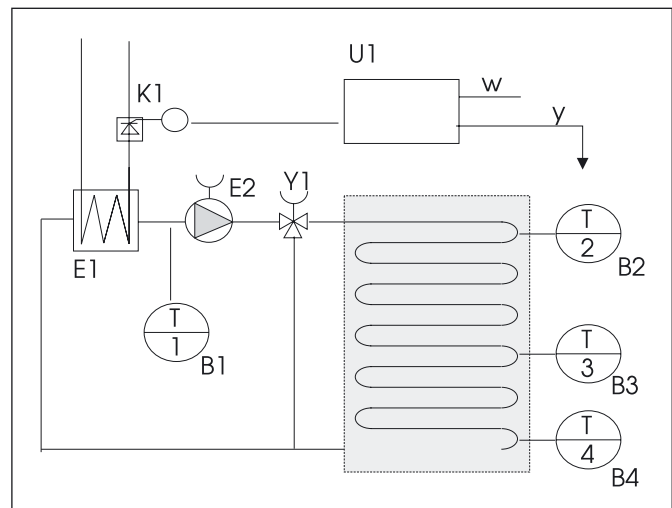
Experiment plní funkci uzavřeného okruhu regulace teploty. Model obsahuje soustavu s dopravním zpožděním a s rozloženými parametry. Soustava je vytvořena ohřívacem vody, meandrem z měděného potrubí v délce cca 15 m. Velikost dopravního zpoždění a hodnoty teplot reprezentující parametry soustavy s rozloženými parametry lze nastavit polohou ventilu Y1 soustavy. Schéma experimentu je na *obr. 1*.

Úloha používá moderní prostředky měření a automatizace. Regulátor PID je napojen na centrální jednotku SIMATIC pomocí linky PROFIBUS DP. Ovládní toku elektrické energie je zajištěno elektronickou jednotkou E1 s polovodičovými prvky.

Úloha topná soustava – model DE2

Složité experimentální zařízení úlohy DE2 reprezentuje základní sestavu modelu topné soustavy. Schéma experimentu je na *obr. 2*.

Úloha je osazena moderními snímači, centrální jednotkou typu IPC a ovládacími prvky. Programové prostředky jsou vybudovány v prostředí SCADA a pracují způsobem HTML slave serveru.



Obr. 1

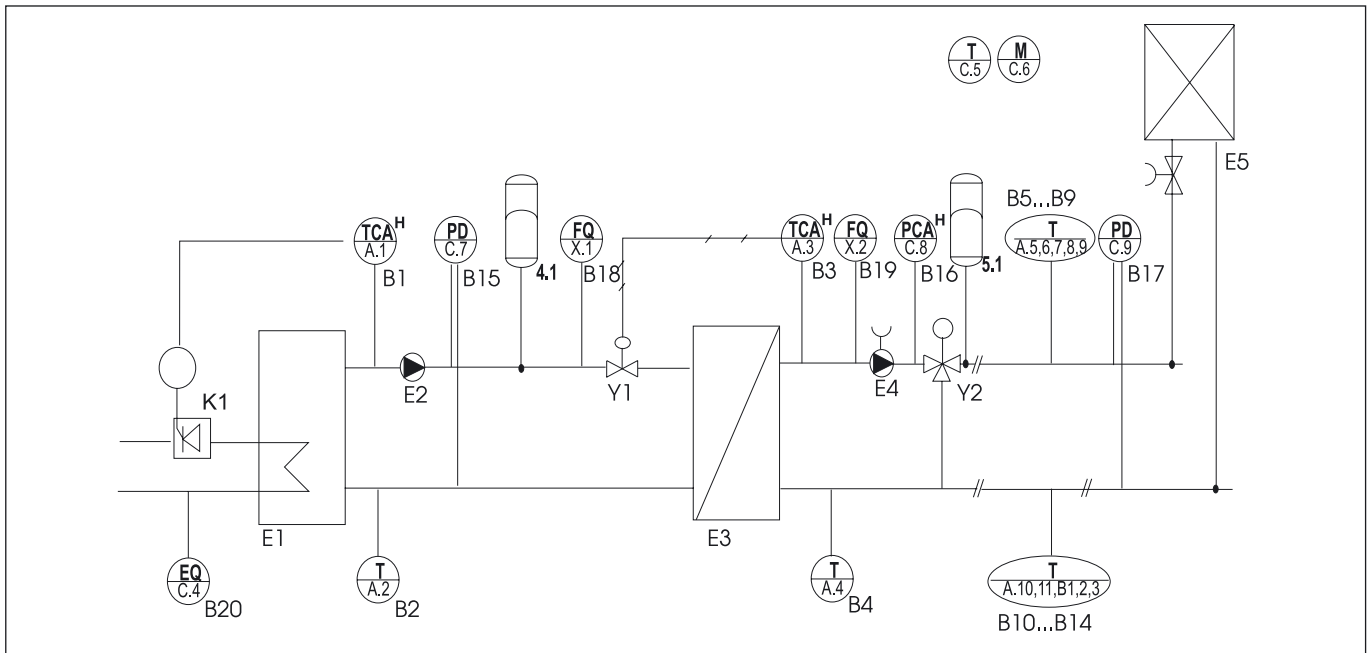
Úloha průtokoměry- model DE3

Úloha DE3 umožní představit 4 různé typy průtokoměrů, pracovat s nimi a studovat jejich parametry. Schéma experimentu je na *obr. 3*.

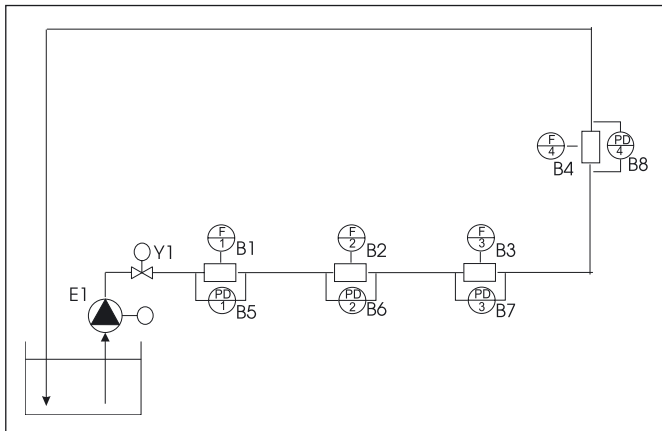
Úloha používá centrální jednotku SIMATIC S7-300 a průtokoměry jsou napojeny pomocí sériového propojení PROFIBUS. Změny průtoku se provádí polohou škrticího ventilu.

Úloha spjité řízení motorů – model DE4

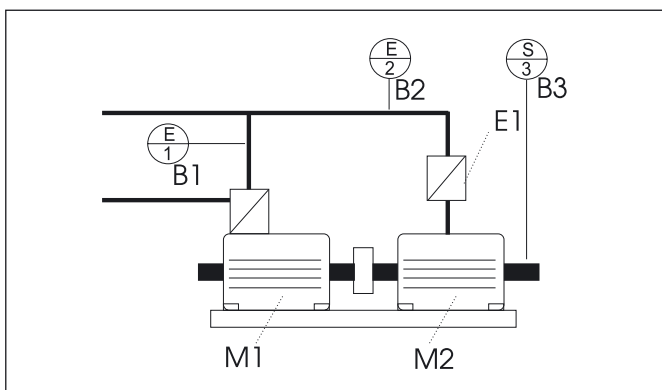
Spjité řízení asynchronních motorů představuje úloha DE4. Schéma experimentu je na *obr. 4*. Specifická struktura využívá hnacího motoru M1 řízeného integrovaným frekvenčním měničem a brzdícího motoru M2 s proměnlivými otáčkami ze samostatného frekvenčního měniče.



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4

Úloha biochemické procesy – model DE5

Model DE5 je určen pro provozování biochemických procesů. Technologickým zařízením je fermentor typ LF20. Zařízení fermentoru je profesionální zařízení konstruované a používané pro biotechnologické procesy. Fotografie na obr. 5a dává celkový pohled na technologické zařízení.

Pro základní provoz úlohy DE5 jsou pro biochemický proces navrženy (viz obr. 5b):

Měřicí obvody:

- měření teploty T1, typ Pt100, rozsah 0-100 °C s převodníkem 0-10 V, dodavatel REGMET
- měření výšky hladiny L, rozsah 0-0,35 m, kapacitní snímač a převodník, dodavatel DINEL
- měření relativního tlaku vnitřního prostoru, rozsah 0-60 kPa, výstup 0-10 V, dodavatel BD SENSORS
- měření pH (1-14 pH) a redox potenciálu (-700 mV až 1000 mV), dodavatel Hach Lange
- měření vodivosti, rozsah 200 μS/m až 2 S/m, dodavatel Hach Lange

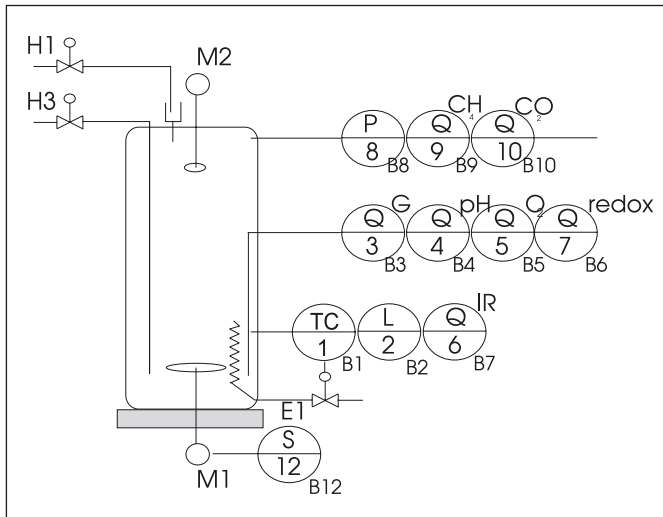


Obr. 5a

- měření obsahu kyslíku v roztoku, rozsah 0-20 mg/l, dodavatel Hach Lange
- měření zakalení, rozsah 0-10000 NTU
- Měření otáčení motoru 0-1000 n/min

Ovládací prvky:

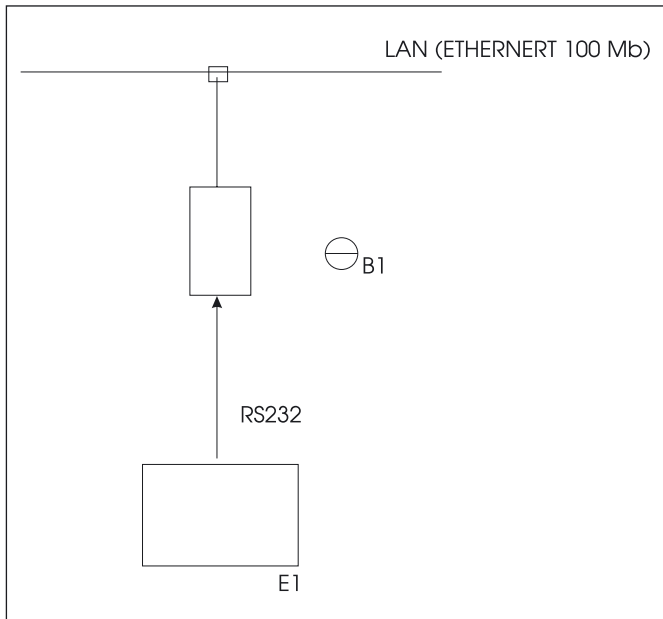
- otáčení motoru míchadla M1 v rozsahu 50 až 1000 ot/min,
- ohřev topným tělesem 230 V/600 W.



Obr. 5b

Úloha propojení RS232/Ethernet – model DE6

Úloha DE6 umožní řešit propojení techniky s výstupem RS232 na síť Ethernet. Schéma experimentu je na obr. 6.

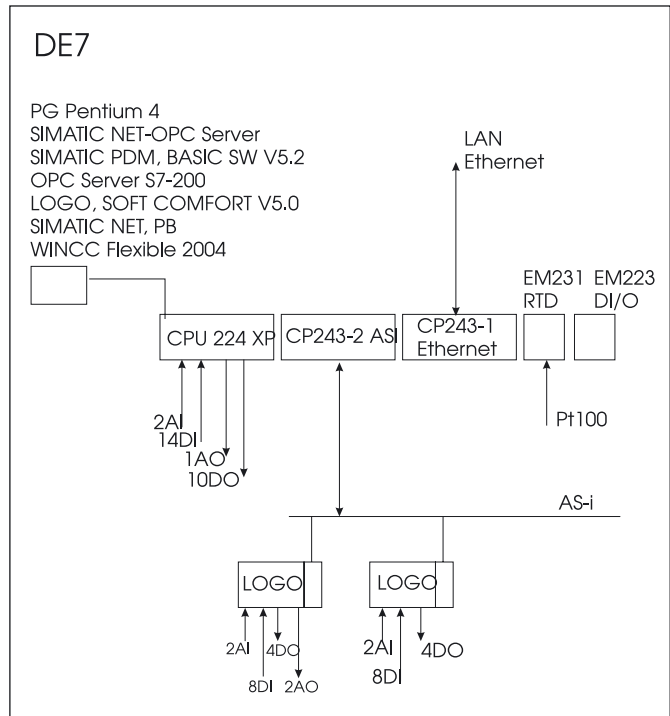


Obr. 6

Úloha komunikace ASI – model DE7/DE8+DE9

Specifické propojení ASI a vyšší úroveň např. na Ethernet umožní představit úloha DE7. Schéma experimentu je na obr. 7.

Prostředky centrálních jednotek jsou zvoleny z nabídky SIEMENS a to typy SIMATIC S7-200. Procesor CP243-2 umožňuje vytvořit podřízenou síť ASI a na ní dále napojit microPLC typ LOGO. Tato zařízení jsou dále svými vstupy a výstupy napojeny na úlohy DE8 a DE9.



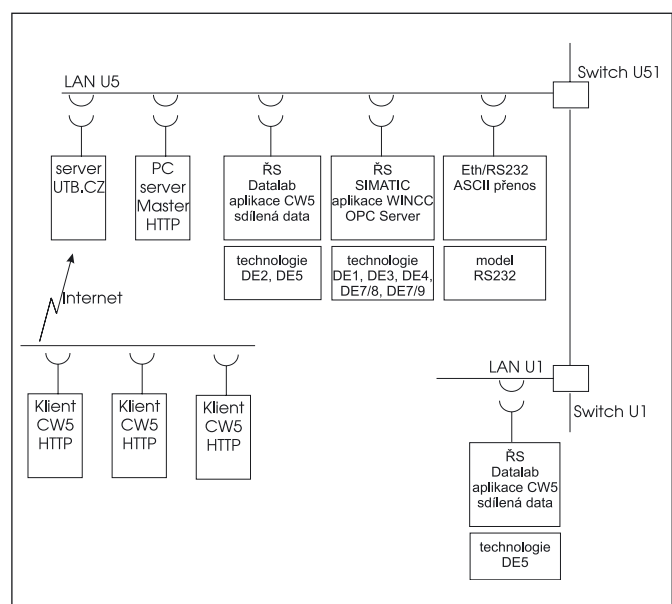
Obr. 7

Úloha DE8 umožní představit a pracovat s jednoduchou úlohou obsahující soustavu hladin v zásobnících a to prostřednictvím víceúrovňové komunikace ASI-Ethernet. Úloha DE9 umožní představit a pracovat se 4 různými typy zdrojů světla s tím, že je řízená a sledovaná ve spojení s úlohou DE7 a s propojením ASI.

TOPOLOGIE PROPOJENÍ ÚLOH

Navržené úlohy budou umístěny v různých místnostech areálu U5 (budova Jižní svahy) a jedna úloha bude v budově U1 (budova FT) UTB.

Síť Lan v každé budově je typu Ethernet 100/1000 Mb/s. Vzájemné propojení je provedeno zařízením s přepínači. Toto zapojení umožňuje napojovat úlohy i na jiných segmentech v jiných budovách UTB. Schéma navržené topologie je na obr. 8.



Obr. 8

Z topologie propojení jednotlivých úloh vyplývá, že projekt je založen na propojení úrovně typu:

- Internet
- Intranet
- Profibus
- ASI
- Signálů 0-10 V, 4-20 mA, TTL.

Propojení Internet slouží k zajištění přístupu z vnější celosvětové sítě Internet. Uživatel po vyvolání adresy domény si zvolí úlohu a následně vyplní formulář požadavků na provoz úlohy a na měření a sledování úlohy. Tyto operace probíhají na Master serveru. Specifikace prostředků obsahuje standardní PC techniku s operačním systémem MS WINDOWS XP Professional.

Po potvrzení formuláře se spustí operace na konkrétním Slave serveru podle zvolené úlohy. V projektu je použito u experimentů DE1, DE3, DE4, DE7, DE8, DE9 zařízení typu PLC od firmy SIEMENS (všech tří úrovní S7-300, S7-200 a LOGO). U experimentů DE2, DE5 jsou použity u Slave serverů centrální jednotky typu průmyslových personálních počítačů, typ IPC Datalab.

Propojení Master a Slave serverů u všech úloh je přes síť LAN-Ethernet. Propojení PLC u úlohy DE7 s jednotkami LOGO je typu ASI. Další typ propojení je u úlohy DE1, kde je spojen regulátor SIPAM s PLC sériovým propojení RS485-Profibus a u úlohy DE3, kde jsou spojeny tři průtokoměry stejnou sběrnicí. U ostatních úloh jsou snímače a akční jednotky propojeny unifikovanými signály na vstupy AI, DI a výstupy AO a nebo DO.

Lokální přístup k úlohám v místě jejich dislokace je připraven prostřednictvím notebooku nebo lokálního PC umístěného u zařízení experimentu.

ZÁVĚR

Projekt Laboratoře integrované automatizace po realizaci a zprovoznění umožní jednak moderní výuku laboratorních cvičení případně pracovat s experimenty při přednáškách prováděných přes internet, jednak zajistí výuku v předmětech Technické prostředky automatizace a Projektování systémů automatizace na konkrétních reálných zařízeních. Tím se může podstatně zvýšit úroveň výuky a zájem studentů o výuku na IRPI. Současně bude možné úlohy využívat pro prezentaci v přednáškách a i pro výzkumné účely.

Doc. Ing. František Hruška, Ph.D., Ústav elektrotechniky a měření, Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Nad Stráněmi 4511, 760 01 Zlín, tel.: 576 035 246, e-mail: hruska@ft.utb.cz

Milan ADÁMEK, Lubomír MACKŮ, Ústav elektrotechniky a měření, Fakulta aplikované informatiky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín

Tepelné značky a jejich využití v mikrofluidice

Mikrofluidika – technika měření a řízení průtoku tekutin v zařízeních o extrémně malých rozměrech je v popředí zájmu řady výzkumných pracovišť. Velmi malá Reynoldsova čísla proudění vylučují v mikrofluidice uplatnění standardních přístupů měření průtoku. Měření průtoku pomocí tepelných značek se ukazuje jako velmi výhodná právě v mikrofluidice.

1. PRŮTOK A MIKROFLUIDIKA

Průtok patří mezi nejčastěji měřené technologické veličiny v průmyslové praxi. Do popředí zájmů se dnes dostává i měření malých průtoků, typické jsou třeba aplikace v analytické mikrochemii při rozboru složení tekutinových nebo tekutinou unášených vzorků, biochemii, farmacii nebo v bioinženýrství.

Celková tendence vývoje senzorů k aplikaci mikromechanických postupů a struktur je patrna ze všech základních typů senzorů určených pro měření mechanických veličin. Mikromechanickými postupy zhotovené senzory představují nový vývojový směr konstrukce senzorů. Kromě evidentních předností jako jsou malé rozměry a hmotnost, podstatně snížení výrobních nákladů při hromadné výrobě, umožňují uplatnit metrologicky výhodné koncepce zmenšení systematických chyb.

Mikrofluidika se zabývá prouděním tekutin v malých kanálcích. Podle obvyklé definice do ní patří proudění s příčnými rozměry menšími než 1 mm. Typická mikrofluidická zařízení jsou zhotovována technologiemi původně vyvinutými pro mikroelektroniku. Zejména běžné je leptání kanálků pro průtok tekutiny v křemíkových čípech, na nichž jsou velmi často elektronické obvody, které mohou průtok řídit anebo získávat informaci již tekutina přináší.

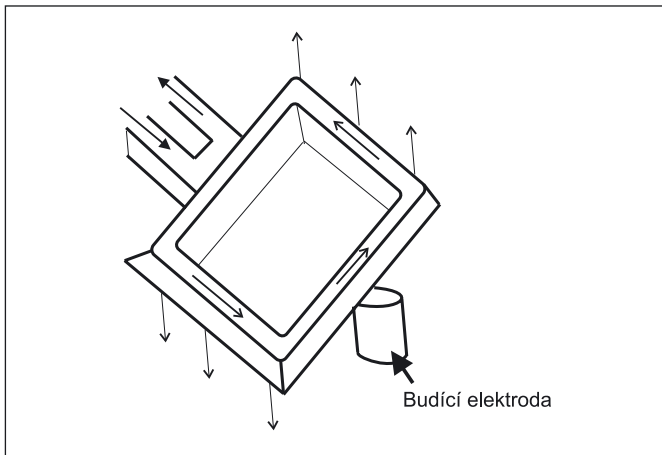
2. MĚŘENÍ MALÝCH PRŮTOKŮ

Důležité je samozřejmě vědět, kolik tekutiny v mikrofluidickém systému proudí. Běžné přístupy, jako třeba použití průřezových

měřidel se neosvědčily – vyvolávají příliš velké ztráty, generované tlakové rozdíly jsou velmi malé a hrozí zanesení, popř. ucpaní mimořádně malých otvorů.

Výstup průtokoměru je zpravidla požadován v elektronické podobě. Samozřejmě je nutná přeměna pohybu běžné elektricky neutrální tekutiny na elektrický signál. Nejjednodušší je cesta přes mechanický pohyb. Lze využít mikroturbínu, která slouží jako převodník na rotační mechanický pohyb. Ovšem výroba pohyblivých součástí mikrofabrikačními postupy je poměrně komplikovaná, existují jednodušší možnosti. Pro účely převodu mechanického signálu na signál elektrický lze vystačit s malými deformačními pohyby. Např. ve shodě se známým principem Coriolisových průtokoměrů vzniká při nenulové hodnotě rychlosti průtoku Coriolisova síla vyvolávající v ramenech rámu rovnoběžných s vektorem rychlosti proudění kroutící moment. Amplituda výchylky roviny rámu je pak úměrná hmotnostnímu průtoku.

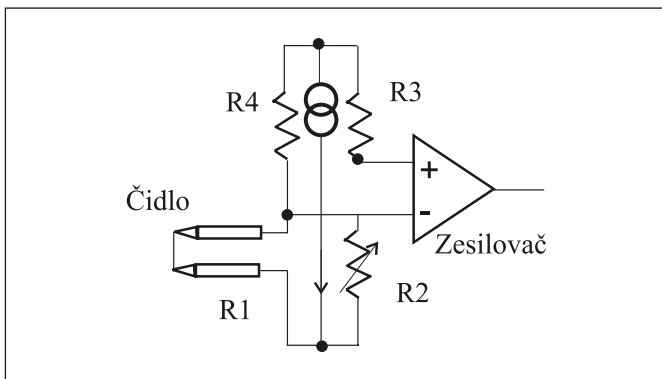
Pro dnešní mikrofluidiku je mnohem typičtější využít pro mezipřevod místo mechanického pohybu tepelných efektů. Umožňují to právě malé rozměry, při nichž přestává být významná tepelná setrvačnost, která jinak u větších rozměrů výrazně ovlivňuje dynamiku převodu. Zpravidla stejné elektrické odpory mohou sloužit jako čidla převádějící teplotní změny na žádaný elektrický signál. Využívá se teplotní závislost elektrického odporu, který s teplotou roste u kovů, naopak klesá u některých polovodičových materiálů.



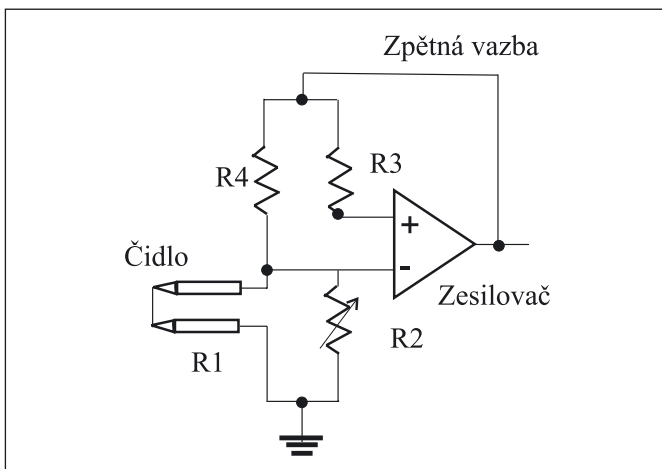
Obr. 1 Struktura mikromechanického senzoru hmotnostního průtoku

U nich je výhodou vysoká hodnota součinitele teplotní změny, kovy se naopak vyznačují větší stálostí vlastností. Ostatně platina se z tohoto důvodu používá jako kalibrační standard, umožňující reprodukovatelně rozlišovat změny teploty o 0,01 K.

Lze využít třech základních typů termoelektrických průtokoměrů. Nejjednodušší průtokový snímač pouze s jedním odporovým teploměrem zasahujícím k tekutině nebo až do ní je založen na *termoanemometrickém* principu. Měří se změny elektrického odporu způsobené tím, jak obtékající tekutina ochlazuje čidlo ohřívané průchodem elektrického proudu. Je žádoucí, aby čidlo zabíralo co největší část protékajícího průřezu, aby se tak zmenšila závislost na možných změnách rychlostního profilu. Také pro dosažení větší hodnoty elektrického odporu mívají čidla obvykle meandrovitý tvar.



Obr. 2 Anemometrické měření CCA

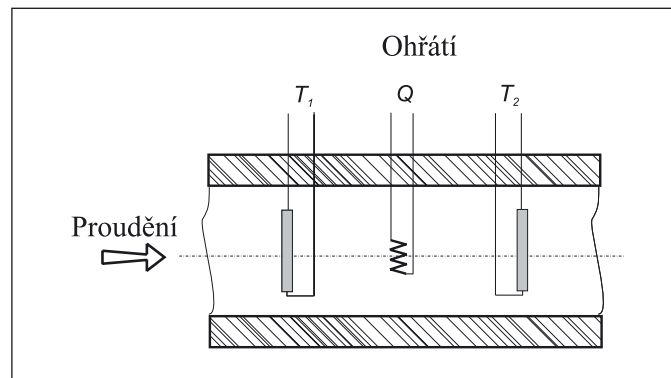


Obr. 3 Anemometrické měření CTA

Podobně jako v klasické drátkové anemometrii se používají dvě základní zapojení čidla do elektrického obvodu. Jednodušší verze, známá jako CCA (*Constant Current Anemometry*), umožňuje, aby došlo ke změně teploty čidla ochlazovacím účinkem tekutiny. Tím se změní velikost jeho odporu, která je měřena běžným způsobem v zapojení s Wheatstoneovým můstkem. Druhá, dokonalejší metoda se složitějším elektronickým obvodem je označována jako CTA (*Constant Temperature Anemometry*). Toto zapojení využívá zpětné vazby, pomocí níž je čidlo udržováno na stálé hodnotě odporu - tedy na konstantní teplotě, na níž odpor jednoznačně závisí.

Druhá metoda, která používá tři odpory v kontaktu s proudící tekutinou, je označována jako *kalorimetrická*. Jeden z odporů (zpravidla prostřední z nich) slouží jako trvalý tepelný zdroj. Zbylé dva odpory slouží k měření teplotního pole v tekutině. Lze přitom použít jak symetrické rozložení odporových čidel, tak jejich jednostranné rozmístění.

Třetí metoda je založena na principu vytvoření tepelné značky v proudící tekutině (*Time - of - Flight Sensor*).



Obr. 4 Kalorimetrický princip měření průtoku využívající deformaci teplotního pole

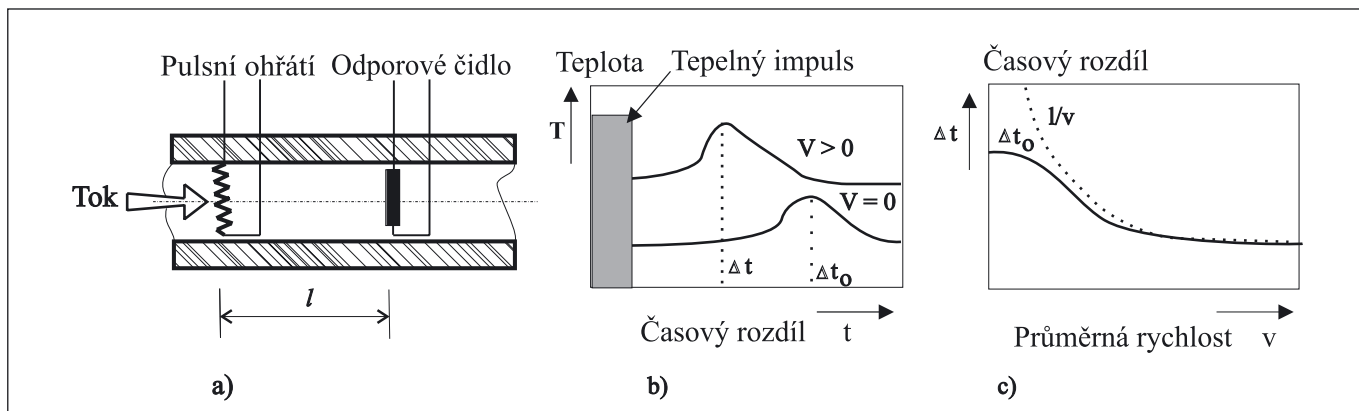
3. TEPELNÉ ZNAČKY

Tento typ termoelektrického průtokoměru je tvořen nejméně dvěma odpory, z nichž jeden slouží jako pulzní tepelný zdroj. Proudový impuls procházející tímto odporem umístěným výše proti proudění ohřeje malé množství tekutiny nacházející se v daném okamžiku v bezprostřední blízkosti. To je pak unášeno měřeným prouděním, jeho přítomnost lze detekovat jako krátkodobou změnu elektrického odporu čidla umístěného ve známé vzdálenosti ve směru průtoku. Měřen je časový úsek Δt mezi oběma maximy odporových změn. Hodnota průtoku je pak úměrná poměru $l/\Delta t$, kde l je vzdálenost mezi dvěma odpory v kanálku. Přesnost měření se zlepšuje s klesajícím Reynoldsovým číslem, protože se zmenšuje difúze tepelné značky tím, že ubývá v proudící tekutině vírových pohybů. Tato metoda je obzvláště výhodná v mikrofluidice, navíc umožňuje generování digitálního výstupního signálu načítáním hodinových pulsů během intervalu Δt .

3.1. Numerický model průtokoměru s tepelnými značkami

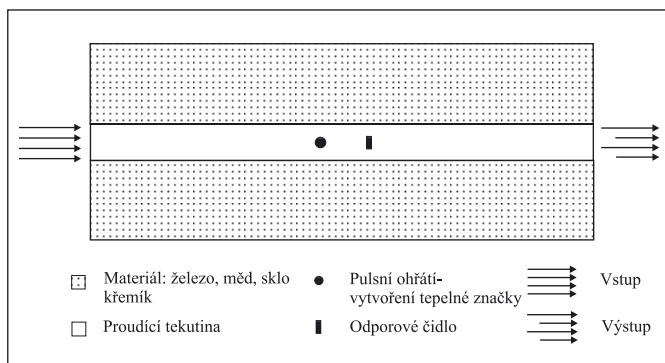
Pro vytvoření modelu výše zmiňovaného typu průtokoměru byl využit program *FEMLAB*. Tento program je nadstavbou Matlabu a je vhodný pro modelování zejména fyzikálních a chemických dějů. Pro řešení soustav diferenciálních rovnic, které daný problém popisují, používá metodu konečných prvků (MKP). Metoda je založena na jisté diskretizaci kontinua a:

- dovoluje lepší geometrický popis a vystižení okrajových podmínek při složitých tvarech integrační oblasti
- umožňuje využít místně zjemněné diskretizace ve významných částech řešené oblasti
- umožňuje jednodušší použití vyšších typů aproximace hledané funkce s cílem zvýšení přesnosti řešení.

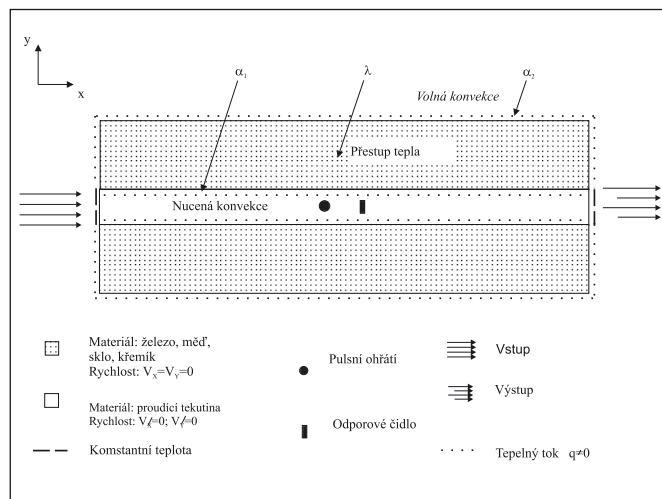


Obr. 5 Princip průtokoměru s tepelnými značkami

Vytvořený matematický model znázorňuje teplotní poměry v proudící tekutině, navíc je možné zobrazit rychlostní a tlakové pole proudící tekutiny.



Obr. 6 Geometrie matematického modelu průtokoměru s tepelnými značkami



Obr. 7 Definice okrajových podmínek matematického modelu

Pro vytvoření soustavy rovnic, které popisují časové změny teplotního pole v proudící tekutině je nutné vzít v úvahu rovnici kontinuity, pohybovou Navier-Stokesovu rovnici a rovnici vedení tepla. Pro proudící nestlačitelnou tekutinu s ustáleným a prostorově homogenním polem hustoty ($\rho = konst.$) lze systém rovnic sestavit takto:

- rovnice kontinuity:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

- Navier-Stokesova rovnice:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla P + \eta \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F} \quad (2)$$

- rovnice vedení tepla v proudící nestlačitelné tekutině:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T + \rho c_p T \mathbf{v}) = Q \quad (3)$$

Definice okrajových a počátečních podmínek

K jednoznačnosti řešení soustavy rovnic (1) až (3) je nutno znát okrajové a počáteční podmínky. Okrajové podmínky v hranicích měřicího kanálku rovnice (3) jsou základními okrajovými podmínkami 1. druhu a 2. druhu, v hranicích vyhřívacího odporu a odporu pro měření tepla jde o časově proměnné okrajové podmínky (teplota vyhřívacího drátku se mění v závislosti na proudových pulzech). Přestup tepla z měřicího kanálku do okolí lze vyjádřit vztahem:

$$h = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$

kde h vyjadřuje koeficient přestupu tepla z kanálku do okolí senzoru, α_1 je koeficient přenosu tepla konvekcí (z měřicího kanálku do materiálu, ze kterého je senzor vyroben), k je koeficient tepelné vodivosti konstrukčního materiálu, α_2 je koeficient přestupu tepla konvekcí (z konstrukčního materiálu do okolí) a δ je tloušťka materiálu.

Koeficient přestupu tepla konvekcí α_1 (nucená konvekce) byl vyjádřen z Nusseltova čísla ve tvaru:

$$Nu = 1,86 \left(Pe \frac{d}{l} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\eta}{\eta_w} \right)^{0,14} \quad (5)$$

kde Pe je Pecletovo číslo, η je dynamická viskozita, η_w je dynamická viskozita při teplotě stěny, l je délka stěny, na které dochází k přestupu tepla a d je vnitřní průměr měřicího kanálku. Koeficient přestupu tepla konvekcí α_2 (volná konvekce) byl vyjádřen z Nusseltova čísla ve tvaru:

$$Nu = 1,18 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/8} \quad (6)$$

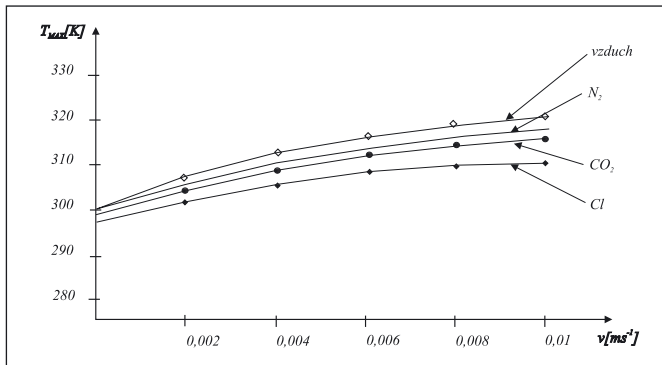
kde Gr je Grashofovo číslo a Pr je Prandtlovo číslo.

Ukázky matematických modelů

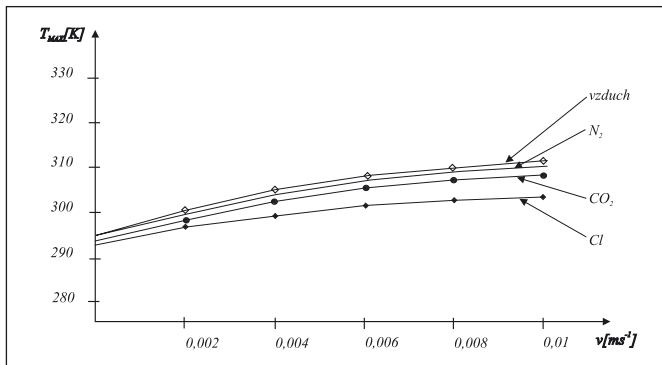
Vlastnosti průtokoměru s tepelnými značkami byly simulovány pro různé druhy konstrukčního materiálu a pro různé druhy proudícího plynu. V jednotlivých modelech byly využity vlastnosti těchto konstrukčních materiálů: křemík, sklo, železo, hliník a měď. Dále bylo uvažováno o těchto proudících tekutinách: voda, vzduch, CO_2 , N_2 , Cl . Na následujících obrázcích, které představují dílčí výsledky matematických modelů, představuje T_{MAX} maximální teplotu změřenou pomocí odporového teploměru umístěného ve směru proudění.

3.2. Konstrukce průtokoměru s tepelnými značkami

Vzhledem k omezenému technickému vybavení na pracovišti nebyl průtokoměr navrhován na křemíkovém čipu s elektronickými obvody, ale byla zvolena varianta vyhodnocování měřeného signálu pomocí samostatného mikropočítače.

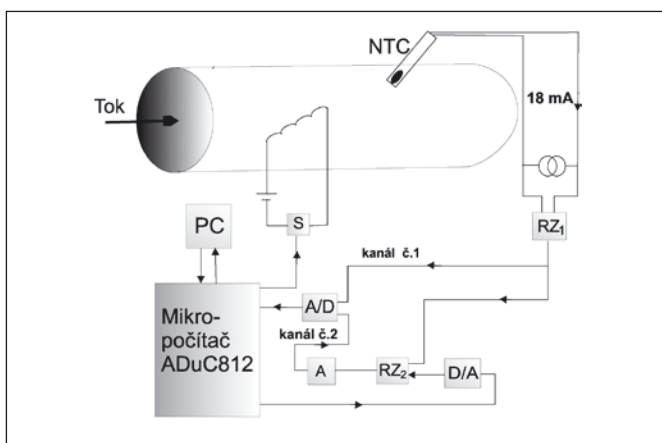


Obr. 8 Závislost maximální teploty v proudícím plynu na rychlosti proudění pro různé druhy plynů, konstrukční materiál – plexisklo



Obr. 9 Závislost maximální teploty v proudícím plynu na rychlosti proudění pro různé druhy plynů, konstrukční materiál - křemík

Na základě získaných poznatků z modelování šířících se tepelných vln v proudící tekutině a využitím principů průtokoměru s teplotními značkami bylo navrženo blokové schéma. Při návrhu metody bylo nutné zohlednit i logický požadavek na relativní jednoduchost a nízké náklady. Vzhledem k tomu, že proudící tekutina v reálných případech nemá konstantní teplotu, nelze zaznamenávat šířící se tepelnou vlnu pouze zesílením výstupního napětí na termistoru. Při



Obr. 10 Blokové schéma průtokoměru s teplotními značkami

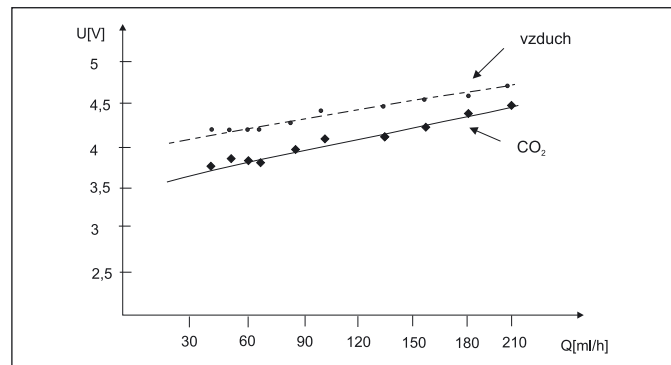
změně teploty proudící tekutiny by se (mnohonásobně) zesílený napěťový výstup na termistoru mohl dostat mimo pracovní rozsah použitých operačních zesilovačů. Použití takového průtokoměru by pak bylo naprosto omezené teplotou proudící tekutiny. Samotná činnost senzoru průtoku spočívá ve dvou základních krocích:

- *nastavovací fáze* – v tomto kroku vyhodnocovací část obvodu je nastavena na teplotu proudícího plynu. Princip spočívá v tom, že úbytek napětí na termistoru je vyhodnocen rozdílovým zesilovačem RZ1. Toto napětí je přivedeno na analogově - digitální převodník a zároveň na rozdílový zesilovač RZ2. Mikropočítač nastaví na digitálně - analogový převodník napětí stejné velikosti jako je úbytek napětí na termistoru, toto napětí je pak přivedeno na rozdílový zesilovač RZ2. Výstupní napětí z rozdílového zesilovače RZ2 je zesíleno a přivedeno pomocí analogově - digitálního převodníku do mikropočítače. Bez tohoto nastavovacího kroku pro různé teploty proudícího plynu by se napěťový výstup na zesilovači A mohl velmi často dostat mimo pracovní rozsah zesilovače

- *měřicí fáze* – v tomto kroku je vyslán řídicí puls, který sepne spínač S a zajistí tak tok elektrického proudu žhavicím drátkem po předem definovanou dobu. Mikropočítačem je vyhodnoceno napěťové maximum U_{MAX} na termistoru (velikost tepelné vlny) a časová souřadnice napěťového maxima $t_{U_{MAX}}$ (rychlost šířící se tepelné vlny).

3.3. Experimentální ověření výsledků matematických modelů

Metrologické vlastnosti navrženého průtokoměru byly ověřovány pomocí peristaltického čerpadla se silikonovým čerpacím segmentem. Měření byla provedena pro proudící vzduch a CO_2 , výsledky měření jsou zobrazena na obr. 11.



Obr. 11 Ověření metrologických vlastností realizovaného průtokoměru s teplotními značkami

4. ZÁVĚR

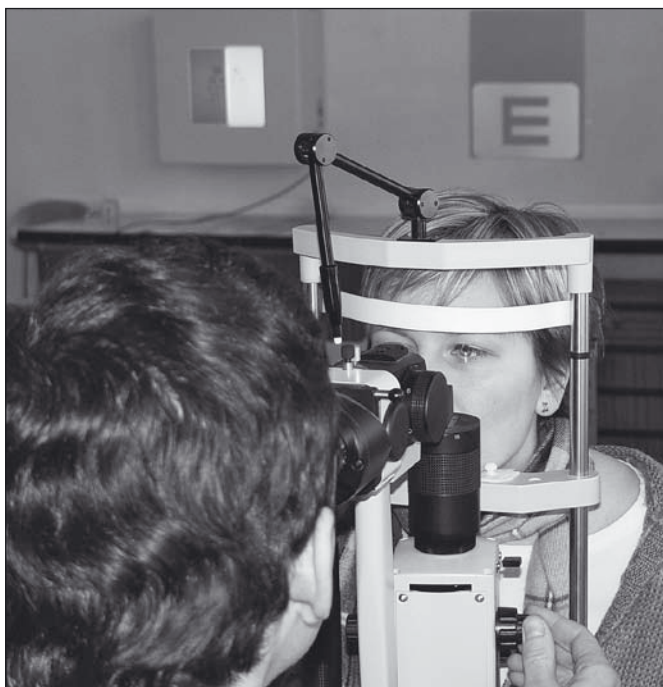
Měření průtoku tekutin v mikrofluidice je v současné době ve středu zájmu řady vývojových pracovišť. V článku jsou uvedeny přístupy, které lze v dnešní době využít v mikrofluidice pro měření malých průtoků tekutin. Pozornost je věnována průtokoměru s tepelnými značkami, jsou uvedeny matematické modely včetně jejich výsledků, konstrukce průtokoměru a jeho základní metrologické vlastnosti.

Literatura

- [1] Lammerink T., Niels R. and Elwenspoek M., *Micro – liquid flow sensor*, Sensors and actuators A, Vol. 37/38, 45 – 50, 1993.
- [2] Lammerink T., Dijkstra F., Houkes Z. and Kuijk J., *Intelligent gas – mixture flow sensor*, Sensors and actuators A, Vol. 46/47, 380 – 384, 1995.
- [3] Webster J., *Measurement, instrumentation and sensors*, IEEE Press, 1999.
- [4] Hardy J., Hylton O., *Flow measurement methods and applications*, Wiley – Interscience, USA, 1999
- [5] Tesař V., *Měření průtoku v mikrofluidice*, Automatizace, 6, 401-403, 2005.

Studium optometrie na Univerzitě Palackého

Studium optometrie má na Univerzitě Palackého v Olomouci dlouholetou tradici. Jeho počátky se datují do školního roku 1986-1987, kdy bylo zahájeno magisterské studium oboru Optika a optoelektronika se zaměřením na aplikovanou optiku a optometrii. Na toto studium navázalo ve školním roce 1993-1994 bakalářské mezioborové studium Optometrie. Po změně legislativy bylo toto studium ukončeno, poslední absolventi složili bakalářskou zkoušku v roce 2005. Nová legislativa, kterou představuje především zákon 96/2004 Sb. a navazující předpisy, nově definuje optometristu jako zdravotnického pracovníka a jeho činnosti. Tato změna přinesla nutnost nově koncipovat stavbu studijních plánů.



Spoluprací Přírodovědecké fakulty a Lékařské fakulty UP se podařilo sestavit akreditační materiály Optometrie, které vychází z předchozích zkušeností a respektují novou právní úpravu. K materiálům se kladně vyjádřilo Společenstvo českých optiků a optometristů, Národní centrum ošetrovatelství, Český svaz oftalmologů a Česká kontaktologická společnost. Ministerstvo zdravotnictví ČR vydalo k těmto materiálům v květnu 2005 souhlasné stanovisko s tím, že absolventi tohoto studijního programu získají ve smyslu §79 odst. 1 písm. e) zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, oprávnění k výkonu zdravotnického povolání optometrista. Následně Akreditační komise Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy ČR udělila v září roku 2005 na tento program akreditaci. Materiály jsou zveřejněny na <http://www.upol.cz/>.

V současné době je možné tento obor studovat na UP jako prezenční tříleté bakalářské studium, které nemá přímé pokračování v magisterském programu. Jedná se o profesně zaměřené studium, jehož garanty jsou Přírodovědecká fakulta UP, reprezentovaná zejména katedrou optiky, a Lékařská fakulta UP, se svými ústavu, především Oční klinikou.

Rozdělení studia mezi Přírodovědeckou a Lékařskou fakultu UP umožňuje dostatečné zajištění plnohodnotného a kvalitního vzdělání ve všech potřebných teoretických i praktických disciplínách. Studium



poskytuje všeobecné zdravotnické vzdělání zaměřené zejména na obecné zásady podpory a ochrany zdraví včetně poskytování první pomoci a další všeobecné zdravotnické a lékařské disciplíny jako anatomie, fyziologie, patologie, farmakologie, imunologie, histologie, mikrobiologie atp., obecně nutné pro výkon zdravotnického povolání. Dále zahrnuje předměty matematicko-fyzikálního základu a předměty se všeobecným optickým zaměřením jako základní teoretickou přípravu pro studium optometrie. Stěžejní část studia je věnována anatomii, fyziologii, patologii a farmakologii oka, fyziologii a patologii monokulárního i binokulárního vidění. Studenti se v dostatečné míře teoreticky i prakticky naučí zvládat potřebná oftalmologická vyšetření oka se zaměřením na rozpoznání jeho chorobného stavu, vyšetřovat monokulární i binokulární zrakové funkce, provádět metrická vyšetření oka, stanovit případné vady a následně se rozhodnout pro optimální řešení situace s přihlednutím k platným právním předpisům. Součástí studia je teoretické seznámení se s funkčními principy a praktické zvládnutí činnosti s odpovídajícími pomůckami a přístroji. Zvláštní pozornost je věnována vyšetřování refrakčních vad s důrazem na stanovení a následný předpis optimální binokulární korekce a aplikaci kontaktních čoček. K upevnění a prohloubení znalostí a dovedností, získaných v odborných učebnách a specializovaných laboratořích, slouží klinická cvičení na půdě Oční kliniky Fakultní nemocnice v Olomouci a dále celkem šestitýdenní externí praxe, zaměřená především na činnosti optometrické, kontaktologické a oftalmologické.



Studium poskytuje i kurzy vztahující se k etice profese a k základům ekonomie a právních předpisů. Student také získá základní teoretické znalosti a praktické dovednosti z oblasti optické a brýlové technologie.

Předpokládaný počet přijatých studentů je 25. Jako vstupní znalosti jsou požadovány znalosti z biologie, fyziky a matematiky na úrovni gymnázia.

Souhlasné stanovisko Ministerstva zdravotnictví ČR k tomuto studijnímu oboru umožňuje absolventům následnou registraci, která je opravňuje k výkonu zdravotnického povolání optometrista a odpovídajících činností daných zákonem 424/2004 Sb. Mohou například bez odborného dohledu a bez indikace u osob starších 15 let vyšetřovat zrakové funkce, měřit refrakci, předepisovat optické pomůcky, aplikovat kontaktní čočky atd. Získané znalosti a dovednosti absolventům také umožní uplatnění v provozovnách oční optiky, v obchodní činnosti s kontaktními čočkami, optickými, oftalmologickými a dalšími lékařskými přístroji a optickým materiálem, ve výrobě brýlových skel, brýlových obrub, kontaktních čoček apod.



RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D., katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, tel. 585 634 266, e-mail: wagner@optnw.upol.cz; Mgr. František Pluháček, Ph.D., katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, tel. 585 634 310, e-mail: pluhacek@prfnw.upol.cz

Václav VACEK¹, Michal DOUBRAVA¹, Libor NOŽKA², Miroslav HRABOVSKÝ², Jan ŘÍDKÝ³, Petr SCHOVÁNEK², Miroslav PALATKA², Martina BOHÁČOVÁ³, Miroslav PECH², Dušan MANDÁT²

¹ Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University, Praha

² Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Olomouc

³ Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Praha

Chamber with controlled atmosphere for the project AIRFLY

The aim of the AIRFLY (air fluorescence yield) project is to simulate and to measure the process of the fluorescence and Cherenkov emission produced by impact of cosmic rays on molecules of nitrogen in high level atmosphere. Several setups were designed to measure fluorescent and Cherenkov light. In this paper we report the chamber with controlled atmosphere to simulate conditions in various levels of the Earth atmosphere. The chamber was designed in the Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic in cooperation with the Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University and the Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences in Olomouc.

1. INTRODUCTION

The origin of very high energy cosmic rays (above 10^{18} eV) is still a great question in high-energy physics. The Pierre Auger observatory, nowadays built in Argentina, is destined to solve this question as well as the project HiRES or Telescope Array for instance. The observatory consists of several fluorescence telescopes and an array of surface water detectors. The task for fluorescence detectors is to detect the feeble fluorescence light emitted by nitrogen molecules excited by collision with cosmic rays of very high energy in high level atmosphere (at the altitude up to 20 km). This process is also accompanied by the Cherenkov emission which has its characteristic forward anisotropy. The spectrum of the fluorescence light falls within 300 – 400 nm range. The knowledge of the fluorescence emission efficiency is the relevant contribution to the absolute energy calibration which is essential for the Pierre Auger experiment and others concerning with the task of high energy cosmic rays with the aid of fluorescence detectors. For the first

time, the mechanism of atmospheric fluorescence was described by Bunner in his Ph.D. thesis in 1967 [1] and his result is shown in *Figure 1a*. The estimated systematic error of fluorescence yield measurement is, however, large approaching 25%.

In the past, there were two experiments AGASA and HIRES dealing with the fluorescence yield measurement. As we can see in *Figure 1b*, the results of both experiments are quite different, the divergence makes 15-20 %.

The AIRFLY experimental program [2] is the measurement of the fluorescence and Cherenkov yields as a function of particle energy in a wide energy interval from 50 to 800 MeV with the precision better than 5 %. The project has been realized at the Beam Test Facility (BTF) of the Laboratori Nazionali di Frascati near to Roma [2,3]. Present linear accelerator (LINAC) provides electron or positrons beam in the range of energy from 25 MeV to 800 MeV in the pulse mode of 49 Hz frequency and in the range

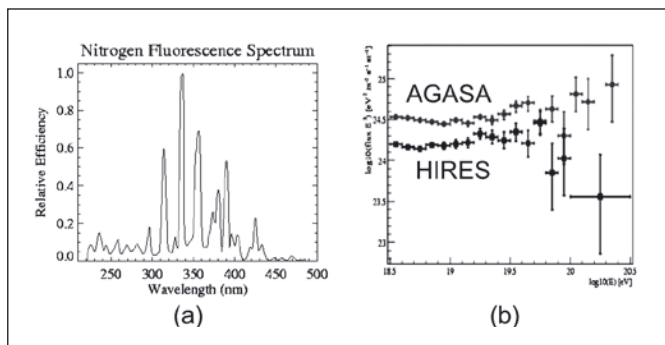


Fig. 1 (a) the nitrogen fluorescence spectrum, (b) results of AGASA and HIRES experiments

of particles amount from one particle up to 10^{10} in a pulse. There were designed several types of detecting chambers upgrading a detection of the fluorescence and the Cherenkov emission which accompanies the fluorescence.

We have needed to design a chamber with controlled temperature, pressure and humidity to closely simulate physical conditions in various levels of the Earth atmosphere where the process of fluorescence originates. The chamber was designed in the Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic in cooperation with the Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University and the Joint Laboratory of Optics of Palacky University and Institute of Physics of Academy of Sciences in Olomouc [4].

2. PHYSICAL CONDITIONS TO BE SIMULATED BY THE CHAMBER

The process of the fluorescence emission originates in higher level of the Earth atmosphere up to 20 km by interaction between nitrogen molecules and high-energy cosmic ray. In that range of the atmosphere level the temperature and the pressure vary as described in the *Figure 2* for the standard atmosphere. One can find out from the graphs that we have needed to assure the pressure in the range from 1000 mbar to 50 mbar approximately and the corresponding temperature in the range from $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. It is necessary to blow an air with low water vapour content (a dry air) to closely simulate conditions in higher level of the atmosphere.

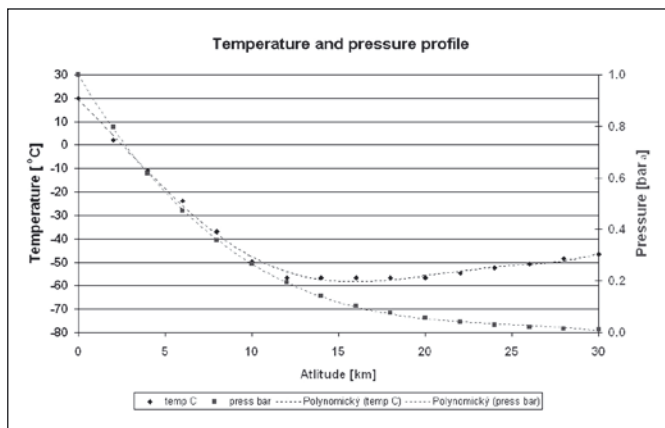


Fig. 2 Temperature and pressure profile of the standard atmosphere

3. DESIGN OF THE CHAMBER

The chamber design is shown in the *Figure 3*. The inner volume is 12.4 dm^3 . The body of the chamber is made of the aluminium alloy CSN 424415 because of lightweight construction, easy machinability and of the resistance against corrosion.

The chamber of three main parts: a main body and two adjacent covers. The main body is milled from an aluminium block and it is

equipped with several specially shaped places for CF flanges and other input equipment placements (regulation of inside atmosphere, etc.). There is one groove on each body end. This serves for accommodation of a rubber sealing that should preserve leak-tightness between the cover and the main body. Both covers are made of the same aluminium type too and their thickness is about 20 mm. Every cover is provided with one hole for placing of CF 63 flange. The one cover is further equipped with four threads G 3/8" for connection of a cooling system. Whole the chamber is anodized to prevent a fine oxidation.

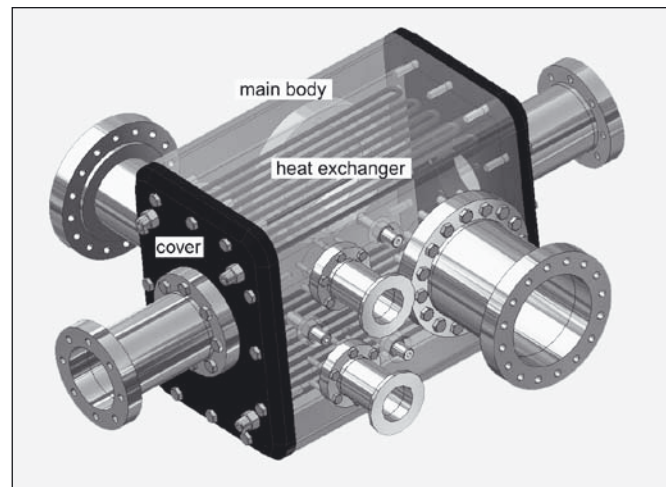


Fig. 3 Chamber design

4. COOLING SYSTEM

Considering the chamber is in use just few times in a year, we decided to use the simple and cheap way of cooling – i.e. controlled forced flow of liquid nitrogen (LN_2) through two heat exchangers whose principal description is shown in *Figure 3, 4*.

There are placed two heat exchangers. They are made of a standard copper tube ID/OD 6/8mm. This pipe is widely used in cooling applications. The pipe is shaped into form of oxbow to increase heat transfer surface inside the chamber. The connection between heat exchangers (inner part of the cooling system) and the nitrogen vessel (outer part) is made by “Swagelok” Bulk-head union (thread G 3/8”) and feed line. Copper washers are used for leak-tightness of Bulk-head unions in covers.

Desired cooling effect is realized due to evaporation of LN_2 in Dewar bottle. This leads to pressure increase in that bottle, which initiates the flow through pipeline. Storage vessel (Dewar bottle) should be placed close to the chamber, in order to minimize heat losses in feed line. These losses could influence the cooling power of the whole system very significantly. Nitrogen vapours are lead by exhaust pipeline outside the laboratory after passing the system and they are vented freely into atmosphere.

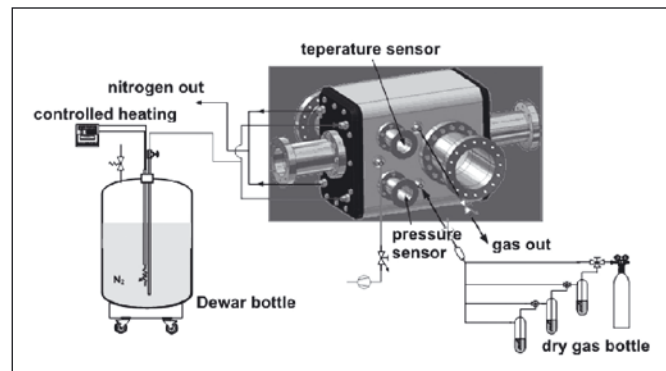


Fig. 4 Cooling and humidity control system

The principle of the cooling system is easy to understand. Stainless pipe is immersed into LN₂ (can be equipped with heater) and is going through a special garniture. This garniture is tightly mounted onto Dewar bottle. This forms a closed space with the only exit (pipe immersed into LN₂). The boiling temperature of nitrogen is -196 °C (at atmospheric pressure). Due to limited quality of insulation and consequently to the heat losses, pressure increase occurs inside the closed space of Dewar bottle. This effect can be intensified with help of additional heater. An increased inside pressure (bottle has to be equipped with safety valve) forces LN₂ to flow through cooling system.

5. MEASUREMENT OF PHYSICAL PROPERTIES INSIDE CHAMBER

Measurement conditions impose to sensors two additional requirements among those concerning to the measurement range as mentioned in chapter 2. At first sensors should not cause pressure leakage up to tens milibars and they should be irradiation resistant. Sensors should be installed to CF 40 flanges and sealed in the chamber body with an o-ring.

Temperature measurement

We have used Pt 1000 resistance sensor to monitor the temperature inside the chamber. Cables soldered on the sensor are lead out by means of a special cable grommet, *Figure 5*. One can measure the temperature directly by taking the resistance by a multimeter or by linking to the data acquisition system which we have used in preference.

Pressure measurement

The pressure has been measured by absolute pressure sensor BT 700 from Sensortronics co. The measurement range of the sensor is from 0 to 1000 mbar. The pressure has been taken by a Balzer's DM 21 sensor in the special case the volume of the chamber has been coupled with the volume in the Italian-designed chamber.



Fig. 5 Special grommet for temperature sensor



Fig. 6 Probe HTP-25 incorporated in the Sensorika humidity sensor

Relative humidity measurement

Values of relative humidity were measured by humidity probe FTP-25 operated by electronics by Sensortronics co [5]. Probe HTP-25 is an integrated measuring system based on sorption humidity sensor HS 2Ta (capacitive oxide non-conductor) and resistive temperature sensor Pt 10 000, *Figure 6*. Standard electronic setup placed inside probe itself must have been shifted farther from the active area due to an increased irradiation during measurements.

6. BEHAVIOUR OF CHAMBER DURING MEASUREMENTS

The chamber mounting to measurement set-up in BTF is shown in *Figure 7*. Detectors of electron beam position are placed on the end stage of the BTF branch of the LINAC. The beam passes successively an Italian-designed chamber and the chamber with controlled atmosphere. Dewar bottle with the liquid nitrogen is placed so that the feed piping between the bottle and the chamber does not cross electronic circuits for reason of the vapour devaporation on the piping. A hoarfrost arises on unisolated parts of the chamber during the cooling process, particularly on flanges and on supply valves. On this account we had to avoid the vapour devaporation on photomultiplier by keeping it in a nitrogen atmosphere.

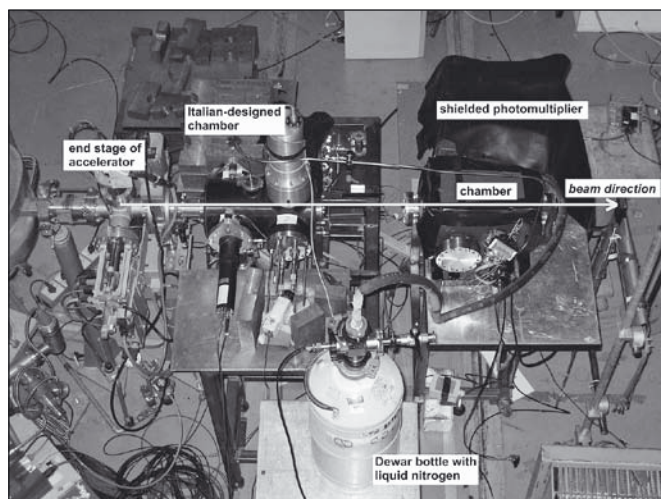


Fig. 7 Set-up arrangement in BTF, Frascati

The cooling procedure was set on the basis of particular test results and from experiences that operators have reached during these tests.

The content of the first two bottles with 15 litres of liquid nitrogen was used to cool up the chamber. It takes about two and half hours. During this time the temperature inside the chamber may reach up to -40 °C. Then, we were able to stabilize the temperature (± 1 °C) in the range from -15 °C to -50 °C by use of the third bottle.

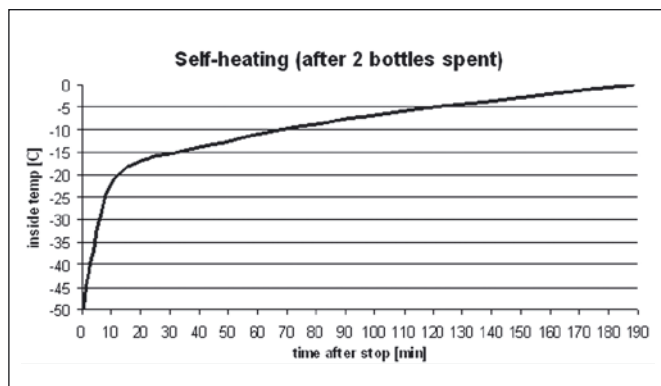


Fig. 8 Typical temperature progress during the self-heating of the chamber

A self-warming of the chamber was exploited for measurements above $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ as it was very slow due to a relatively low heat loss of the system. Typical progress of the temperature during the self-heating of the chamber is shown in *Figure 8*. Pressure dependence on the temperature inside the chamber during the self-heating is shown in *Figure 9*. The gas inside acts as an ideal gas according to the Charles law in the thermodynamics.

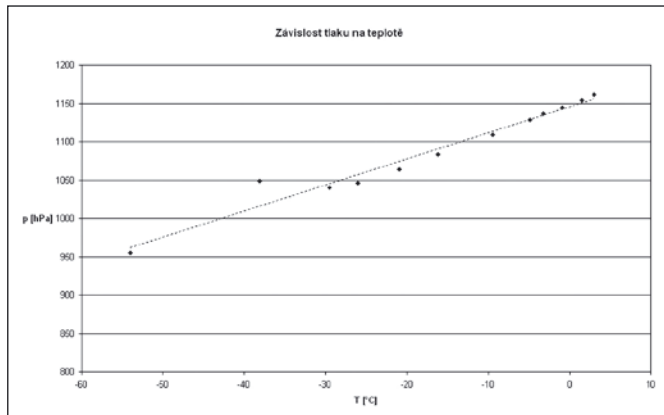


Fig. 9 Pressure dependence on temperature inside the chamber during self-warming

7. SUMMARY

After one year of designing and testing of several types of fluorescence and Cherenkov chambers, the AIRFLY team has proposed a final design of the chamber for an absolute measurement of the fluorescence yield and the detailed measurement of the fluorescence spectrum. In order to simulate physical conditions under

the fluorescence arises from, the chamber has been equipped with a system of nitrogen pressure and humidity regulation inside the chamber. We have carried out series of tests to learn the chamber behaviour during the cooling process which is important to make up the measurement schedule.

ACKNOWLEDGMENT

We thank the Ministry of Education of the Czech Republic for its financial support under grants GACR 202/05/2470 and AVOZ10100522.

References

- [1] BUNNER, A. N.: Cosmic ray detection by atmospheric detection, Ph.D. Thesis, Cornell University, New York, 1967.
- [2] ARCIPRETE, F at al.: AIRFLY: Air Fluorescence Induced by Electrons in a Wide Energy Range, 28th International Cosmic Ray Conference 2003, Tsukuba, Japan, 837-840, 2003.
- [3] PRIVITERA, P.: Status and prospects of the AIRFLY experiment, Air Light 03, 11-14 December 2003, Bad Liebenzell, 2003.
- [4] NOŽKAL., SCHOVÁNEK P., PALATKA M., HRABOVSKÝ M., ŘÍDKÝ J., VACEK V., BOHÁČOVÁ M., PECH M., DOUBRAVA M., MANDÁT D., Czech contribution to the project AIRFLY, *Jemná mechanika a optika 1* (2005), 11-13.
- [5] www.sensorika.cz

Václav Vacek¹, Michal Doubrava¹, Libor Nožka², Miroslav Hrabovský², Jan Řídký³, Petr Schovánek², Miroslav Palatka², Martina Boháčová³, Miroslav Pech², Dušan Mandát²

¹ Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University, Technická 4, 166 07 Praha 6, e-mail: Vaclav.Vacek@cern.ch,

² Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, e-mail: nozka@optnw.upol.cz, hrabovsky@optnw.upol.cz, schovane@optnw.upol.cz, palatka@optnw.upol.cz, pech@optnw.upol.cz, mandat@optnw.upol.cz

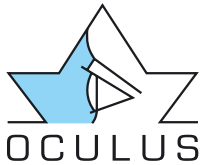
³ Institute of Physics of Academy of Sciences of the Czech Republic, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, e-mail: ridky@fzu.cz, bohacova@fzu.cz

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají i v elektronické formě. Nejvhodnější je dodat text ve formě souborů z běžných textových editorů, např.: Word for Windows. Sazba časopisu se provádí programem InDesign CS.

Grafickou část příspěvku je také vhodné dodat v elektronické formě. Mohou to být soubory *.CDR verze 3 až 11, *.EPS, *.TIF *.JPG a jiné běžné formáty. Grafiku nevčleňovat do textu (např. ve Wordu), ale uložit ji na disketu jako samostatné grafické soubory. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie 200 dpi a pro barevné 300 dpi. Ke každému textu nebo grafice musí být přiložen kontrolní výtisk nebo fotografie. Soubory je možno dodat též na médiu ZIP 100 MB, CD nebo na e-mail: dtp@typoservis.cz. Při nejasnostech technického charakteru kontaktujte tiskárnu na tel.: 573 398 746.

Je žádoucí, aby k článkům dodal autor i překlad resumé a název článku do anglického (českého - slovenského) jazyka.



OCULUS – VÁŠ SPOLEHLIVÝ DLOUHOLETÝ PARTNER PRO DODÁVKY OFTALMOLOGICKÝCH A OPTICKÝCH PŘÍSTROJŮ

Precizní technologie oftalmologických a optických přístrojů japonské firmy NIDEK, která je v odborných kruzích ve světovém měřítku velmi dobře známa, v mnoha směrech určuje světový trend vývoje specifických odvětví tohoto oboru a je dlouhodobě oceňovaná řadami spokojených uživatelů přístrojů značky NIDEK.

**Firma OCULUS spol. s r.o. je VÝHRADNÍM zástupcem firmy NIDEK pro Českou republiku
OPTA 2006, pavilon V, stánek 075**

AUTOREFRAKTO/KERATOMETR A TONOMETR NIDEK RKT-7700 (z úvodní strany)

Firma NIDEK udělala další krok pro zvýšení komfortu pacienta i obsluhy sloučením dvou měřících jednotek do jediného přístroje. Není již nutné mnohdy komplikované umístění dvou přístrojů na pracovišti (půdorys RKT-7700 je necelých 29x49cm) a někdy neméně komplikované přesouvání pacientů mezi jednotlivými přístroji. Tonoref NIDEK RKT-7700 je schopen získat přesné refrakční hodnoty, keratometrické hodnoty a hodnotu nitroočního tlaku během jednoho vyšetření pacienta. Změna měřicího režimu (refrakto/keratometr nebo tonometr) je uskutečněna pouhým stiskem tlačítka na ovládacím joysticku. Významnou funkcí usnadňující obsluhu je tzv. 3D (ve svislé, horizontální i fokační rovině) zaměření měřeného oka, kdy automatika přístroje najde a zafokusuje střed oka a po dosažení optimálního bodu sama spustí měření, což zlepšuje reprodukovatelnost a věrohodnost měření zároveň s minimalizací nároků na obsluhu. Elektricky ovládaná opěrka ještě více umocní pocit opravdu snadné obsluhy. Z hlediska pacienta je zásadní výhodou použití unikátního systému APC (Automatic Puff Control) při měření nitroočního tlaku, který adaptuje sílu vyfouknutého vzduchu pouze na nezbytně nutnou pro oko konkrétního pacienta, a tím výrazně zvyšuje jeho komfort během měření. Kromě již zmíněných měření je tonoref NIDEK

RKT-7700 schopen měřit i monokulární PD (binokulární PD je měřeno automaticky během běžného měření) a průměr rohovky i zornice. Přístroj je vybaven vestavěnou tiskárnou pomocí které je schopen vypsát mnoho důležitých nejen změřených (refrakční, keratometrické hodnoty, hodnoty nitroočního tlaku a průchodnost médií oka), ale i vypočítaných údajů (např. sférický ekvivalent, PD na blízko, atd. ...). Nezanedbatelná je možnost výklopení displeje umožňující pohodlnou obsluhu přístroje i ve stoje.

AUTOMATICKÉ DIGITÁLNÍ FOKOMETRY NIDEK LM-1200 a LM-1000P

Jedním z odvětví, ve kterých přístroje NIDEK získávají nejvyšší ocenění ze strany uživatelů, je oblast automatického měření refrakční síly všech typů brýlových čoček. Nově vyvinutý měřicí systém automatických fokometrů NIDEK LM-1200 a LM-1000(P) využívá unikátní technologii Hartmannova senzoru s maticí o neuvěřitelných 108 měřících bodech uspořádaných uvnitř měřicí



oblasti kroužku nosního kusu přístroje. Zdroj měřicího světla vysílá paprsek procházející měřenou čočkou skrze husté děrové pole matice a vytváří obraz bodů nesoucí podrobnou informaci o refrakční síle měřené čočky na citlivém CCD senzoru umístěném za maticí. Měřicí systém takto v jediném odměru získává simultánně velké množství naměřených dat z celé měřicí oblasti, které je mnohonásobně vyšší než u konvenčního systému předchozí generace. Díky tomuto pokrokovému řešení je měřicí systém schopen velmi podrobně analyzovat měřenou čočku, rychle vyhodnotit naměřená data (integrací vzorků vznikne rekonstrukce původní vlnoplochy), a tak spolehlivě detekovat hledaný bod odměru i u dřívě

problematických druhů progresivních čoček. To má za následek nárůst přesnosti měření, zvýšení spolehlivosti naměřených hodnot a v neposlední řadě významné zlepšení reprodukovatelnosti měření ve srovnání s konvenčním systémem. Díky nižším výrobním nákladům daným menší technologickou náročností výroby je cena modelů nové generace automatických fokometrů NIDEK nižší než u přístrojů předchozí generace. Zkušenost ukazuje, že každý nový uživatel brzy a rád přivykne jednoduché manipulaci s novým modelem automatického fokometru a přitom ocení snadné získání spolehlivých naměřených hodnot brýlových čoček v krátkém čase, stejně jako řadu užitečných charakteristických rysů spojených s vysokou užitnou hodnotou přístroje.

Charakteristika přístroje:

- Funkce automatické detekce druhu měřené čočky
- Funkce měření UV filtru čočky
- Měření PD čoček zasazených v obrubách (pouze LM-1200)
- Měření šířky a délky progresivního kanálu i s grafickým vyjádřením (pouze LM-1200)
- Vylepšená značkovácí barva a hroty
- Prizmatický měřicí rozsah vertikálně až do 20 Δ
- Vestavěné tiskárna
- Naklápěcí LCD displej (u LM-1200 barevný)
- Rozhraní USB

BEZŠABLONOVÝ BRUS NIDEK LE-9000

Systém NIDEK LE-9000, používající vyspělou technologii 3D-fit, umožňuje i začínajícím očním optikům rychle a kvalitně opracovat brýlové čočky v přesných rozměrech a optimálních tvarech podle zvolených brýlových obrub. Jeho ergonomické provedení a jednoduché ovládání pomocí přehledné membránové klávesnice, která je součástí vestavěného ovládacího panelu, v maximální míře usnadňuje používání stroje. Automatický bezšablonový brus NIDEK LE-9000 představuje systém, který se vyrábí v osmi verzích ve dvou řadách SX a LX a nabídkou širokého spektra možností nepochybně osloví každého odborného zájemce z řad zkušených očních optiků s dlouholetou praxí, ale i těch očních optiků, kteří se po absolvování odborného studia a s minimální praxí pokoušejí vybudovat a zařídit vlastní oční optiku s optickou dílnou. Kompaktní tvar stroje a použitá modulární konstrukce včetně vestavěného modulu snímače tvaru brýlových obrub, modulu srážení hran vybroušených čoček (pouze řada SX) a automatického drážkování (pouze řada SX) při minimálních vnějších rozměrech stroje umožňuje jeho instalaci a praktické používání i v podmínkách omezeného pracovního prostoru uživatele, kde je třeba důkladně rozvážit využití každého místa pracovní plochy. Před vlastním procesem broušení má uživatel možnost pomocí tlačítek ovládacího panelu provést vertikální nebo laterální decenteraci čočky vzhledem k jejímu původnímu optickému středu na základě přehledného grafického zobrazení návrhu čočky na displeji stroje. V průběhu hrubého broušení (předbrousování) čočky se v levé části grafického displeje bude zobrazovat simulace profilu fazety. Je to vnitřním mikroprocesorem automaticky stanovený optimální průběh polohy budoucí fazety v závislosti na okamžité poloze rotujícího vektoru v půdorysném grafickém zobrazení na pravé straně grafického displeje. Díky tomu bude schopen i začínající operátor vyrobit fazetu přesně podle konkrétních požadavků zakázky. Neprovede-li operátor zásah do probíhajícího procesu, brus po dokončení hrubého broušení čočky začne automaticky brousit čočku jemně (dokončovací broušení), přičemž automaticky dosáhne optimálního umístění fazety po celém obvodu vybroušené čočky. V ručně řízeném režimu lze tuto simulaci fazety vyvolat ještě před spuštěním předbrousování. Bezšablonový brus LE-9000 je vybaven vnitřní



paměti pro uložení dat až 100 sejmutých vzorků tvarů obrub. Vestavěná paměť dovoluje zahájit proces výroby čočky okamžitě po přenosu dat zvolené brýlové obruby do výrobní části stroje bez potřeby uchovávat soubory šablon a dokonce i bez nutnosti kopírování konkrétní brýlové obruby, pokud již byla její data dříve uložena do paměti. Bezšablonový brus NIDEK LE-9000 s vestavěným snímačem tvaru brýlových obrub ve 3 rozměrech umožňuje provádět precizní, plně automatické broušení brýlových čoček s automaticky prováděnou optimální volbou polohy fazety po celém obvodu čočky a bez nutnosti tvarování (přihýbání) obruby. Vedle automatického režimu broušení nabízí bezšablonový brus LE-9000 také možnost použití dalších brusných režimů: ručně ovládaného režimu broušení a režimu broušení čoček s plochou fazetou (bezočnicové čočky) nebo s drážkováním (pouze řada SX). V ručně ovládaném režimu broušení je možné libovolně zvolit umístění fazety buď podle mikroprocesorem vyznačeného profilu nebo lze fazetu lineárně posunout směrem k přednímu nebo zadnímu okraji čočky, případně je možné fazetu posunout pouze ve zvoleném bodu obvodu čočky, přičemž vnitřní mikroprocesor provede automatické přizpůsobení průběhu fazety tak, aby její průběh byl plynulý (zvětšení či zmenšení zakřivení podle požadavku uživatele). Bezšablonový brus LE-9000 umožňuje také znovu vybrousit čočku jiného tvaru z již existující vybroušené čočky. Žádaný nový tvar čočky lze zobrazit na displeji současně s tvarem původní čočky.

Automatický bezšablonový brus NIDEK LE-9000 lze provozovat s jeho prostým připojením k vodovodnímu kohoutku. S ohledem na kvalitu a tvrdost vody z dostupných zdrojů a v neposlední řadě také úsporu těchto zdrojů se však doporučuje bezšablonový brus provozovat s uzavřeným okruhem chladicí kapaliny. K tomuto účelu lze bezšablonový brus vybavit cirkulačním čerpadlem s nádrží na chladicí kapalinu a s filtrem umístěnými pod pracovní plochou brusů. Centrování a upínání polotovarů před jejich broušením se snadno provádí pomocí jednoduchého centrovacího zařízení, mechanické centrovačky NIDEK typ CE-1. Vypělost vestavěného systému ovládání procesu broušení čoček dovoluje používat této prosté, rozměrově nenáročné centrovačky s jednoduchou obsluhou, čímž dochází k dalším významným úsporám nároků na pracovní prostor i vynaložených finančních prostředků na straně uživatele, zejména ve srovnání s drahými digitálními centrovačkami. V případě zájmu uživatele lze stroj alternativně vybavit novou inteligentní digitální centrovačkou NIDEK typ ICE-2000 nabízející řadu užitečných pokrokových funkcí.

Firma OCULUS spol. s r.o. dodává široký sortiment přístrojů a pomůcek pro oftalmologii a optometrii.

Ing. Zbyněk Siegel, jednatel společnosti

Poznámka k článku „Mikrokanáلكové plátky – MCP“

Článek o mikrokanáلكových plátkách – MCP, který nedávno vyšel v tomto časopise [1], zasluhuje podle mého názoru několik připomínek a poznámek. Článek pojednává o kanáلكových strukturách, které se obvykle vyrábějí z destiček z optických vláken, u nichž jsou jádra vláken vyleptána. Zůstávají jen obalové části optických vláken, takže vzniká plošná struktura vzájemně spojených miniaturních trubiček, které se již od 60. let minulého století v české odborné literatuře říká kanáلكová destička. Namátkově např. v práci [2] a řadě dalších. Je podivné, proč autor zmíněného článku zavádí pro tyto struktury zcela nový název *plátky*. Připomíná mu snad destička plátek ementálu, který v sobě mívá také díry? Nechce se totiž věřit, že by se s problematikou seznamoval jen z literatury, uvedené na konci článku, neboť ve svém grafu 1 také používá termín kanáلكová destička.

Hned první odstavce článku vyvolávají u čtenáře některé neodbytné otázky, jako například:

- Jak lze na kanáلكové destičce z hliníku, která podle autora může tvořit její základ, trvale udržet mezi oběma čelními plochami potenciální rozdíl řádu kilovoltů, který je z principu pro funkci nutný?
- Jak lze destiček využít pro kolimaci, fokusaci a filtraci různých druhů záření (zřejmě elektromagnetického), když do nich sice takové záření může vstupovat ale na výstupu destičky jsou elektrony?

Pro výrobu kanáلكových destiček bývají požadovány skloviny s velmi malou elektrickou vodivostí, která po tepelném zpracování destičky v redukční atmosféře (vodík) poskytne příčnou vodivost destičky respektive podélnou vodivost kanáلكu takovou, aby proud protékající destičkou při přiložení napětí kolem 1 kV byl v řádu jednotek μA . Velikost odporu celé destičky je tedy v oblasti stovek $\text{M}\Omega$. Tento stálý proud, někdy též nazývaný klidový nebo cirkulační, nemá nic společného s proudem elektronů, protékajících vnitřkem kanáلكu a tvořících signálový proud. Maximální signálový výstupní proud bývá roven jedné desetíně klidového proudu ale vhodnější je menší velikost rovná přibližně jedné dvacetině klidového proudu. Takže materiál jako autorem zmiňovaný hliník rozhodně nepřichází v úvahu. Vhodná sklovina pro kanáلكové destičky byla připravovaná v 80. letech minulého století ve Státním výzkumném ústavu sklářském Hradci Králové pro podnik TESLA Vakuová technika, kde byl tehdy soustředěn vývoj a výroba kanáلكových destiček v Československu. Byla to sklovina s vysokým obsahem vizmutu s ohledem na potřebu její redukce [2].

Další poznámka se týká autorova úvodního tvrzení, že se kanáلكových destiček používá k zesílení elektromagnetického záření. Skutečnost je však taková, že se může uplatnit jen ta část spektra elektromagnetického záření, která je schopna po absorpci ve stěnách kanáلكů vzbudit dostatečně účinnou sekundární emisi. To určitě není viditelné nebo infračervené záření, spíše jen tvrdé ultrafialové a měkké rentgenové záření. Je to konečně patrné i z autorova grafu, č. 3. Daleko účinnější je však převést takové záření prostřednictvím luminiscence na záření viditelného oboru a to pak prostřednictvím fotoelektrické emise na fotoelektrony, které po urychlení vybudí na vstupu kanáلكové destičky sekundární emisi (i když to mnohdy vede ke zhoršení schopnosti přenosu detailů). V souvislosti s grafem 3 by také autor mohl objasnit, jak se chová kanáلكový zesilovač, na jehož vstupu obvykle bývají elektrony nebo fotony o velké energii, když se do něho pokoušejí vstupovat částice s kladným nábojem.

V souvislosti s kanáلكovými zesilovači není také příliš vhodné používat veličiny *výkon*. Povrchního čtenáře to snadno navede k domněnce, že kanáلكové destičky lze využívat jako výkonové zesilovače. Je to podobné, jako když si nepoučený zákazník koupí

fotonásobič se zesílením 10 A/lm v domněnku, že když na jeho fotokatodu přivede světelný tok 1 lumen, dostane na výstupu elektrický proud 10 ampér. Nedostane.

Závěrem poznámka k iontové bariéře. Hlavní účel iontové bariéry (někdy též iontové pasti) je totiž jinde.

Tak zvaná třetí generace zesilovačů jasu obrazu využívá kanáلكovou destičku a galium arsenidovou fotokatodu, která patří mezi fotokatody s tzv. negativní elektronovou afinitou, často označované jako fotokatody NEA. Tyto fotokatody, tvořené silně dotovanými polovodiči typu P (např. GaAs), mají na svém emitujícím povrchu monoatomární vrstvu cesia a kyslíku, která zmenšuje elektronovou afinitu (energetickou vzdálenost mezi dnem vodivostního pásu a energetickou hladinou vakua) pomocí ohybu energetických pásů u emitujícího povrchu nebo dokonce její hodnotu učiní zápornou [4]. Potom stačí, aby elektrony byly excitovány do vodivostního pásu (jako je tomu u fotoelektrické vodivosti) a mohou být z prostoru ohybu pásů emitovány, aniž by musely překonávat obvyklou potenciální bariéru na povrchu. Fotoelektrony se jakoby „vykulí“ do vakua. To samozřejmě posune dlouhovlnnou mez k delším vlnovým délkám. Integrovaná citlivost fotokatod NEA je asi 1200 $\mu\text{A/lm}$ místo 300 $\mu\text{A/lm}$ u kvalitních multikalických fotokatod, obvykle používaných u I. nebo II. generace zesilovačů. Hlavní výhoda je citlivost v blízkém infračerveném oboru, nevýhodou náchylnost k tepelnému šumu. Proto se výborně hodí pro noktovizory pěchoty a letectva.

S využíváním fotokatod s negativní elektronovou afinitou je však spojen jeden velký problém. Tato afinita je dosahována velmi sofistikovaným zpracováním emitujícího povrchu fotokatody. Jakmile je jednou emisní povrch v termodynamické rovnováze, je velice citlivý na jakékoliv své fyzikální nebo chemické změny. Takové změny snadno způsobují rychlé ionty zbytkových plynů, vznikající v elektronce ionizací v poměrně intenzivním elektrickém poli mezi fotokatodou a výstupním stínítkem a mimo jiné pocházejí z relativně obrovského povrchu, který představují stěny kanáلكů v destičce. Ionty zbytkových plynů bombardují povrch fotokatody a velmi rychle emisní povrch poničí. Za takových podmínek klesne citlivost galium arsenidové fotokatody po několika málo hodinách provozu na bezvýznamnou hodnotu a elektronka není k použití. A právě aby se tomu předešlo, opatřuje se povrch kanáلكové destičky odvrácený k fotokatodě tenkou vrstvičkou oxidu hliníku nebo hořčíku, který funguje jako iontová past a blokuje ionty. Tato vrstvička musí ovšem být tak tenká, aby umožňovala průnik fotoelektronů do kanáلكové destičky. Nicméně iontová bariéra způsobí, že se uplatní přibližně jen polovina fotoelektronů, směřujících ke kanáلكové destičce a omezen je také průnik nízkoenergetických sekundárních elektronů z čelních stěn kanáلكů do jejich dutiny. Také napětí mezi fotokatodou a kanáلكovou destičkou se u III. generace zvyšuje až na 800 V kvůli lepšímu pronikání fotoelektronů iontovou pastí. Výtečné zesilovače III. generace s fotokatodou NEA však umožňují pozorování až k osvětlením řádu 10^{-5} lx (zatažená noční obloha).

Tak zvaná IV. generace zesilovačů (údajně jen marketinkový termín amerických firem), má představovat největší technický boom v zesilování obrazu v posledních 15 letech. IV. generace, zavedená v USA v 1999, jsou v podstatě zesilovače III. generace ale bez iontové pasti na kanáلكové destičce. Aby mohla být iontová bariéra odstraněna je třeba radikálně snížit obsah zbytkových plynů (hlavně kyslíku a dusíku) v elektronce. Toho se prý dosahuje tak, že elektrony jsou dlouhou dobu ve vakuu odplyňovány při vysokém vakuu a vysokých teplotách za stálého čerpání velmi účinnými moderními vývěvami a povrchy součástek uvnitř elektrony jsou také

bombardovány elektronovým svazkem. Tyto technologické operace před zhotovením fotokatody údajně umožňují očištění vnitřních povrchů do hloubky asi 100 nm, což následně asi stonásobně sníží obsah zbytkových plynů a prodlouží životnost elektronek i bez iontové pasti. Odstraněním iontové pasti z kanálkové destičky se samozřejmě zvýší citlivost fotokatody na hodnotu odpovídající možnostem úplného vstupu fotoelektronů a od nich vznikajících sekundárních elektronů do kanálkové destičky. Značné zvýšení citlivosti přináší výborné vlastnosti při extrémně nízkých hladinách osvětlení (lepší odstup signálu od šumu a také nejméně trojnásobně zvětšenou rozlišovací schopnost proti klasické III. generaci).

V článku jsou ještě některé další diskutabilní formulace a tvrzení. Jejich rozbor by však neúměrně zvětšil rozsah této poznámky.

Literatura

- [1] Medřík A.: Mikrokanálkové plátky-MCP, *JMO* **50** (2005), čís. 10, 291-293
- [2] Jedlička M.: Převáděče a zesilovače obrazu. *Jemná mechanika a optika* (1978), čís. 4, 91- 95.
- [3] Pavlata J.: Nepublikované sdělení (2005)
- [4] Jedlička M.: Stav v oboru fotokatod. *Slaboproudý obzor* **46** (1985), čís. 4, str. 198 - 202

Stanovisko autora článku Mikrokanálové plátky – MCP k výše uvedené Poznámce... Ing. M. Jedličky, CSc. uvedeme v JMO č. 3/06.

Ing. Miroslav Jedlička, CSc., Česká a Slovenská společnost pro fotoniku. E-mail: jedlickam@volny.cz

ECONOS 2006

April 9 – 11, Smolenice, Slovak Republic

European Conference on Nonlinear Optical Spectroscopy

The conference is the 5th in the annual series of meetings begun in 2002 that continues the tradition established by the former European CARS Workshops.

The scope of the conference includes all forms of non-linear optical spectroscopy, theoretical and experimental studies and applications. Contributions on applications in physics, chemistry, engineering, biomedical research and other inter-disciplinary areas are particularly welcome.

Topics:

- developments in non-linear spectroscopic techniques and optical phenomena
- coherent anti-Stokes Raman spectroscopy
- ultrafast laser spectroscopy
- theoretical approaches

- applications of non-linear techniques to gas and plasma diagnostics, combustion, astrophysics, discharges ...
- application of non-linear techniques to condensed phases

Abstract Due Dates

January 31 – selection of oral contributions

February 28 – poster contributions only

Conference Fee

Before February 28 140 EUR (100 EUR for students)

After February 28 180 EUR (140 EUR for students)

Including also the meals and local transport.

Accommodation Fee

Single room 50 EUR per person per night

Double room 30 EUR per person per night

Triple room 20 EUR per person per night

More informations on the conference webpages: <http://www.ilc.sk/econos06> and e-mail address: econos06@ilc.sk

Z dílny starých mistrů

(27. pokračování)



- Jiný předpis: 100 g dobrého, světle žlutého nahrubo rozmělněného šelaku a 500 g alkoholu (90 – 95%) se v dobře uzavřené láhvi častěji protřepe, dokud není šelak rozpuštěný. K následnému filtrátu se přidá asi 20 kapek ricinového oleje (někteří přidávají ještě 2 g kyseliny borité v lihu předem rozpuštěné).
- K obnovení původní barvy ocele doporučují H&W Pataky roztok 5 dílů bílého šelaku, 1 díl boraxu, 5 dílů alkoholu, 4 díly vody a dostatečného množství etylenové modři. Borax se rozpustí ve vodě, šelak v alkoholu, vodní roztok boraxu se svaří a za stálého míchání se dodá etylenová modř. Dříve, než bude roztok použitý, doporučuje se předmět očistit jemným smirkovým papírem. Roztok se na ocelový předmět nanáší měkkou látkou. Množství barviva (modři) v roztoku je velmi malé. Změnou množství přidávané barvy do roztoku se docílí světlejších nebo tmavších nuancí barvy ocele.
- Mosaz se mramoruje na zeleno tak, že mírně ohřáté předměty se pokapou chloridem antimonitým a po důkladném opláchnutí ve vodě se osuší a natře zeleným lihovým lakem v požadovaném tónu zbarvení.

JEŽKO, J. – SOKOL, Š. – VYBÍRAL, P.: Geodézia II. Elektronické meranie dĺžok. 1. vyd., vydavateľstvo STU, Bratislava 2005, 102 s., ISBN 80-227-2194-8, cena: 80,00 Sk

Recenzovaná publikácia je určená ako študijná pomôcka pre študentov bakalárskeho štúdia odboru „Geodézia a kartografia“. Ako z ďalšieho vyplynie, možno túto prácu využiť aj v geodetickej praxi, všade tam, kde sa jedná o praktickú aplikáciu metód elektronického merania dĺžok.

Text monografie je štruktúrovaný do ôsmich kapitol; záverom je uvedená príslušná literatúra (29 prameňov).

Úvodná kapitola sa zaoberá definíciou základnej jednotky dĺžky a historickým vývojom) vrátane zaujímavého prehľadu o určovaní rýchlosti svetla). 2. kap. je venovaná základným vlastnostiam elektromagnetického vlnenia (odraz, difrakcia, index lomu, atď.), ktoré je fyzikálnou bázou konštrukcie elektronických dialkometerov.

V nasledovnej kap. sa autori zaoberajú fyzikálnymi základmi elektronických dialkometerov. 4. kap. je ťažisková: podaný je tu historický prehľad vývoja el. dialkometerov, princípy merania s nimi, ako aj metódy merania dĺžok s pomocou týchto meradiel. Trochu neorganicky pôsobí zaradenie subkapitoly 4.6, pretože kategorizácia by mala byť uvedená hneď na začiatku kapitoly! Záver kapitoly tvoria state o modulácii svetla a odrazných hranoloch.

5. kap. má zaujímavý názov, ktorý však jej text plne nereflektuje. Ide tu o opravy (fyzikálne, matematické i prístrojové), ktoré parciálne možno aplikovať len na základe kalibrácie elektronických dialkometerov. V tejto kap. postrádam jednoznačne konkretizovaný text o postupe kalibrácie el. dialkometerov!

V 6. kap. sú uvedené informácie o vývoji svetelných dialkometerov pre geodetické účely. Okrem toho je tu zmienka aj o univerzálnych meracích stanicách (nebolo by vhodnejšie hovoriť o integrovaných meracích systémoch??), ktoré poskytujú možnosť simultánneho merania dĺžok a uhlov z jedného stanoviska. K tomu sú uvedené aj príslušné (hoci veľmi stručne) údaje o programovom vybavení.

Zaujímavá je kap. o meraní dĺžok na základe akustických vln. Autori tu podávajú základné údaje o charaktere zvuku (resp. ultrazvuku), zdrojoch a systémoch, používaných pre riadenie stavebných strojov. Záverečná kapitola je veľmi stručná, poskytuje však odkazy na nečíslované strany skript, kde sa nachádzajú firemné materiály niekoľkých výrobcov elektronických dialkometerov.

I. Brezina

LIRA, I.: Evaluating the measurement uncertainty. (Hodnotenie neistoty merania). 1. vyd., Institute of Physics Publishing, Bristol/Philadelphia 2004, XVI + 243 s., ISBN 0-7503-0840-0

Tematika neistoty výsledkov merania je tak trochu „módou“ v metrologii posledného desaťročia; nepochybne však ide o veľmi aktuálnu a dôležitú súčasť všeobecnej metrologie, najmä v praktickej činnosti kalibračných laboratórií.

Recenzované dielo (s podtitulkom: „Základy a praktický návod“) je v podstate príručkou, vysvetľujúcou a doplňujúcou dikciou medzinárodnej smernice „ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ z r. 1995. Autor bol motivovaný zrejme tým, že daná smernica je príliš teoretická a vyžaduje mnohé vysvetlenia, praktické odporúčania a návody na jej aplikáciu v praxi.

Monografia pozostáva zo šiestich kapitol, pričom úvodnú kapitolu tvorí (trochu atypicky, ale celkom vhodne) stať bývalého riaditeľa BIPM Dr. T. J. Quinna o metrologii a jej poslaní v súčasnom svete.

2. kap. knihy je venovaná základným pojmom a definíciám, ktoré sa vzťahujú k problematike neistôt meraní. Tu sú vysvetlené aj otázky kalibrácie, nadväznosti, chýb, správnosti merania apod. Zvlášť je potrebné oceniť, že autor jednoznačne vysvetľuje základný rozdiel medzi „správnosťou“ a „presnosťou“.

3. kap. sa zaoberá obširne otázkami definície a výpočtu štandardnej neistoty. Uvedené sú tu aj rozdelenia (normálne, pravouhlé, trojuholníkové, logaritmické atď.), princíp aplikácie metódy Monte Carlo, prístup ku korigovaniu výsledkov meraní na základe výsledkov

kalibrácie. Nasledovná kapitola je zameraná na otázky, súvisiace s výpočtom rozšírenej neistoty.

5. kap. diela sa venuje prípadom merania viacerých veličín. Podaný je tu postup podľa metódy najmenších štvorcov, ako aj príklady pre kalibráciu termočlánkov a váh.

Posledná kap. obsahuje Bayesovský postup k metódam rôzneho vyhodnotenia výsledkov meraní (vrátane úvah o hodnotení miery riziku výrobcu a odberateľa). Uvedené sú tu rôzne modely merania a ich posúdenie z hľadiska Bayesovho teorému.

Dielo je zakončené prílohou, obsahujúcou veľmi užitočné matematickoštatistické tabuľky, slovníkom (ide o vysvetlenie skratiek a použitéj symboliky), indexom termínov a zoznamom literatúry (55 prameňov).

Odporúčame ako veľmi vhodnú príručku pre metroológov, hlavne pre pracovníkov kalibračných laboratórií.

I. Brezina

Ventkataraman P.: Applied Optimization with Matlab Programming. John Wiley & Sons, New York 2002. 398 stran, ISBN: 0-471-34958-5, 81 USD

Optimalizáci se rozumí postup, kterým se snažíme nalézt to „nejlepší“ řešení daného problému. Matematické optimalizační úlohy hrají mimořádnou roli při řešení mnoha praktických problémů ve vědě, technice a ekonomii, neboť tyto metody umožňují zlepšovat řešení mnohých stávajících technických a inženýrských úloh. Zejména v posledních letech se použití těchto metod stále rozšiřuje v nejrůznějších technických oblastech, což souvisí s rozvojem počítačové techniky, která umožňuje efektivně řešit optimalizační úlohy s mnoha parametry. Neméně důležitou částí optimalizačního procesu je i nutnost znalosti programování a použití optimalizačních procedur a funkcí s pomocí nejrůznějšího programového vybavení. Tato publikace se zaměřuje na teoretický výklad klasických lineárních i nelineárních metod numerické optimalizace s aplikacemi na příkladech, při jejichž řešení využívá matematického systému Matlab.

Knihy je rozdělena na deset kapitol, které jsou doplněny seznamem doporučené literatury. První kapitola knihy se zaměřuje na základy optimalizačního procesu, popis optimalizačních problémů a jsou zde též stručně uvedeny základy programování v systému Matlab. Druhá kapitola je věnována problematice grafického řešení optimalizačních problémů se dvěma proměnnými v Matlabu. Ve třetí kapitole jsou poté popisovány metody tzv. lineárního programování pro řešení problémů, které jsou popsány lineárními vztahy. Naproti tomu čtvrtá kapitola je zaměřena na úvod do tzv. nelineárního programování, které umožňuje řešit praktické technické optimalizační problémy, jež jsou svou podstatou ve většině případů nelineární. V páté kapitole autoři nejprve probírají problém jednodimenzionální optimalizace a v následujících dvou kapitolách se poté zaměřují na klasické numerické metody pro řešení vícedimenzionálních optimalizačních problémů s respektováním omezujících podmínek. Osmá kapitola dále popisuje stručně problematiku metod diskrétní optimalizace, kdy jednotlivé optimalizační proměnné jsou omezeny na množinu diskrétních hodnot. V deváté kapitole jsou velmi stručně uvedeny principy některých metod tzv. globální optimalizace. Poslední, desátá kapitola, která je spíše jakýmsi dodatkem, obsahuje velice stručný výčet funkcí pro matematickou optimalizaci, jež jsou zahrnuty v Optimization Toolboxu k Matlabu.

Knihy pokrývá stručně většinu klasických metod matematické optimalizace, přičemž probíraná teoretická problematika je vhodně doplněna mnoha příklady a grafickými ilustracemi, jež jsou modelovány v systému Matlab. Dále je kniha na související webové stránce doplněna všemi kompletními zdrojovými kódy programů, jež jsou vytvořeny pro řešení příkladů a grafickou ilustraci prezentovaných numerických optimalizačních metod. Publikace je dobrou doplňující učebnicí metod matematické optimalizace, která rozvíjí jak teoretické znalosti jednotlivých optimalizačních metod tak i programátorské dovednosti nutné při řešení konkrétních problémů. Knihu je tak možno doporučit jak pokročilejším vysokoškolským studentům všech technických, přírodovědných a ekonomických oborů tak vědeckým a pedagogickým pracovníkům, kteří se s problematikou optimalizace setkávají.

J. Novák

CONTENTS

Double Dioptra anniversary (J. Kalina)..... 31

... where some fail KONVEX - Recept optika s.r.o. proceeds! (J. Brožek, V. Pavlas)..... 31

Aspherical optical surface quality measurement (J. Hošek) 33

An article gives a overview of an aspherical optical surface quality measurement. Both contact and contactless quality measurement methods are presented with emphasis to its application in case of rotational hyperboloid optical surface. A numerical simulation program was created for investigation an influence of set-up alignment errors to the wavefront deformation for the case of interferometric measurement of hyperbolic surface with a Hindle method. Individual interference patterns of each error are also presented.

Internet and integrated automatization laboratories (F. Hruška) 43

The paper gives the first information about solving of project FRVŠ with name "Laboratory of integrated automation". The goal of project is to build up the laboratory with some distance really experiments and accessible local and remote over the Internet. The access and process of laboratory tasks and its practice measurement by education of applied informatics and integrated automation is designed for nine experimental tasks in all.

Heat Marks and Microfluidic (M. Adámek, L. Macků) 46

Microfluidic – a method of measurement and control of fluid flow in equipment with extremely small dimension is one of the major interest of many research centres. Very small Reynolds numbers exclude using of standard methods in flow measurement in microfluidic. The flow measurement by the help of the temperature marks is good way in microfluidic.

Optometry studies at Palacky University (J. Wagner, F. Pluháček)..... 50

OCULUS - Your reliable confirmed partner supplying ophthalmological and optical instruments (Z. Siegel)..... 55

Note to the article "Microchannel plates - MCP" (M. Jedlička) 57

ECONOS 2006..... 58

SPIE/CS library acquisition 60

ANOTACE

Komora s kontrolovanou atmosférou pro projekt AIRFLY (V. Vacek, M. Doubrava, L. Nožka, M. Hrabovský, J. Řídký, P. Schovánek, M. Palatka, M. Boháčová, M. Pech, D. Mandát) 51

Cílem projektu AIRFLY je napodobit a proměřit proces fluorescenční a Čerenkovské emise vznikající dopadem kosmického záření na molekuly dusíku ve vyšších vrstvách atmosféry. Bylo navrženo několik uspořádání pro měření fluorescenčního a Čerenkovského světla. V tomto článku je popsána komora s řízenou atmosférou pro modelování podmínek v různých výškách zemské atmosféry. Komora byla zkonstruována ve Fyzikálním ústavu AV ČR ve spolupráci se Strojní fakultou ČVUT a Společnou laboratoří optiky Univerzity Palackého a FZÚ AV ČR v Olomouci.

Přírůstky knihovny SPIE/CS

- | | | | |
|------|--|------|--|
| 1050 | Practical Holography XVII and Holographic Materials IX (21-23 January 2003, Santa Clara, California, USA)
Vol. 5005 | 1057 | Fundamental Problems of Optoelectronics and Microelectronics (30 September-4 October 2002, Vladivostok, Russia)
Vol. 5129 |
| 1051 | Optical Technology and Image Processing for Fluids and Solids Diagnostics 2002 (3-6 September 2002, Beijing, China)
Vol. 5058 | 1058 | Current Research on Holography and Interferometric Methods for Measurement of Object Properties: 2000-2002 (SPIE Russia Chapter)
Vol. 5134 |
| 1052 | Fourth International Symposium on: Laser Procecion Micro-fabrication (21-24 June 2003, Munich, Germany)
Vol. 5063 | 1059 | International Conference on Lasers, Applications, and Technologies 2002: Optical Information, Data Processing and Storage, and Laser Communication Technologies (22-27 June 2002, Moscow, Russia)
Vol. 5135 |
| 1053 | Saratov Fall Meeting 2002: Laser Physics and Photonics, Spectroscopy, and Molecular Modeling III; Coherent Optics of Ordered and Random Media III (1-4 October 2002, Saratov, Russia)
Vol. 5067 | 1060 | Optical Measurement Systems for Industrial Inspection III (23-26 June 2003, Munich, Germany)
Vol. 5144 |
| 1054 | Optical Pattern Recognition XIV (24-25 April 2003, Orlando, Florida, USA)
Vol. 5106 | 1061 | ALT'02 International Conference on: Advanced Laser Technologies (15-20 September 2002, Adelboden, Switzerland)
Vol. 5147 |
| 1055 | Visual Information Processing XII (21 April 2003, Orlando, Florida, USA)
Vol. 5108 | 1062 | UV/Optical/IR Space Telescopes: Innovative Technologies and Concepts (3-5 August 2003, San Diego, California, USA)
Vol. 5166 |
| 1056 | International Conference on Lasers, Applications, and Technologies 2002: Laser Processing of Advanced Materials and Laser Microtechnologies (22-27 June 2002, Moscow, Russia)
Vol. 5121 | | |

DÁRKOVÉ A REKLAMNÍ PŘEDMĚTY ZE SKLA



BML

BOHEMIA MACHINE s.r.o.

Nová Ves 58/ 582 91 Světlá nad Sázavou/ tel: +420 569 432 255 / fax: +420 569 456 265 / e-mail: sklo@bohemia-machine.cz
www.bohemia-machine.cz

D I O P T R A

PŘIROZENÉ A VĚRNÉ VIDĚNÍ



110 LET

OD ZALOŽENÍ OPTICKÉ
VÝROBY V TURNOVĚ

50 LET

SAMOSTATNÉHO
PODNIKU DIOPTRA

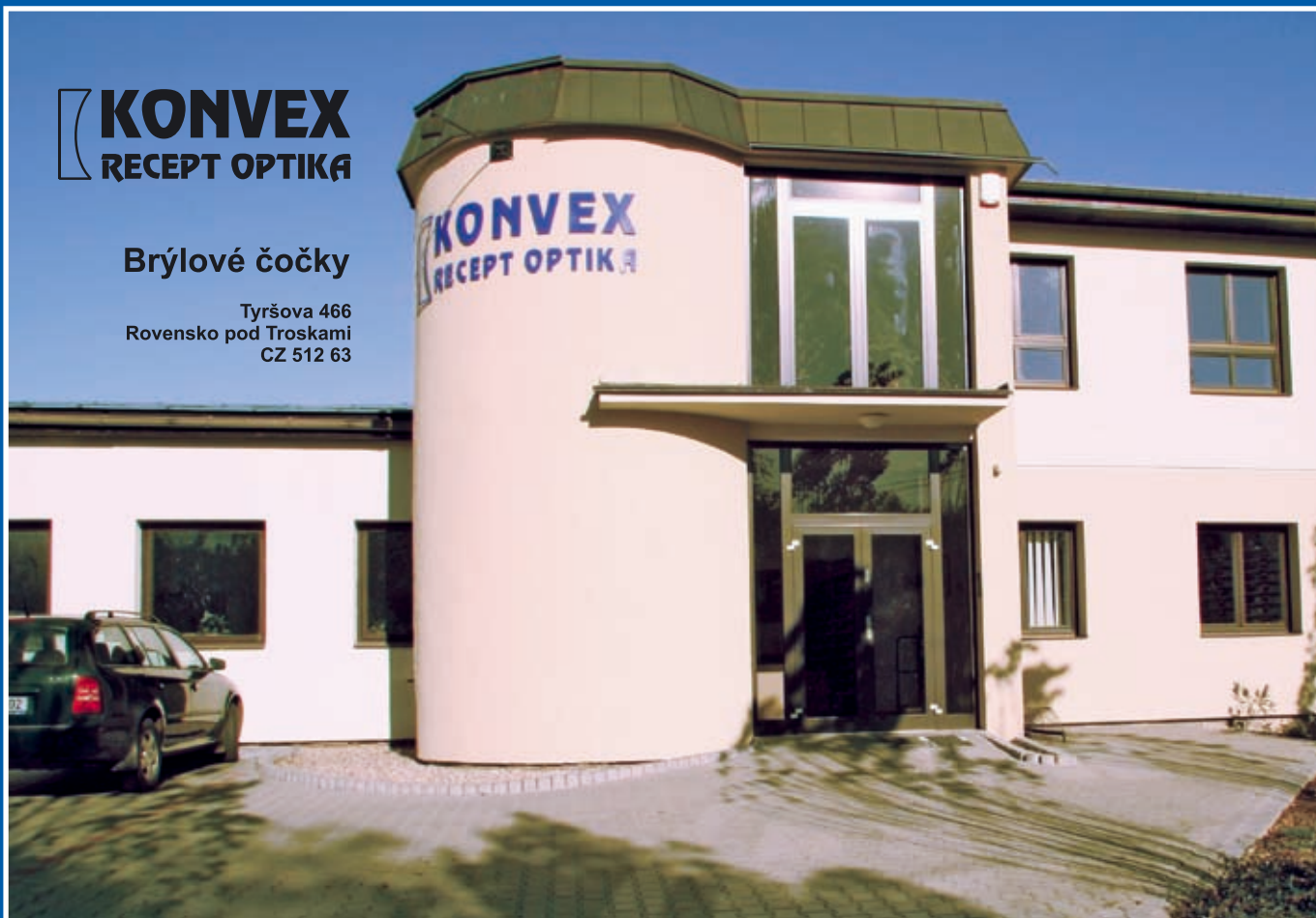
D I O P T R A



KONVEX
RECEPT OPTIKA

Brylové čočky

Tyršova 466
Rovensko pod Troskami
CZ 512 63



OPTIM výroba polotovarů CR-39

Zpracování materiálu CR 39 v České republice bylo zahájeno dovozem malé linky do podniku DIOPTRA v roce 1990. Po mnoha zkouškách vedení podniku rozhodlo v roce 1993 o ukončení výroby a prodeji linky. V roce 1994 pokračovala výroba v malé laboratoři se zahraničním partnerem opět na turnovsku. V roce 1997 ukončila svou činnost a byla založena soukromá malá firma OPTIM, která pokračuje ve výrobě v provozovně v Rovensku pod Troskami.



V současné době jsme jediným zpracovatelem CR 39 v České republice. Zásobujeme optické dílny polotovary pro výrobu receptových i přístrojových čoček. Plníme i požadavky malých sérií i jednotlivých kusů speciálních čoček dle požadavků zákazníků a našich technologických možností na dodaných formách. V našem sortimentu jsou sférické čočky, asférické čočky, čočky OMEGA a LENTI v průměru od 50 – 75 mm.

Komenského 833, 511 01 TURNOV, tel. + fax: 00420 481 323 263, Česká republika
Provozovna: Na Týně 180, 512 63 ROVENSKO pod Troskami, tel.: 00420 481 381 211, e-mail: optim@tiscali.cz