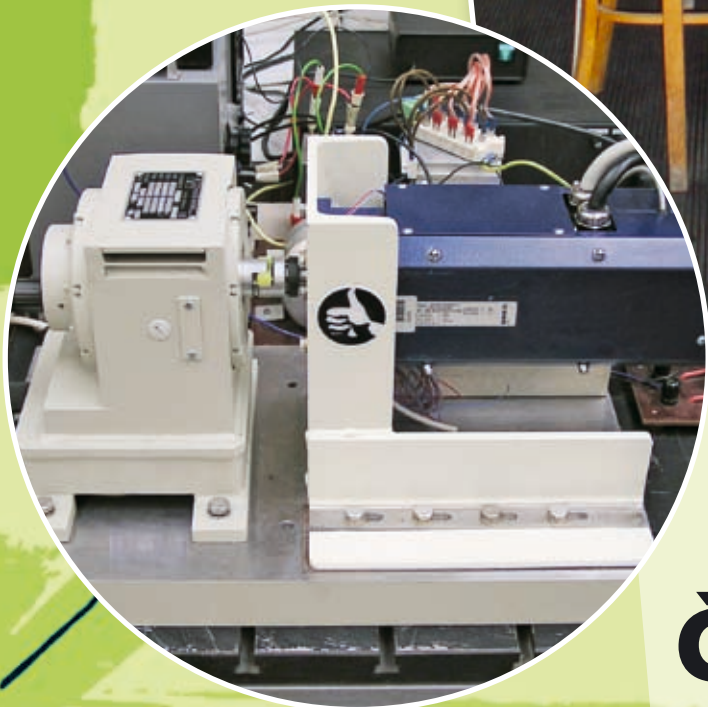


6
2007

JMO

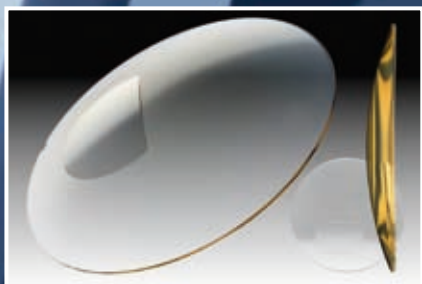
JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS

**Ústav přístrojové
a řídicí techniky
Fakulta strojní ČVUT
Praha**



**300 let
ČVUT Praha**

DIOPTRA a. s. TURNOV NABÍZÍ:



Břýlové čočky s antireflexními, zrcadlovými a hydrofobními úpravami



Zakázkovou optiku průmyslovou i komerční, asférické a další speciální čočky pro automobilový a letecký průmysl nebo pro efektní osvětlovací zařízení apod.



Lupy ruční s LED osvětlením, lupy barokní a další široký sortiment včetně lup Brinellových s měřicí stupnicí s dělením po 0,1 mm



Lupy stojánkové bez osvětlení, s osvětlením i aplanatické, svítidla s halogenovými, zářivkovými a nově i s LED čipovými zdroji světla pro zdravotnictví, průmysl i domácí použití



REDAKČNÍ RADA

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

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

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

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

Odpovědný zástupce vydavatele: Jan ŘÍDKÝ, CSc.

Šéfredaktor: dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

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

Adresa redakce v Přerově (šéfredaktor): Kabelíkova 1, 750 02 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 a Podniková prodejna Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov.

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

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita - FPV, Hurbanova 15, SK - 010 26 Žilina, tel.: +421 415 136 350, e-mail: ivo.cap@fpv.utc.sk
Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov,
tel.: 573 398 746, e-mail: dtp@typoservis.cz

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

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2007

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 52 6/2007

OBSAH

Přesná mechanika a optika na ČVUT v Praze (J. Hošek).... 171

**Dynamické superpovice k potlačení nelinearit
v polohovém servomechanismu** (I. Uhlíř, J. Chyský)..... 173

**Formální podpora konceptuálního navrhování
– alternativní přístup** (J. Bíla, J. Jura)..... 176

Úprava čela kapiláry v optické kvalitě
(K. Studenovský, J. Hošek)..... 182

Skenovací systém pro spektrometr
(Š. Němcová, J. Zicha)..... 185

Laboratorní model „Kulička na elipse“
(M. Hofreiter, M. Plhoň) 188

**Vyhodnocení interferenčního pole elektronické korelační
interferometrie metodou Fourierovy transformace**
(P. Dvořáková, V. Bajgar, J. Trnka)..... 190

Z dílny starých mistrů..... 193

Simulátor slunečního svitu pro testování optických rastrů
(J. Zicha, J. Čáp, B. Šourek, V. Jirka, J. Červený, J. Korečko,
Š. Němcová) 194

Z technické knihovny (I. Brezina)..... 198

Dioptra, a. s. Turnov - Dioptra CZ a. s. (J. Karmášek)..... 199

Kontrola – kvalita – výtěžnost (J. Šťastný) 199

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, s.r.o., Přerov (Czech Rep.)

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), 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 KRÉSÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Bohumila LENCOVÁ - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric., Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠŤÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Ing. Monika MÍCHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PERINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jan ŘÍDKÝ - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

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

FINE MECHANICS AND OPTICS

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

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

Editor: Jan ŘÍDKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, phone: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: 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, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov, Czech Republic.

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

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

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

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2007

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

VOLUME 52

6/2007

CONTENTS

<i>Fine Mechanics and Optics at Czech Technical University in Prague</i> (J. Hošek)	171
<i>Dynamical Superposition for Non-linearities Suppression in Actuator Position Control</i> (I. Uhlíř, J. Chyský)	173
<i>Formal aid to the conceptual design – alternative approach</i> (J. Bíla, J. Jura)	176
<i>Optical quality capillary tip polishing</i> (K. Studenovský, J. Hošek)	182
<i>A scanning system for spectrometer</i> (Š. Němcová, J. Zicha)	185
<i>Laboratory model "Ball & Ellipse"</i> (M. Hofreiter, M. Plhoň)	188
<i>Fringe Pattern Analysis Using the Fourier Transform Method for Electronic Speckle Pattern Interferometry</i> (P. Dvořáková, V. Bajgar, J. Trnka)	190
<i>A Simulator of the Sun Radiation for Optical Raster Testing Annotation</i> (J. Zicha, J. Čáp, B. Šourek, V. Jirka, J. Červený, J. Korečko, Š. Němcová)	194
<i>From technical library</i> (I. Brezina)	198
<i>Dioptra, a. s. Turnov - Dioptra CZ a. s.</i> (J. Karmášek)	199
<i>Control – quality - yield</i> (J. Šťastný)	199

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

Přesná mechanika a optika na ČVUT v Praze

Článek při příležitosti 300 let ČVUT podává krátký přehled o historii a současnosti výuky přesné mechaniky a optiky, a to zejména na Fakultě strojní ČVUT. Obsah a rozsah výuky oboru je doložen historickým přehledem vybraných vysokoškolských učebnic autorů působících na katedře a odboru přesné mechaniky a optiky za dobu jeho 56leté existence.

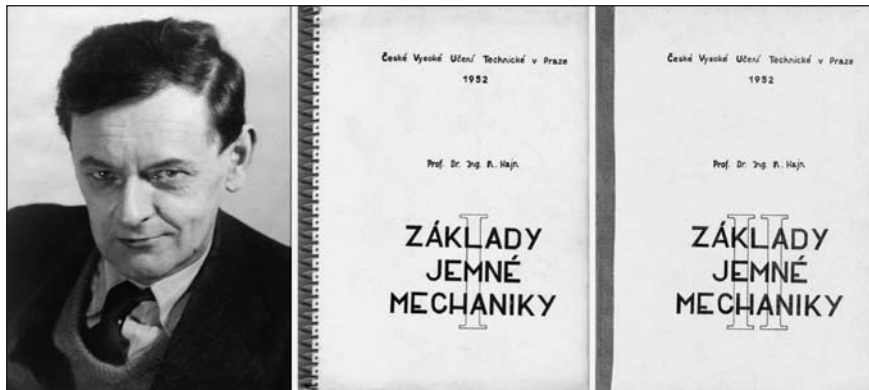
Přestože doba existence samostatného oboru přesné mechaniky a optiky v rámci Fakulty strojní je v porovnání s historií ČVUT relativně krátká, odpovídá věku tří generací absolventů. Za tuto dobu obor na ČVUT vystudovalo více než tisíc absolventů, kteří později zastávali řadu významných míst v průmyslu, vývoji či politice u nás i v zahraničí. To svědčí o významu oboru v technice i charakteru lidí, kteří se jím chtějí zabývat.

Obor přesné mechaniky a optiky vznikl částečně v důsledku direktivní politické zvláště nastalé po roce 1948. Zákon o vysokých školách vydaný v roce 1950, který vedl k rozdělení tehdejší Vysoké školy strojního a elektrotechnického inženýrství na Fakultu elektrotechnickou a Fakultu strojního inženýrství, také zapříčinil převedení výuky oboru letadlové techniky vyučovaného na ČVUT na Vojenskou akademii VAAZ do Brna. To byl jeden z důvodů, proč známý letecký konstruktér prof. Hajn využil svých výborných znalostí z konstrukce leteckých přístrojů a v roce 1951 založil obor přesné mechaniky a optiky v rámci tehdejší katedry obráběcích strojů Fakulty strojního inženýrství ČVUT. Odborné kvality pro zavedení nového oboru prokázal vydáním prvních skript k předmětu Základy jemné mechaniky vydané v letech 1952 a 1953 [1, 2, 3, 4], jejichž základní funkční principy shrnuté v [5, 6] jsou dodnes aplikovatelné při navrhování mechanických a optických přístrojů.

Optickou technologii a optiku vyučoval v té době RNDr. Mazurek, který s prvními absolventy oboru sepsal první skripta Technologie přesné mechaniky [7, 8, 9, 13] a samostatně pak skripta Technické optiky a Fyziky [11, 12, 17, 18, 20, 21].

Prvními studenty a posléze následovníky profesora Hajna na oboru byli prof. Kamarád, prof. Podzimek, doc. Šulc a Ing. Otáhal, kteří se ihned aktivně zapojili do práce v oboru a dále rozšířili základní výukové texty [7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 19, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 31].

V roce 1963 jsou na Fakultě strojní ČVUT zavedeny nové směry studia, v rámci kterého vzniká i samostatná katedra přesné mechaniky a optiky vedená až do roku 1984 prof. Kamarádem. Katedra se podílí na výuce v oboru „Přístrojová, regulační a automatizační technika“, se dvěma zaměřeními: „přesná mechanika a optika“ a „automatizační technika“. V této době nastupuje na katedru další generace, absolventi: Ing. Sobotka, Ing. Bumbálek, prof. Studenovský a z praxe doc. Bernard a Ing. Václavík. I ti se rychle zapojili do výuky přesné mechaniky a optiky, a to zejména vytvořením řady názorných laboratorních úloh popsanych v sérii skript Laboratorní cvičení [19, 24, 25, 29, 32, 42]. Profesor Kamarád navázal na práce prof. Hajna a rozšířil je o přehled nových materiálů a tabulek vhodných při konstrukci přístrojů [30, 31, 33, 38, 39]. Na práce v oboru optiky dr. Mazurka navázali Ing. Otáhal, Ing. Václavík, Ing. Bumbálek a doc. Motyčka, který po roce 1968 odešel do zahraničí, a později i doc. Baudyš, který na katedru nastoupil v roce 1969 [22, 23, 27, 28, 29, 34, 36, 37, 41, 44].



Obr. 1 Prof. Hajn a jeho první skripta Základů jemné mechaniky

Po prof. Kamarádovi se ve vedení katedry postupně vystřídali prof. Studenovský, prof. Podzimek, doc. Zicha a doc. Bernard. V devadesátých letech minulého století se však katedra potýkala s trvalým úbytkem studentů, znatelným na celé strojní fakultě ČVUT, a s každoročně zvyšujícím se věkem pedagogů. Tento trend vyvrcholil v roce 1998 opětovným spojením samostatné katedry do Ústavu přístrojové a řídicí techniky jako odbor přesné mechaniky a optiky. To bylo provázeno náročným stěhováním celého odboru včetně laboratoří z Albertova do hlavní budovy Fakulty strojní v Praze 6 Dejvicích v letech 2002 a 2003. Kromě výuky přesné mechaniky a optiky jak v magisterském oboru v rámci mateřského ústavu tak i samostatném postgraduálním studiu, odbor také spolupracuje na výuce oboru Biomedicínské a rehabilitační inženýrství [47] a aktivně navazuje další spolupráce nejen v rámci výuky, ale také vývoje a výzkumu s průmyslovými podniky a dalšími institucemi, zejména Akademií věd ČR. V poslední době na odbor přesné mechaniky a optiky nastoupila další generace absolventů, kteří zajišťují pokračování a další rozvoj vědy a výuky v oboru: dr. Čáp, dr. Němcová, dr. Hošek a Ing. Dvořáková. S touto generační změnou je spojena i soustavná modernizace našich laboratoří i laboratorních úloh podpořená několika granty MŠMT, GA ČR i dalších institucí. V současné době dochází na Fakultě strojní ke změně struktury studia na navazující bakalářské a magisterské studium, a tomu chceme přizpůsobit i náplň a obsah našich výukových textů. Proto je v současné době připravováno několik nových titulů vysokoškolských skript, z nichž první Holografie autorů Němcová, Dvořáková, Václavík vyjde v nakladatelství ČVUT začátkem příštího roku. Bližší informaci k tomuto skriptu je pro zájemce možno získat na e-mailu: Sarka.Nemcova@fs.cvut.cz.

Přestože obor přesná mechanika a optika na ČVUT má své nezastupitelné místo na Fakultě strojní, výuka optiky zdomácněla i na dalších pracovištích ČVUT, se kterými často spolupracujeme. Na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské vyučuje fyzikální optiku prof. Fiala [48, 49, 50]. Nelze nezmínit skupinu prof. Mikše z katedry fyziky Fakulty stavební ČVUT s vysokoškolskými učebnicemi

[51, 52, 53]. V neposlední řadě se oboru úzce dotýká také práce prof. Hlaváče [54, 55, 56] zabývající se zpracováním obrazu a další osobnosti [57, 58] z Fakulty elektrotechnické ČVUT.

Na závěr lze konstatovat, že i přes personální a organizační komplikace posledních let, obor přesná mechanika a optika má své pevné místo na ČVUT i perspektivu svého dalšího budoucího rozvoje.

Literatura

- [1] Hajn M.: Základy jemné mechaniky I, ČVUT, 1952.
- [2] Hajn M.: Základy jemné mechaniky II, ČVUT, 1952.
- [3] Hajn M., Šulc V.: Základy jemné mechaniky III, ČVUT, 1953.
- [4] Hajn M.: Základy jemné mechaniky a hodinářství: přehled přesné mechaniky v celém rozsahu s podrobným pojednáním o hodinářské technice, Práce, 1953.
- [5] Hajn M.: Základy přesné mechaniky: pomůcka k odbornému školení dorostu i dospělých a úvodní knížka pro praxi, SNTL, 1961.
- [6] Hajn M.: Přehled přesné mechaniky, SNTL, 1969.
- [7] Mazurek A., Šulc V.: Technologie přesné mechaniky a optiky, ČVUT, 1955.
- [8] Kamarád J., Podzimek J., Šulc V.: Vybrané stati z přesné mechaniky, ČVUT, 1955.
- [9] Mazurek A., Šulc V., Kamarád J.: Technologie přesné mechaniky a optiky II, ČVUT, 1956.
- [10] Šulc V., Kamarád J.: Technologie přesné mechaniky a optiky III, ČVUT, 1959.
- [11] Mazurek A.: Technická optika 1, ČVUT, 1959.
- [12] Mazurek A.: Technická optika 2, ČVUT, 1960.
- [13] Mazurek A.: Technologie přesné optiky: základní škola optiky pro praxi i poučení, SNTL, 1961.
- [14] Otáhal J.: Fotografie, ČVUT, 1961.
- [15] Kamarád J.: Technologie přesné mechaniky a optiky 4, ČVUT, 1962.
- [16] Podzimek J.: Měření času, ČVUT, 1962.
- [17] Mazurek A.: Technická fyzika 1, SNTL, 1963.
- [18] Mazurek A.: Technická fyzika 2, elektřina, SNTL, 1963.
- [19] Kamarád J., Bumbálek J.: Laboratorní cvičení I pro studijní obor „Přesná mechanika a optika“, ČVUT, 1964.
- [20] Mazurek A.: Přístrojová optika: pojednání o optických částech přístrojů, s nimiž se nejčastěji setkáváme v denním životě, SNTL, 1965.
- [21] Mazurek A.: Základy technické optiky: učební text a úvod k základnímu školení v oboru přesné mechaniky a optiky, SNTL, 1965.
- [22] Otáhal J.: Optické přístroje 1, ČVUT, 1965.
- [23] Motyčka J.: Interferometry a fotoelektrické přístroje, ČVUT, 1965.
- [24] Kamarád J.: Laboratorní cvičení II pro studijní obor „Přesná mechanika a optika“, ČVUT, 1966.
- [25] Kolektiv katedry: Laboratorní cvičení III pro studijní obor „Stavba přístrojové, regulační a automatizační techniky“, ČVUT, 1967.
- [26] Šulc V.: Krystaly a jejich technické využití, ČVUT, 1967.
- [27] Motyčka J.: Vlnová a kvantová optika v přístrojové technice, SNTL, 1967.
- [28] Otáhal J.: Optické přístroje 2, ČVUT, 1968.
- [29] Václavík P., Bumbálek J., Bernard J.: Laboratorní cvičení IV.: Fotografie, ČVUT, 1969.
- [30] Kamarád J.: Materiály pro přesnou mechaniku a optiku, ČVUT, 1971.
- [31] Kamarád J., Otáhal J., Podzimek J., Šulc V.: Přesná mechanika a optika: Základní kvalifikační učebnice, ČVUT, 1974.
- [32] Kolektiv katedry: Laboratorní cvičení V, ČVUT, 1974.
- [33] Kamarád J.: Technické tabulky pro výpočty a konstrukci přístrojů přesné mechaniky a optiky, ČVUT, 1976.
- [34] Václavík P.: Úvod do vlnové optiky, ČVUT, 1977, 1980.
- [35] Bernard J.: Mechanické části zařízení výpočetní techniky, ČVUT, 1978.
- [36] Bumbálek J.: Optika pro automatizační techniku, ČVUT, 1978.
- [37] Václavík P.: Technická optika II, ČVUT, 1983, 1991, 1996.
- [38] Kamarád J., Sládek, Z.: Základy přesné mechaniky I, ČVUT, 1984, 1987.
- [39] Kamarád J.: Základy přesné mechaniky II, ČVUT, 1985, 1988.
- [40] Bernard J.: Zařízení výpočetní techniky a řídicí počítače, ČVUT, 1986, 1990.
- [41] Bumbálek J.: Základy technické optiky, ČVUT, 1987, 1988, 1990, 1995, 1997.
- [42] Sobotka P., Drbal J., Václavík P., Bumbálek J.: Laboratorní cvičení, ČVUT, 1989, 1991.
- [43] Šulc V.: Technologie přístrojové techniky 1, ČVUT, 1990.
- [44] Baudyš A.: Technická optika, ČVUT, Praha 1996.
- [45] Zicha J., Němcová Š.: Základy konstrukce přístrojů: doplňkové skriptum, ČVUT, 1998.
- [46] Bernard J.: Technický experiment, ČVUT, 1999.
- [47] Bernard J.: Biomedicínské a rehabilitační inženýrství Magisterský studijní obor na Fakultě strojní ČVUT v Praze, JMO 5/2004.
- [48] Fiala P.: Základy fyzikální optiky, ČVUT, Praha 1999.
- [49] Fiala P., Richter I.: Fourierovská optika a optické zpracování signálů, Praha 2004.
- [50] Fiala P.: Fyzikální optika, ČVUT, Praha 2005.
- [51] Mikš A.: Aplikovaná optika 10 (Geometrická a vlnová optika), ČVUT, Praha 2000.
- [52] Mikš A.: Teorie optického zobrazení, ČVUT, Praha 2004.
- [53] Mikš A.: Fyzika 2 Elektromagnetické pole, ČVUT, Praha 2005.
- [54] Hlaváč V., Šonka M.: Počítačové vidění, GRADA, Praha 1992.
- [55] Sonka M., Hlavac V., Boyle R.: Image Processing, Analysis and Machine Vision, Thomson-Engineering, Australia, 1993, 1998, 2008.
- [56] Hlaváč V., Sedlášek M.: Zpracování signálů a obrazů, ČVUT, Praha 2000, 2005.
- [57] Novotný K.: Optická komunikační technika, ČVUT, Praha 2002.
- [58] Fisher J.: Optoelektronické senzory a videometrie, ČVUT, Praha 2002.

Dynamické superposice k potlačení nelinearit v polohovém servomechanismu

Polohový servomechanismus s malým stejnosměrným motorkem, točivý moment 1 Nm, rozsah 210 grad, využívající dynamické superposice vibrací pro potlačení vlivu tření a vůlí v převodovce.

Klíčová slova: servomechanismus, DC motor, H můstek, potenciometr

1. ÚVOD

Klasický stejnosměrný komutátorový motorek je nejčastěji používaným hnacím prvkem zejména v jednoduchých a na přesnost nenáročných pohonech. Jeho výhodou je jednoduchý řídicí elektronický obvod, snadno umožňující reversaci směru otáčení. Často inzerované nevýhody, jako opotřebování komutátoru, radiofrekvenční rušení, nejsou tak závažné a tak neodstranitelné, jak tvrdí zastánci složitějších řešení, např. s krokovými motorky. Viditelným argumentem použitím pohonu komutátorovým motorkem je stále jejich velmi časté použití v nových přístrojových aplikacích, viz různá použití v pomocných pohonech FD, CD mechanikách, v tiskárnách atd. Častým případem jsou také aplikace, kde již je DC motorek umístěn bez řízení v uzavřené smyčce a je třeba jednoduše systém doplnit zpětnovazebním řízením. Právě jednoduché klasické řešení, v našem komplikovaném věku zapomenuté, může přinést efektivní a spolehlivé řešení problémů.

Pokud u polohového servomechanismu chceme dosáhnout dobré přesnosti nastavení ustálené polohy, narazíme na problém mechanických nelinearit, které dosažitelnou přesnost nakonec limitují. Takovými významnými nelinearitami jsou tření a vůle v mechanismu.

2. VLIV TŘENÍ

Tření kartáčů po komutátoru nemůžeme u klasického komutátorového motoru z principu zcela odstranit, neboť kartáče musí mít nenulový přítlak. K tomuto tření se přidává tření v ložiskách a ve většině různých polohových mechanismů také vlastního mechanismu, třeba pohybového šroubu atd. V důsledku tření se mechanismus zastaví v mrtvém pásmu intervalu necitlivosti, když

okamžitý točivý moment motorku je menší než třecí moment M_t , jak je znázorněno ve fázové rovině na obr. 1 jako křivka a.

V případě, že soustava a regulátor polohy mají proporcionální složku přenosu k_p , bude výsledná poloha ležet v intervalu necitlivosti Δx

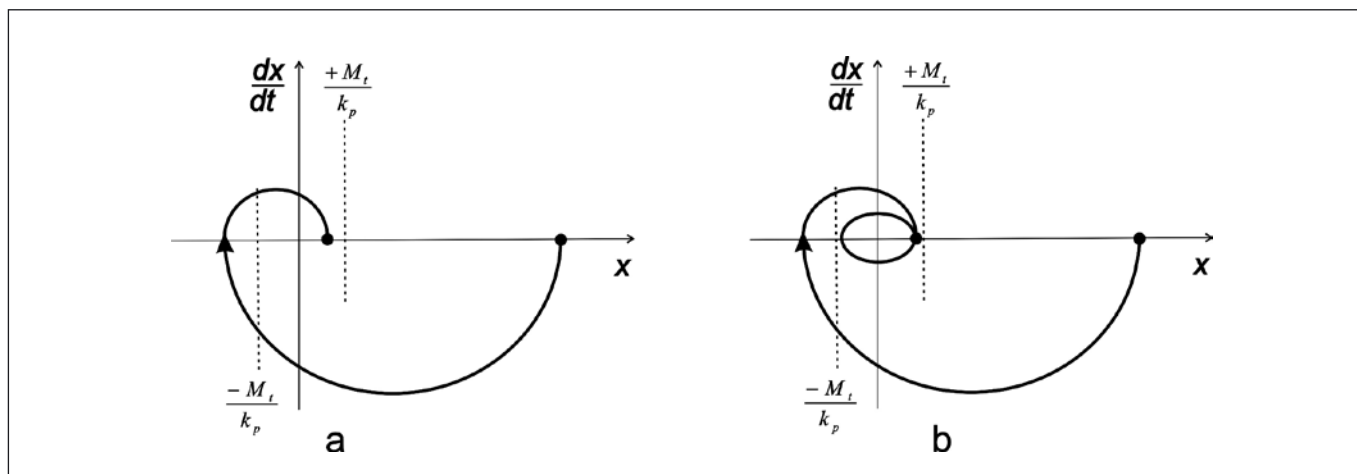
$$\Delta x = \left\langle \frac{-M_t}{k_p}, \frac{+M_t}{k_p} \right\rangle. \quad (1)$$

Pokud ve snaze snížit statickou odchylku polohy do soustavy zavedeme integrační složku přenosu, začne narůstat napětí na kotvě motorku tak, až je přemožen třecí moment, motorek se rozběhne, avšak zastavení bude možné zase jen v intervalu podle rovnice (1). Po zastavení v náhodném místě intervalu necitlivosti dojde zase k integraci odchylky, motorek se rozběhne a jev se opakuje. Výsledkem snahy o snížení regulační odchylky zavedením integrační složky regulátoru je díky tření v mechanismu kmitání, jehož výkmit přesahuje mez pásma necitlivosti Δx , a to tím více, čím větší jsou setrvačné hmoty servomechanismu.

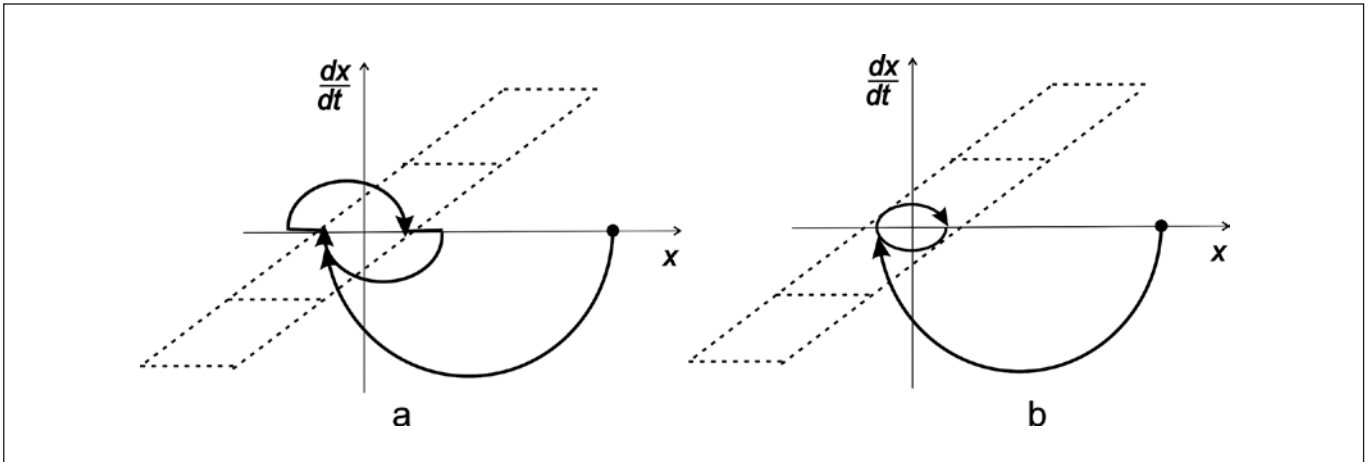
3. VLIV VŮLE V PŘEVODECH

U servomechanismu, který má v přenosu integrační složku, způsobí vůle v převodech také kmitání na mezním cyklu, který má větší šířku než je vlastní vůle, viz fázová trajektorie na obr. 2.

Dále popsany příklad servomechanismu má však díky speciální šnekové konstrukce jen minimální vůli v převodu, odhadujeme menší než 0,1 grad.



Obr. 1 Fázová trajektorie s vlivem tření



Obr. 2 Fázová trajektorie s vlivem mechanické vůle

4. POTLAČENÍ VLIVU NELINEARIT PŘI SPOJITÉM ŘÍZENÍ

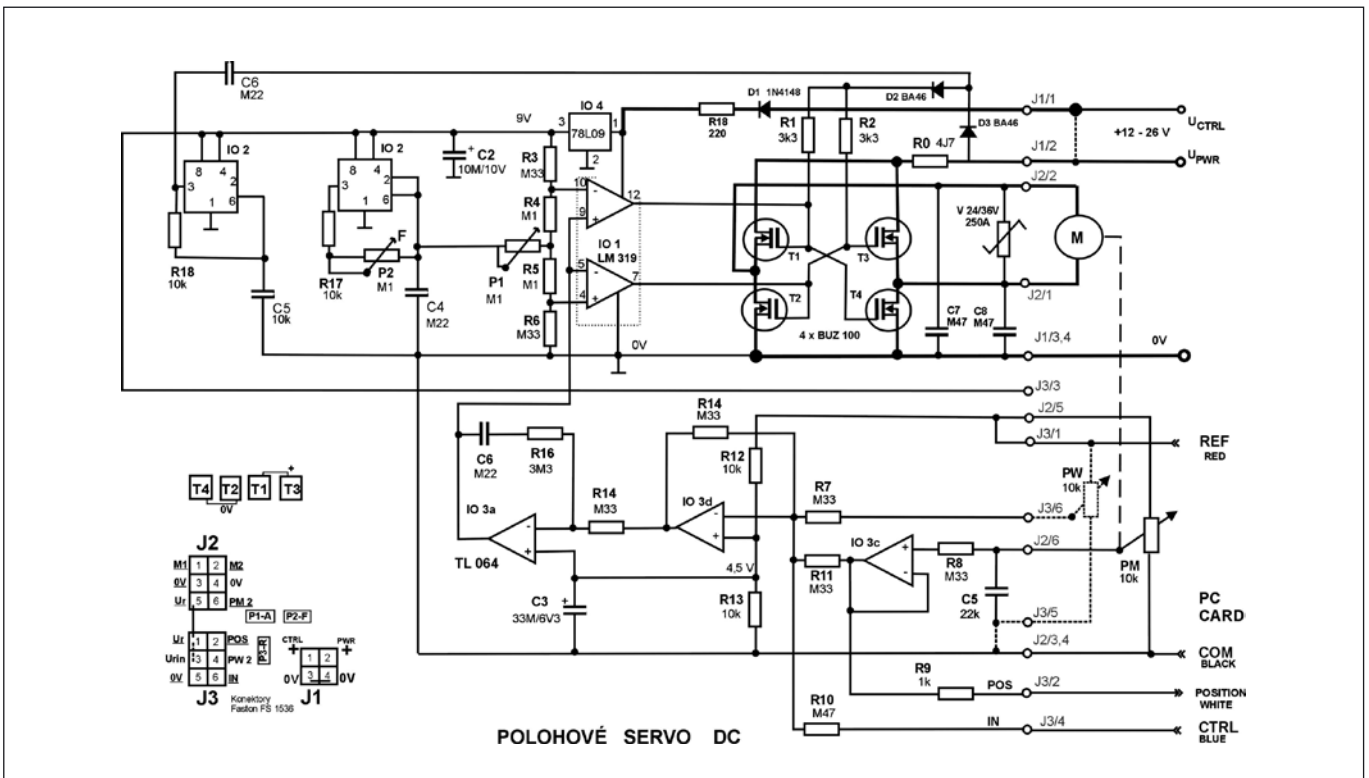
Nelinearity tření a vůle se snažíme co nejvíce omezit konstrukčně, konstrukčními prvky s nízkým třením a mechanickým převodem s potlačenou vůlí. Konstrukční řešení má však své meze, které dají výslednou statickou nejistotu nastavení výstupní polohy servomechanismu. Lepší výsledek nedá ani experimentování s nastavením lineárních konstant řídicího obvodu. Existuje však řešení, které umožňuje až 10krát snížit statickou nejistotu nastavení regulátoru. Řešení spočívá v nasuperponování periodické kmitané složky do elektromechanické soustavy servomechanismu, která soustavu rozkmitá tak, aby amplituda kmitů v místě výskytu nelinearity byla těsně pod její velikostí. Znamená to, že amplituda točivého momentu bude těsně pod hodnotu, která překoná tření a začne pohybovat s výstupem servomechanismu. V případě vůlí je vhodné amplitudu vnučených periodických kmitů nastavit tak,

aby měly velikost těsně pod velikostí vůle. Frekvenci vnučených kmitů je třeba volit s ohledem na rušivý zvuk a na možné omezení životnosti, který je nebezpečné hlavně v soustavách s vůlí. Fázovou trajektorii při užití nasuperponované periodické kmitané složky ukazují křivky b na obr. 1 a obr. 2.

Tento pozapomenutý princip je nazýván dynamickým mazáním. Jeho použití je omezeno pro případy, kdy vzniklé kmitání není na závalu funkce.

5. PŘÍKLAD POUŽITÍ DYNAMICKÉHO MAZÁNÍ

Princip dynamického mazání je vhodné spojit s pulzně šířkovou modulací. Příkladem je polohový servomechanismus, jehož akčním členem je stěračový motorek z automobilu a snímačem obyčejný drátový potenciometr. Servo úspěšně používáme pro řízení polohy řídicí páky vstřikovacího čerpadla Bosch na dieselmotoru v transportním voze v povrchových uhelných dolech a také pro



Obr. 3 Schéma lineárního servomechanismu s „dynamickým mazáním“

natáčení lopatek řízeného turbodmychadla, zatím v laboratorních zkouškách. Vibrace, teplota ani prach v náročných prostředích za 3 měsíce provozu 3 vzorkům servu neublížily.

Na obr. 3 je schéma elektroniky. Kotva DC motorku, typ DEWERT výrobce PAL Kbely, je zapojena do výstupu H můstku, tvořeného výkonovými FET typu BUZ100. Přepětí z kotvy je blokováno varistorem V24/36 250A. Bez varistoru hrozí zničení výkonových FET. K odrušení přispívají kondensátory C7a C8, keramické o hodnotách M47.

H můstek je řízen z komparátoru LM319, který komparuje řídicí signál ze smyčky polohy s rozkladovým trojúhelníkovým signálem z IO2a s NE556. Tento rozkladový signál působí dynamické mazání popsané v odstavci 4. Jeho frekvence je říditelná potenciometrem v rozmezí 25 až 100 Hz. Pro správnou hladkou funkci řízení se krátké pulzy kladné a záporné polarity v okolí neutrální polohy překrývají, motor je potom napájen střídavými pulsy, což potlačuje mrtvé pásmo regulace způsobené třením mechanismu. Zároveň dynamické mazání potlačuje vliv vůlí v poháněném mechanismu. Amplituda a frekvence dynamického mazání se nastavuje potenciometry P1 a P2. Amplitudu je třeba nastavit tak, aby motorek serva jemně vrčel a proudový odběr stojícího serva byl cca 0,15 A. Frekvence se nastavuje dle hmotnosti mechanického výstupu serva, v případě aplikace pro řízení vstříkovačích čerpadel se osvědčila frekvence cca 30 Hz. Tato frekvence koresponduje s vlastní resonanční frekvencí elektromechanické soustavy.

Druhá část IOb NE556 slouží jako nábojová pumpa zvyšující napětí na horní sekci FET v H můstku, na uzlu rezistorů R1 a R2 je napětí o 5 - 7 V než na výkonové napájecí svorce J1/2, to je na noži 6 vnějšího napájecího konektoru.

Z IO3 TL064 nízkospotřebového operačního zesilovače jsou využity tři sekce pro PI regulátor polohy. Napětí z potenciometru serva je přes sledovač přivedeno do směšovacího uzlu mezi R7, R10, R11, R14. Zde je přes R10 porovnáno se signálem z bodu IN - signálem z otáčkového regulátoru. IO 3a tvoří PI regulátor.

Maximální zdvih 210 grad, maximální trvalé zatížení 1 Nm, statická nejistota nastavení +/- 1 grad, tř. přesnosti 0,5, doba ustálení na 5 % do 0,5 s při zatížení řídicí pákou vstříkovačích čerpadla

Zajímavostí je, že servomechanismus je uspořádán bez koncových dorazů, mechanických i elektrických. Rozsah jeho polohy je vymezen pouze velikostí přiváděného řídicího napětí. Při překročení krajních poloh se hřídel otáčí dokola na jednu nebo druhou stranu. Potenciometr má odstraněny mechanické dorazy a mrtvé pásmo mezi konci je vyplněno přidanými vodivými ploškami spojenými s konci odporové dráhy. Konstrukční provedení je patrné z obr. 4.



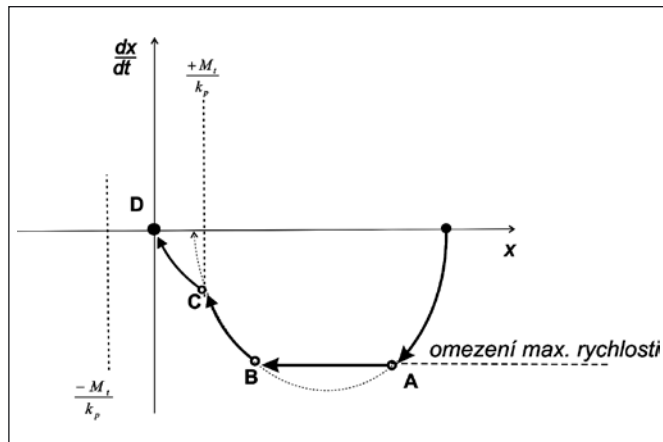
Obr. 4 Konstrukční provedení servomechanismu

6. ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ

Číslicové zpracování signálu dovoluje dokonalejší řízení fázové trajektorie, pokud má k dispozici aktuální informaci o stavu systému a jeho dynamickém chování. Pro polohové řízení motoru byl navržen regulátor s výpočtem optimální trajektorie.

Algoritmus pracuje tak, že ze známé okamžité polohy a rychlosti vypočítá dobu připojení motoru na plné napájecí napětí, po jejímž uplynutí je napájecí napětí reverzováno a motor brzděn protiproudem tak, že nulové rychlosti dosáhne právě v místě žádané polohy.

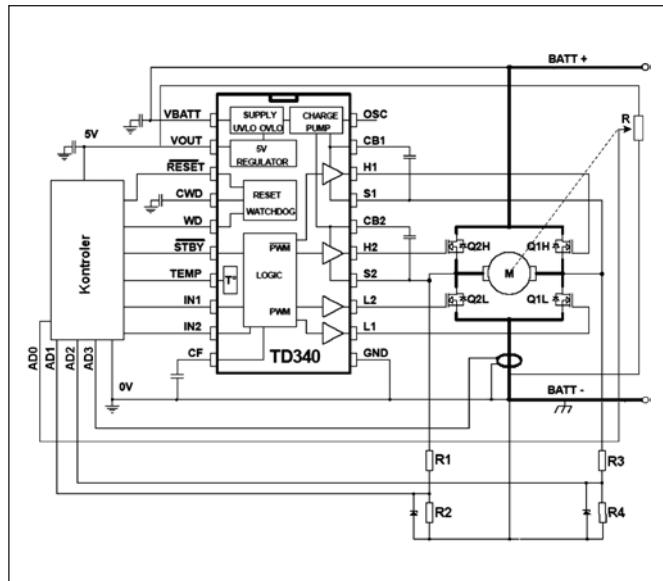
Celý výpočet je při polohování periodicky opakován až do nulové regulační odchylky. V tomto bodě je motor napájen krátkými pulzy opačné polarity, které zajistí „dynamické mazání“ a eliminují tak nelinearity způsobené třením a vůlí v převodech. Průběh optimální trajektorie je na obr. 5.



Obr. 5 Fázová trajektorie pro číslicové řízení servomechanismu

V počátečním bodě A trajektorie je motor připojen na plné napájecí napětí, které zůstává až do bodu B, kdy je dosaženo maximální rychlosti, jíž se pohybuje do bodu C trajektorie, ve kterém je přepnuta polarita napájecího napětí. V cílovém bodě D, ve kterém je nulová rychlost, je napájecí napětí odpojeno.

Skutečné zapojení číslicové elektroniky servomechanismu na obr. 6 využívá pro řízení H můstku pro napájení motoru serva obvod TD340.



Obr. 6 Zapojení číslicové elektroniky servomechanismu

Obvod TD340 je kontroler pro řízení H-můstku, který generuje PWM signál pro spínání výkonových tranzistorů. Do vstupu IN1 se přivádí buď analogové napětí nebo PWM signál pro spínání výkonových tranzistorů. Stav vstupu IN2 určuje směr otáčení a vývod CF volbu analogový/číslcový signál na IN1. Pro buzení

tranzistorů Q2H a Q1H je třeba zvýšené napětí, které generuje interní nábojová pumpa. Kromě toho obvod slouží jako zdroj napětí 5 V pro napájení řídicího kontroleru.

Jak se ukázalo při experimentech s analogovým regulátorem, není z hlediska přesnosti a rychlosti regulace tohoto nelineárního systému (tření, vůle v převodech) použití klasického PI (PID) algoritmu vyhovující, proto bylo navrženo řízení ve stavovém prostoru.

Pro tyto účely lze systém s dostatečnou přesností nahradit systémem druhého řádu se stavovými proměnnými $x(t)$, dx/dt a $i(t)$ (poloha hřídele, rychlost a proud kotvou motoru). Pro výpočet je třeba znát polohu výstupního hřídele a okamžitou rychlost. Obě veličiny je možné získat měřením na použitém obvodu. Pro snímání polohy je využit potenciometr, stejně jako u analogové verze, rychlost lze odvodit buď jako derivaci polohy, nebo, jak bylo použito v tomto případě, z napětí indukovaného na svorkách motoru

při rozepnutých tranzistorech Q1H, Q1L, Q2H a Q2L H-můstkou. Zapojení bylo dále doplněno o možnost snímání proudu i kotvou motoru Halovou sondou. Sledování proudu slouží jako ochrana před přetížením motoru při mezních provozních stavech.

6. ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ

Analogová verze řízení servomechanismu se stejnosměrným motorkem vybaveným obvodem dynamické superposice dosáhla výsledkem zúžení pásma necitlivosti způsobeného třením asi na 1/5 původní velikosti a vymezení zbývající vůle v převodech. Číslícovou verzí řídicí elektroniky byl dosažen přibližně stejný účinek potlačení parazitních nelinearit, navíc řízením podle časově optimální fázové trajektorie bylo dosaženo zkrácení doby odezvy asi na polovinu oproti verzi stejného servomechanismu s analogovým řízením.

Prof. Ing. Ivan Uhlíř, DrSc., ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 224 352 565, e-mail: ivan.uhlir@fs.cvut.cz
Doc. Ing. Jan Chyský, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 224 352 469, e-mail: jan.chysky@fs.cvut.cz

Jiří BÍLA, Jakub JURA, ČVUT, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Praha

Formální podpora konceptuálního navrhování – alternativní přístup

Cílem procesu konceptuálního navrhování je reprezentace a vysvětlení funkce navrhovaného systému. Do současné doby nemá konceptuální návrh pevně zakotvený formální aparát a z velké části využívá nejrůznějších prostředků, které mu však nejsou vlastní. V tomto článku se zabýváme mimo jiné otázkou, proč formalismus rovnic a vůbec formalismus matematiky stvořený ve svých základech pro fyziku, není pro konceptuální návrh vhodný a jaké to má důsledky v teorii i v praxi. Analýza používaných formalismů je dovedena až do úrovně intenzí. Výsledkem této analýzy je návrh dvou nových intenzí “specifikátorů (Specifiers)” a “synthetizátorů (Synthesizers)”, které jsou pro konceptuální navrhování vhodnější. Práce s těmito intenzemi vede k prodloužení fáze specifikace a k důslednějšímu oddělení fází specifikace a syntézy. Je srovnán přístup, který vykládá svět přes vlastnosti a jejich hodnotu s přístupem, který vykládá svět přes konceptuální konstrukce, jejich interpretaci a jejich syntézu.

Klíčová slova: Konceptuální navrhování, emergentní jevy, redesign, intenze, interpretace, matroid

1. ÚVOD

Cestami formální podpory konceptuálního navrhování systémů a zařízení se v posledních dvaceti letech zabývala celá řada velmi chytrých a fundovaných lidí (např. [1]). Výsledkem těchto snah byly zajímavé systémy a přístupy, které lze shrnout do dvou tříd:

- Předložený formální aparát i softwarová podpora byly funkční a použitelné, ale množství informace, které bylo nutno do systému podpory na počátku vložit, ve srovnání se získanými výstupy, bylo příliš velké (a v důsledku toho byl zpravidla systém dosti složitý).
- Předložený formální aparát i softwarová podpora navrhování byly vtipné a jednoduché, ale získávané výsledky byly neurčité a nejednoznačné.

Poslední práce v oblasti navrhování naznačují, že tam stále existují „bílé místa“ a že navrhování, jako celek, je složitý a hlouběji strukturovaný proces. Současné dělení návrhového procesu na „Předběžný návrh“ (“early design”), konceptuální návrh (“conceptual design”) a „detailní návrh“ (“detailed design”) je pouze základní a každá z těchto fází má své hlubší vrstvy.

Proces konceptuálního navrhování zůstává stále atraktivní oblastí zejména ze dvou důvodů: představuje zatím volnou plochu pro zkoumání a modelování kreativity (včetně jevů emergence).

A v důsledku toho umožňuje i začlenění prostředků oblastí umělé inteligence a emergentní syntézy, např., [2], [3], [4] a [5], [6], [8] a [10]. (Při studiu materiálů k tomuto článku jsme využili řadu dalších zdrojů, zejména a omlouváme s tímto všem autorům, které jsme do seznamu literárních referencí neuvedli.)

Hlavním cílem článku je pojmenovat problémy, které dosud brzdí vývoj formální a softwarové podpory konceptuálního navrhování a nabídnout přijatelné cesty dalšího postupu. V rámci tohoto článku se zabýváme pouze těmito třemi faktory obtíží:

- Nevhodné intenze a v důsledku toho i nevhodné formalismy.
- Nedůsledné vyhranění fází specifikace a syntézy.
- Nevlastní formulace problémů konceptuálního návrhu.

2. KLASICKÝ A ALTERNATIVNÍ PŘÍSTUP KE KONCEPTUÁLNÍMU NAVRHOVÁNÍ

Prveďším ukážeme, že hledaná formální a softwarová podpora překračuje v případě konceptuálního navrhování obvyklou sekvenci „formalizace → automatizace → softwarizace“. Snahou není prostě jen převést to, co už známe, na počítač. Spíše to vypadá tak, že jsou dvě cesty – jedna klasická, kterou většina návrhářů, pro-

jektantů a konstruktérů zná, a jedna nová, vycházející z ontologií a z modelování jevů emergence při vynoření nového řešení. Nelze říct, že nový přístup je softwarizací metody klasické, a není to ani její pokračování. Přičemž oba přístupy nejsou uspokojivé.

Podívejme se teď na tyto naznačené skutečnosti zblízka.

2.1. Zvláštnosti klasického přístupu ke konceptuálnímu navrhování

2.1.1 Objekty a intenze

Koncepty (pojmy) jsou abstraktní ideální kategorie a podle jejich používání jsou to *znalosti*. Z procedurálního hlediska koncepty reprezentují zároveň *identifikační procedury*, které identifikují objekty, (např. trojúhelník).

(Jiným typickým příkladem konceptu jsou „přirozená čísla“. Pokud známe tento koncept, známe také proceduru, jak přirozená čísla identifikovat. To, co je na této proceduře důležité, je skutečnost, že je to naše vnitřní znalost. Nepotřebujeme žádnou vnější empirickou proceduru, kterou bychom pojem „přirozená čísla“ v různých kontextech zjišťovali.)

Jestliže však pro výše zmiňovanou identifikační proceduru nutně potřebujeme nějaké vnější nástroje a metody, (např. pro identifikaci situace „okamžitá teplota v místě M v bloku A“ potřebujeme minimálně teploměr), hovoříme o *empirických konceptech*. Avšak *empirické koncepty* neidentifikují objekty, ale *intenze*, [13], [14].

Jiný alternativní způsob uvádí *intenze* jako zobrazení z prostoru stavů možných světů (*PSMS*) do prostoru hodnot (*PH*):

$$\psi : PSMS \rightarrow PH. \quad (1)$$

Je důležité zdůraznit, že zatímco definiční obor těchto zobrazení je co do typu „stejný“ (jako časoprostor stavů možného světa, respektive jako instance časoprostorů stavů možného světa), obory hodnot těchto zobrazení jsou odlišné. Uvádíme zatím pouze 4 nejběžnější obory hodnot: „*prostor pravdivostních hodnot*“, „*prostor čísel*“, „*prostor tříd individuí*“ a „*prostor individuí*“. V korespondenci s těmito prostory hodnot jsou zavedeny následující intenze: *propozice*, *veličiny*, *vlastnosti* a *individuální úřady*.

Propozice (ψ_L)

$$\psi_L : PMSS \rightarrow \text{Pravdivostní hodnoty, (např. } \{0, 1\} \text{)}.$$

Veličiny (ψ_N)

$$\psi_N : PMSS \rightarrow \text{Čísla, (např. } R^1 \text{)},$$

Vlastnosti (ψ_C)

$$\psi_C : PMSS \rightarrow \text{Třídy (např. třídy individuí)}.$$

Individuální úřady (ψ_U)

$$\psi_U : PMSS \rightarrow \text{Individua (např. „John Ball“)}.$$

Uvažujeme-li o výše uvedených intenzích z dnešních technických hledisek, nelze si nepovšimnout dvou zajímavých okolností:

- Velmi významné disciplíny, jako formální logika, matematika a teorie tříd vyvinuly svoje formalismy nikoli nad variantami zobrazení charakterizujícími intenze, ale nad prostory hodnot těchto intenzí.

- Cesty transformací stavů (z možných světů) do prostorů hodnot se na úrovni definic intenzí nespecifikují. (V praxi se tyto transformace realizují některými teoretickými nebo empirickými metodami, např. „měřením“.)

Podívejme se na následující příklady:

Příklad 2.1: Uvažujeme o veličině „teplota“ z hlediska jejího eventuálního používání v procesu konceptuálního navrhování systému vytápění. Jak tuto intenzi využít k popisu funkce systému vytápění? Nejde pouze o přiřazení nějakého stavu (možného světa)

reálnému číslu, ale s veličinou „teplota“ je spojena „jednotka teploty“, „procedura měření teploty“ a řada časoprostorových a dalších sémantických dourčení. Změna teploty se objeví jako motiv a postupně pak jako bod „specifikace“ cíle systému vytápění.

Podobně bychom mohli zkoumat (s podobnými výsledky) i další instance uvedených intenzí (ale na to zde není prostor).

Podívejme se nyní na formální aparát, které uvedené intenze nabízejí nad prostory svých hodnot.

Příklad 2.2: Podívejme se například na formalismus rovnic vycházející z intenze „veličiny“ a vyvinutý nad reálnými čísly. Velice snadno lze formulovat následující empirické skutečnosti:

- Zázemí formalismu rovnic je v procedurách měření, v realitě fyziky a geometrie.
- Společnou sémantikou rovnic jsou situace rovnováh a navozování stavů rovnováh.
- Formalismus rovnic předpokládá separovatelnost (dělitelnost) látek, objektů, těles a systémů. (To je pro mnohé případy reálné a pravdivé, např. pro tělesa a pro systémy těles v mechanice, ale v mnoha jiných případech se setkáváme s prostředím, které je povahou prostředím směsí a sloučenin.)
- Při práci s rovnicemi hrají podstatnou roli předpokládané algebraické vlastnosti operací, např. uzavřenost, asociativnost, komutativnost, bisymetrie a další (vycházející z teoretické podstaty měření, např. [11] a zprostředkovaně pak z vlastností čísel.)
- Formalismus rovnic implicitně obsahuje možnosti verifikace výpočtů pomocí návratů do různých bodů výpočtu (backtracking) a pomocí korekční zpětnovazební smyčky.

Jestliže shrneme výše uvedené okolnosti v kontextu využití intenze „veličiny“ a formalismu rovnic pro proces konceptuálního navrhování, musíme konstatovat, že žádnou z uvedených vlastností nenajdeme v procesu konceptuálního navrhování, (pokud si ji tam násilně nevložíme jako podmínku a nezůjme pole aplikací takového procesu konceptuálního návrhu).

Skutečnosti uvedené v příkladech 2.1 a 2.2 mají další důsledky.

Uvažujme kategorii „*konceptuální prostor*“ (*CS*) jako prostor obsahující nesortované pojmy a empirické pojmy, resp. nesortované objekty a intenze. Není obtížné dokázat platnost teorémů (T1 a T2) plynoucí ze tří axiomů (A1, A2, A3), jejichž pravdivost je v našem možném světě konceptuálního navrhování zřejmá.

$$CS = \langle \mathfrak{E}, \mathfrak{D}, \sim \rangle, \quad (2)$$

kde \mathfrak{E} je nosič (základní množina) prostoru *CS*, \mathfrak{D} je binární operace spojování prvků z \mathfrak{E} (a produktů vzniklých spojováním) a „ \sim “ je relace silné podobnosti prvků a produktů vzešlých z \mathfrak{E} . Tato relace je typově uvažována jako relace tolerance. (Pro negaci této relace je použito v dalších zápisech symbolu „ \neq “.)

$$\mathbf{A1.} \quad \forall x \in \mathfrak{E}, (x \mathfrak{D} x) \neq x,$$

$$\mathbf{A2.} \quad ((\exists x, y \in \mathfrak{E}) \text{AND}((x \neq y))) \Rightarrow ((x \mathfrak{D} y) \neq (y \mathfrak{D} x)),$$

$$\mathbf{A3.} \quad ((\exists w, x, y, z \in \mathfrak{E}) \text{AND}(((w \neq y) \text{AND}((x \neq z))) \Rightarrow ((w \mathfrak{D} x) \neq (y \mathfrak{D} z))).$$

T1. Operace \mathfrak{D} není asociativní vzhledem k relaci \neq :

$$((\exists x, y, z \in \mathfrak{E}) \text{AND}(((x \neq y) \text{AND}((y \neq z))) \Rightarrow (((x \mathfrak{D} (y \mathfrak{D} z)) \neq ((x \mathfrak{D} y) \mathfrak{D} z))).$$

T2. Operace \mathfrak{D} není bisymetrická vzhledem k relaci \sim :

$$\exists w, x, y, z \in \mathfrak{E}, (((w \mathfrak{D} x) \mathfrak{D} (y \mathfrak{D} z)) \neq ((w \mathfrak{D} y) \mathfrak{D} (x \mathfrak{D} z))).$$

Z uvedených axiomů a teorémů (A1 – T2) přímo plyne, že operace \mathfrak{D} není ani aditivní, ani metrická (v terminologii použité v [11]).

Podobně znějící závěr bychom získali odmítnutím platnosti axiому separability („krátitelnosti“) operace $\tilde{\Delta}$.

$$A4. ((\exists w, x, y \in \Xi) \text{ AND } ((w \tilde{\Delta} x) \neq (y \tilde{\Delta} x)) \Rightarrow ((w \neq y).$$

Hrubý závěr z výše uvedených konstatování z příkladů 2.1 a 2.2 a z důsledků teorémů T1 a T2 je následující:

- Použití rovnicového formalismu pro reprezentaci postupů konceptuálního modelování – není opodstatněné.
- Aplikace operací a funkcí vyvinutých nad číselnými prostory intenze „veličiny“, jako nástrojů v algoritmech konceptuálního navrhování – nejsou opodstatněné.
- Pro model konceptuálního prostoru CS (2) nemusí existovat metoda jeho geometrizace (tj. nemusí existovat vhodná metrické funkce) a v důsledku toho ani metoda pro řízení postupů konceptuálního návrhu pomocí zpětnovazebních smyček. (Podobné výsledky by bylo možno uvést jako závěry analýzy intenzí „propozice“ a „vlastnosti“.)

2.1.2. Poloha kategorií „specifikace“ a „syntéza“ v klasické metodologii konceptuálního navrhování

Začneme několika příklady problémů konceptuálního návrhu s cílem vymezit etapu *specifikace* a *syntézy*. První příklad je jednoduchou úlohou *redesignu*. (Při *redesignu* předpokládáme, že nějaká řešení problému jsou známa a je požadováno nalezení lepšího řešení.)

Příklad 2.3: Jde o učebnicovou úlohu, na které se vysvětluje jeden z obrátů vynálezcké činnosti. Zadání je následující: V reakční nádobě (chemickém reaktoru) jsou umístěny vzorky různých materiálů a agresivní látka. Po určité době působení jsou vždy vzorky vyjmuty a je na nich provedena analýza narušení struktury materiálů působením agresivní látky. Problémem k řešení je parazitní působení agresivní látky na stěny reaktoru. Jak to udělat, aby stěny reaktoru nebyly narušovány působením agresivní látky?

Typicky inženýrským řešením jsou povrchové úpravy stěn reaktoru (legování materiálu stěn, nanášení tenkých vrstev jiných odolných materiálů, hledání teplotních a tlakových pracovních bodů, při kterých je působení dané agresivní látky na stěny reaktoru minimální, apod.). Uváděným elegantním řešením je, naopak, sestavení reakčních nádobek z testovaných materiálů naplněných agresivní látkou. (Dále už je to známé.)

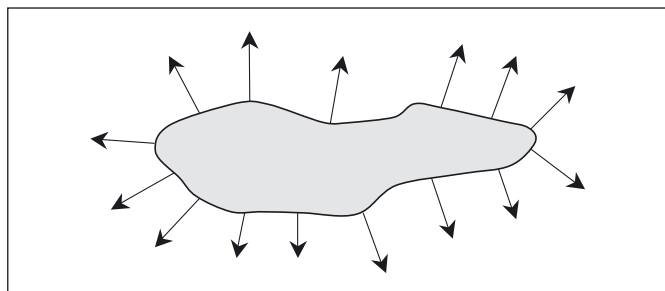
Co je v daném případě „specifikace“? Je to popis úlohy, požadavků na cíl, je to charakteristika známých řešení.

Co je „syntéza řešení“? Je postup restrukturalizace znalostí ze „specifikace“ k dosažení cíle. Pro tuto úlohu není žádný obecný návod. (Jistý heuristický přístup byl publikován v [15].)

Teď, když známe řešení, prozkoumejme, na kolik nám pomohly předchozí intenze „propozice, čísla, vlastnosti, úřady“.

Nebojme se říct – „nijak“. Je jasné, že tyto intenze nebyly původně zavedeny ani pro specifikaci, ani pro syntézu.

Příklad 2.4: Navrhněte strukturu složenou z modulárních prvků, která je určena svojí „konturou“ (např. obr. 1) a popisem funkce. (Jinými slovy, jde v této úloze o uspořádávání (propojování spojovacích míst) „stavebních“ prvků tak, aby v daném prostředí byla naplňována funkce.)



Obr. 1 Specifikace návrhového problému „konturou“ cíle

Při prvním pohledu - do etapy *specifikace* náleží v této úloze nejen popis očekávané funkce struktury, ale i popis „kontury“ eventuálně i popis morfologie některých základních stavebních prvků. Etapa *syntézy* je pak v morfologickém popisu ostatních stavebních prvků, v popisu spojovacích míst a hlavně – v algoritmu spojování prvků a v „řízení“ tohoto algoritmu až k dosažení *cíle* (tj. „kontury“ a funkce).

Promyšlení řešení úlohy, jako modelu přírodní evoluce, naráželo opět na nemožnost řídit algoritmus syntézy zpětnou vazbou a po meziproduktech syntézy.

Ani následující alternativa řízení však nepřinesla řešení. Podívejme se na ni zblízka: Začneme návrhem modelu *testovacího (provozního) prostředí*, ve kterém bude navržena struktura fungovat. Abychom nemuseli „měřit“ úspěšnost funkce, zavedeme nějaký módus „přežití“. (*Základní otázka: Jak víme, že je navržení model prostředí správný?*) Dále vytvoříme stavební prvky a algoritmus, který bude tyto prvky spojovat. (*Další základní otázka: Jak zařídíme, aby prvky byly (pokud možno hned na první pokus) správné?*) Vygenerované varianty struktur vpouštíme do připraveného prostředí („do života“). Ty varianty, které „přežijí“, jsou reprezentanty *cíle*.

Kromě již zmíněných dvou základních otázek jsou ještě další. A i když připustíme mnohonásobné opakování „ladicích“ epoch, těžko se vyrovnáme s představou, že „postup dosahování cíle se sám nějak naladí“, [16].

Přinejmenším jedna z fází, ať již *specifikace* nebo *syntéza*, musí být dána dost pevně.

Z hledisek sledovaných v tomto článku je naše doporučení ještě trochu jiné: Prodloužit fázi *specifikace* co možná nejdále, na úkor fáze *syntézy*.

2.2. Alternativní přístup

2.2.1 Nové intenze

Vzhledem k obsahu odstavců 2.1.1 a 2.1.2 si dovolueme zavést dvě nové intenze:

Specifikátory: $\psi_s : PMSS \rightarrow \text{Specifikace}$.

Syntetizátory: $\psi_o : PMSS \rightarrow \text{Operace}$.

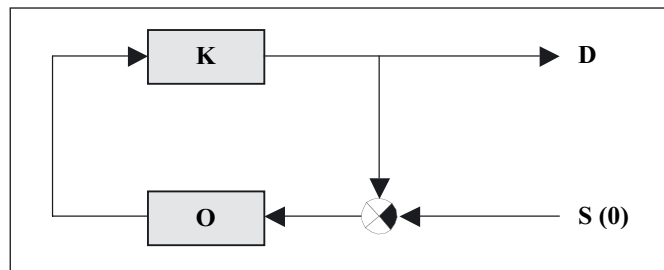
Příklad 2.7: Jako příklad v analogii disciplín vyvinutých nad hodnotami intenze „veličiny“ (čísla – část matematiky) je disciplínou formovanou nad prostorem hodnot *specifikace* disciplína Teorie interpretace.

Podobně nad prostorem hodnot *operace* se vyvíjejí syntetické a konstrukční algebry.

Příklad 2.8: Srovnajme nyní, jak se liší *klasický* postup konceptuálního navrhování od postupu, který v tomto článku popisujeme jako *nový*. Uvádíme nejbližší posloupnost aktivit začleňující konceptuální návrh:

(S(0) ... počáteční specifikace, K ... znalosti, D ... návrh, I ... interpretace, O ... řešitel (operátor))

Klasický postup:



Obr. 2 Klasické schéma konceptuálního návrhu se zpětnovazební smyčkou

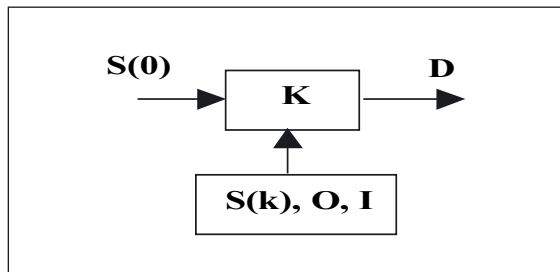
$$S(0) \cup K \rightarrow \text{Intuitivní konceptuální návrh} \rightarrow D$$

$$\uparrow \qquad \uparrow$$

$$\rightarrow \text{Veličiny} \leftrightarrow \text{Syntéza} \leftrightarrow \text{Simulace (Realizace)}.$$

Nový postup:

$$S(0) \cup K \rightarrow (S(k) \cup I) \rightarrow D \rightarrow \text{Syntéza} \leftrightarrow \text{Simulace}$$



Obr. 3 Nové návrhové schéma konceptuálního návrhu

Klasický postup začíná původní specifikací ($S(0)$), která je základem pro proces intuitivního konceptuálního návrhu. Výsledek je dále reprezentován pomocí vybraných veličin, jejichž hraniční hodnoty jsou pak dosahovány ve zpětnovazební smyčce vyhodnocováním výsledků simulace, eventuálně výsledků testů realizovaného návrhu.

Nový postup nahrazuje intuitivní návrh prodlouženou specifikací (obr. 3).

Specifikace nového očekávaného řešení je vygenerována programem. Lidská účast na návrhu řešení se přesouvá k *interpretaci*. Nedochozí k převracení problému na dosahování hraničních hodnot a není využito zpětnovazební smyčky. Jádrem řešení je v naplnění specifikace.

Syntéza je od interpretace oddělena a přechází do simulace a realizace, které ale již konceptuální návrh neovlivňují. Emergentní jevy se objevují během *specifikace* a *interpretace*.

Jako příklad závěru fáze *specifikace* uvádíme výsledky generované programem, uvedené např. ve [12] v úloze konceptuálního návrhu nového zdroje energie. V daném případě byla použita ontologie GLB, která byla v základech popsána ve [20]. (Zde nežádáme pochopení smyslu znaků řetězců a uvádíme pouze jako příklad formy variant k interpretaci.)

Na následujícím fragmentu z množiny možných variant nového řešení x_c vygenerovaných programem jsou zajímavé varianty 24 a 27:

19. TCS(Trns(ChCarr) AND R-Eff(Filter))
20. TCS(Agg(Synth) AND Trns(ChCarr) AND R-Eff(Filter))
21. STRUCT(Trns(ChCarr)) AND ELS(Trns(ChCarr))
22. STRUCT(Trns(ChCarr)) AND TCS(Trns(ChCarr))
23. STRUCT(Trns(ChCarr)) AND TCS(Agg(Synth) AND Trns(ChCarr))
24. STRUCT(Agg(Synth) AND Trns(ChCarr)) AND TCS(Trns(ChCarr))
25. ELS(Trns(ChCarr)) AND TCS(Trns(ChCarr))
26. ELS(Trns(ChCarr)) AND TCS(Agg(Synth) AND Trns(ChCarr))
27. ELS(Agg(Synth) AND Trns(ChCarr)) AND TCS(Trns(ChCarr))

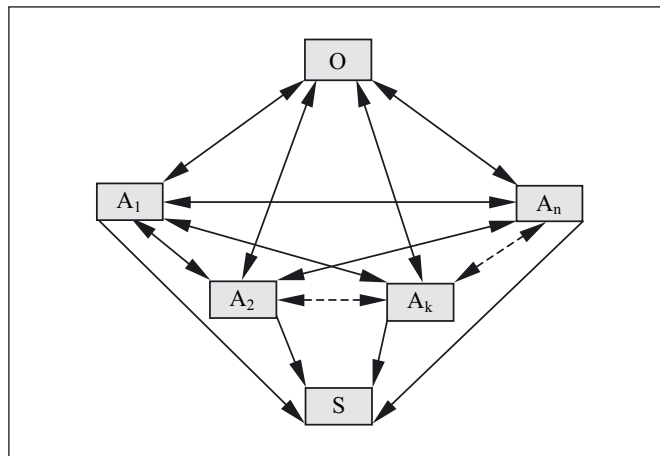
S využitím "interpretoru" ontologie získáme jedno z možných interpretovaných řešení:

„Energie vytvořená a akumulovaná ve struktuře komponent systému je uvolněna a transformována (s využitím změn energetických nosičů) v aktivitách elektromagnetického pole. Tento proces je podporován speciálními technologickými úpravami, (které usnadňují změnu energetických nosičů).“

Tato interpretace předkládá zařízení, které má speciální strukturu umožňující akumulaci a postupnou transformaci energie (např. změnami dielektrického prostředí) ze *struktury* do formy *proudu* a *napětí*.

Teprve po této fázi interpretace nastává operace *syntézy*, ve které se řeší otázka prvků a komponent (materiál, formy, tvary, rozměry, montáž) a vlastní algoritmus syntézy.

Pozn.: *Interpretor ontologie je důmyslný pravidlový systém, jehož vysvětlení přesahuje možnosti tohoto článku. Podrobnosti např. v [17].*



Obr. 4 Komunikace mezi variantami v rámci procesu interpretace

2.2.2 Postup dosahování řešení

Etapa „specifikace“ tedy skončí množinou modelů (variant). Další postup, který jsme prozatím nazývali procesem interpretace, popíšeme nyní podrobněji.

V odstavcích 2.1.1. a 2.1.2. bylo naznačeno, proč nelze v tomto případě použít princip zpětné vazby, a je to zřejmé i po shlédnutí zápisu fragmentu variant z 2.2.1. Základní otázkou je tedy jiný způsob řízení postupu zpracovávání variant tak, aby došlo k řešení.

Způsob řízení, který zde popíšeme, je iniciován procesem interpretace a využívá dvou principů:

- a) Princip komunikace a syntézy znalostí (CAK).
- b) Princip vyčerpání neurčitostí (EU).

Princip komunikace a syntézy znalostí uvádí způsob dosahování řešení. Princip vyčerpání neurčitostí vymezuje stav dosažení řešení.

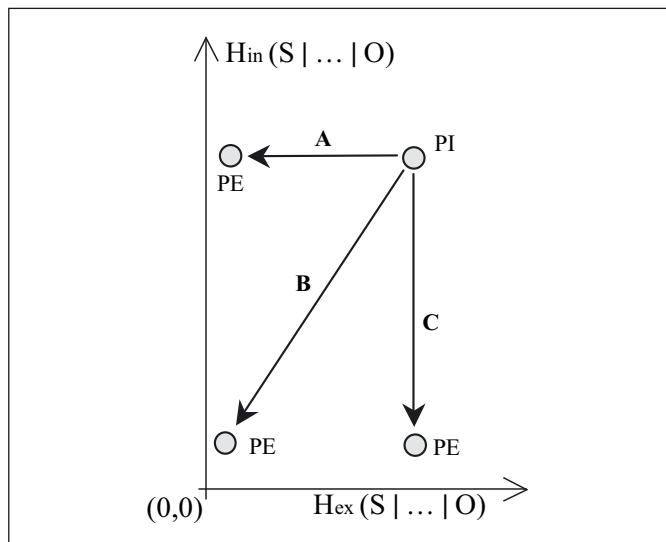
Podmínkou „nastolení“ principu CAK je heuristický předpoklad, že informace o hledaném řešení je uložena v některém běžně nepřístupném systému S a je z něj extrahována komunikací řešitele (lidského operátora) prostřednictvím procesu interpretace variant a agregace znalostí.

Na obr. 4 je naznačeno schéma komunikace a syntézy znalostí jako speciální interakce mezi vygenerovanými variantami (A_1, \dots, A_n), lidským operátorem (O) a systémem (S).

Každá z vygenerovaných variant je až do její úplné interpretace a vysvětlení asociována s různými neurčitostmi. (Přinejmenším nevíme, jakou funkci varianta vyjadřuje a jak bude tato funkce realizována pomocí nějakých známých fyzických (technických) prvků.) Ačkoli typů neurčitostí je více, budeme uvažovat pouze dva typy neurčitostí:

- *Funkcionální neurčitost* varianty A_k vzhledem k systému S, variantám (A_1, \dots, A_{k-1}) a lidskému operátoru O: $H_{ex}(S|A_k|(A_1, \dots, A_{k-1})|O)$. (Podobně formulujeme funkcionální neurčitosti variant (A_1, \dots, A_n) jako celku vzhledem k systému S, a lidskému operátoru O: $H_{ex}(S|(A_1, \dots, A_n)|O)$.)

- Konstruktivní neurčitost varianty A_k vzhledem k systému S , variantám (A_1, \dots, A_{k-1}) a lidskému operátoru O : $H_{in}(S | A_k | (A_1, \dots, A_{k-1}) | O)$.
(Podobně formulujeme konstruktivní neurčitost variant (A_1, \dots, A_n) jako celku vzhledem k systému S , a lidskému operátoru O : $H_{in}(S | (A_1, A_{k-1}, A_{k+1}, \dots, A_n) | O)$.)



Obr. 5 Souřadnice modelu “vnitřního znalostního prostoru”

Na obr. 5 jsou příklady trajektorií, kdy dochází k poklesu počáteční neurčitosti - bod PI - až do nalezení řešení v bodech PE. (V bodě PI zaznamenáváme neurčitosti: $H_{ex}(S | A_k | O)$ a $H_{in}(S | A_k | O)$, v bodech PE pak neurčitosti $H_{ex}(S | A_k | (A_1, \dots, A_{k-1}) | O)$ a $H_{in}(S | A_k | (A_1, \dots, A_{k-1}) | O)$ vztahené k některé finální variantě A_k , (resp. $H_{ex}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ a $H_{in}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$).

Princip CAK popisuje trajektorie z bodu PI do některého dalšího bodu prostoru. Trajektorie ostrých změn hodnot neurčitostí uvedené na obr. 5 jako spojnice (PI-PE), které se odehrají během interpretace a syntézy variant v „relativně krátkém“ čase řešení, představují jevy *emergence*, kdy dochází k náhlému vyjasnění „řešení“.

Princip EU vyjadřuje dosažení počátku souřadnic, kde jsou obě neurčitosti nulové.

Kdyby souřadnicové osy neurčitostí byly „veličiny“ a hodnoty souřadnic bodů PI a PE byla reálná čísla, potřebovali bychom k aplikaci obou principů dvě znalosti:

- Algoritmus výpočtu změn neurčitostí během interpretace a syntézy variant.
- Geometrii prostoru nebo alespoň geometrii na souřadnicových osách.

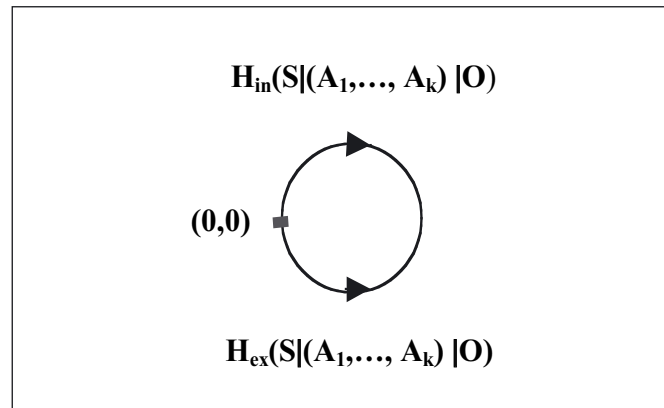
Ačkoli nebudeme využívat intenzu „veličiny“ přímo, využijeme výše uvedené představy kvalitativně:

Každý krok algoritmu výpočtu změn neurčitostí během interpretace určité varianty by znamenal posun z aktuálního bodu do nějakého bodu nového. Tento nový bod by představoval jednak neurčitost právě zohledněné varianty a dále pak neurčitost všech variant již zohledněných ve výpočtu. V obou případech dochází, ať již chceme nebo ne, k výpočtu neurčitostí jakési agregované varianty. A podle principu EU budou ve finálním stavu hodnoty neurčitostí této finální varianty nulové.

Takto lze modelovat proces interpretace pomocí veličin a čísel, ale proces interpretace takto neprobíhá. Během interpretace se uvažované varianty nemění, ani se neslučují do nějaké agregované varianty. Přesto i v rovině procesu interpretace můžeme potvrdit empirickou zkušenost poklesu neurčitostí. Vrátime-li se zpět k obr. 5, znamená to, že body variant zůstávají na místě a přesto se hodnoty jejich neurčitosti mění (a v optimálním případě se posouvají k počátku).

Jedno z východisek z tohoto sofismatu je možnost, že se něco děje se souřadnicemi. Jen jako myšlenkový experiment použijeme již dosti starou představu „psychologů“, že souřadnice jsou od počátku křivocharé (např., že jsou to segmenty povrchových křivek ortogonálních řezů na ploše koule) a že s každým interpretačním krokem se jejich křivost změní [18].

Naplnění principu EU by pak znamenalo stočení souřadnic do bodu – obr. 6.



Obr. 6 Zvětšená ilustrace zakřívání souřadnic - těsně před nulováním neurčitostí

Zbývá ještě poslední problém (z těch základních): Jak poznáme v průběhu interpretace, že neurčitosti $H_{ex}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ a $H_{in}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ jsou „nulové“ resp. již dále nesnížitelné. Jejich hodnoty přece znát nebudeme.

(V číselném prostoru neurčitostí bychom buď viděli, že hodnoty neurčitostí $H_{ex}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ a $H_{in}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ jsou nulové a tento případ není zajímavý. Pokud by ale nebyly úplně nulové, zůstávala by otázka, které varianty ještě zohlednit ve výpočtu, aby došlo k podstatnému snížení neurčitostí. Myšlenka konvergence a ukončovací podmínky („s žádnou variantou se již hodnoty neurčitosti podstatně nesníží“) by znamenala varianty předuspořádat ve smyslu předpokladu, že neurčitosti jsou monotónně klesající funkce nad uspořádanou posloupností variant. To by bylo ale obtížné i kdybychom měli k dispozici číselné hodnoty neurčitostí variant.)

Jak tuto operaci provést na množinách variant typu 19. až 27. z odstavce 2.2.1 a ve smyslu procesu interpretace? Vzhledem k tomu, že se pohybujeme na množině znakových řetězců, které jsou s obsahovými představami, musíme použít operační strukturu formálně dostatečně slabou, aby nevyžadovala další axiomy, pro realitu variant a proces interpretace nesplnitelné. Tento důvod (tak jako v případě propracování intenzu „specifikace“ např. v [17]), nás vedl k použití matroidové struktury a z ní vyplývajícího postupu předzpracování množiny variant před vlastní interpretací:

- A. Zavedení vhodné relace nezávislosti variant.
- B. Sestrojení matroidu na množině variant.
- C. Sestrojení báze matroidu (maximální množiny nezávislých variant).
- D. Interpretace variant z báze matroidu.

(Z teorie matroidů (např.[19]) se využívá pro tento postup implikace postulující, že nejvyšší úbytky neurčitostí $H_{ex}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ a $H_{in}(S | (A_1, \dots, A_k) | O)$ reprezentují právě prvky báze. Podrobnosti v [19].)

5. ZÁVĚR

Úloha a „délka“ konceptuálního návrhu chápaného „klasiicky“ v posloupnosti fází návrhu (od „myšlenky“ k reálnému fungujícímu zařízení) je známa. Po fázi detailního návrhu a konstrukce a po té,

co se zařízení realizuje (fyzickým nebo simulačním modelem), úloha konceptuálního návrhu končí. Pokud zařízení plní konceptuálně danou funkci, optimalizuje se k dosažení *hraničních hodnot* vybraných veličin (nebo vlastností). Do fáze konceptuálního návrhu se tento proces vrací až v úloze eventuálního *redesignu*. A tak se zdá, jakoby většina technických problémů (a to zejména inovačních) byla formulována jako dosahování hraničních hodnot.

Je možno uvést řadu příkladů takového přístupu – od vývoje automobilových motorů až po vývoj speciálních materiálů pro tkáňové implantáty.

Výhody přístupu „hraniční hodnoty“ jsou zejména v možnosti srovnávat různé produkty (přes dosažené hodnoty) a tím poskytovat podklady pro hledání *sklonu rovnováhy* „cena výrobku versus dosažené hodnoty“. Nepříjemným důsledkem tohoto přístupu je aplikační výzkum soustředěný lokálně k pravidlům soutěže „hraniční hodnoty“.

V předkládaném článku jsme uvedli několik směrů, jak klasický přístup ke konceptuálnímu navrhování změnit tak, aby byl nejen lépe formalizovatelný (a tím i softwarizovatelný), ale aby zároveň navozoval popis světa pomocí komplexnějších kategorií, než jsou vlastnosti a jejich hodnoty (resp. hraniční hodnoty).

Poděkování

Předložený článek náleží do výzkumu podporovaného grantovým projektem č. 2B06023.

Literatura

- [1] Takeda, H., Tomiyama, T. and Yoshikawa, H.: Logical and computable framework for reasoning in design, *Design Theory and Methodology*, ASME, No. 42, 1992, pp.167 - 174.
- [2] O'Sullivan, B.: Constraint-Aided Conceptual Design. Engineering Research Series, London, UK, (2002).
- [3] Rentema, D. and Jansen, E.: An AI Tool for Conceptual Design of Complex Products. In: *Design Research in Netherlands 2000* (Achten, H., Bauke de Vries and Ijm Hennessey, Eds.). Eindhoven University of Technology, 2000, pp. 119-132.
- [4] Xu, Z. G., Tang, M. X. and Frazer, J. H.: From concept to embodiment: challenge and strategy. *Artificial Intelligence in Design '02*. (John Gero, Ed.). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, (2002) pp. 215-236.
- [5] Ueda, K.: Emergent Synthesis. *Artificial Intelligence in Engineering*, No. 15, 2001, pp. 319 - 327.
- [6] Kryssanov, V. V., Tamaki, H. and Kitamura, S.: Understanding design fundamentals: how synthesis and analysis drive creativity, resulting in emergence. *Artificial Intelligence in Engineering*, No. 15, 2001, pp. 329- 342.
- [7] Bíla, J.: Emergent Phenomena in a Co-Evolutionary Conceptual Design. In: Proc. of Int. Conference on *Artificial Intelligence in Design – AID 02*, Cambridge, England, (2002). CD-ROM, paper No. 1., 2002.
- [8] Miller, J. F., Kalganova, T., Lipnitskaya, N. and Job, D.: The Genetic Algorithms as a Discovery Engine: Strange Circuits and New Principles, In: *Creative Evol. Systems* (P. J. Bentley and D. W. Corne, Eds), Morgan Kaufmann Publishers, 2002, pp. 443-466.
- [9] Bíla, J. and Tlapák, M.: Knowledge Discoveries and Emergent Synthesis in Conceptual ReDesign Process. In: Proc. of Int. Conf. on Comp. Intel. Modelling, Contr. and Automation - CIMCA' 2005, (Mohammadian, M.- editor), CS IEEE, Vienna, 2005, pp. 537-543.
- [10] Kikuchi, M.: On the Hierarchical Structure of Abstract Concepts in General Design Theory. In: Proc. The 6th International Workshop on Emergent Synthesis – IWES 06, August, 2006, Kashiwa, Japan. CD ROM.
- [11] Pfanzagl, J.: Theory of Measurement. Physica-Verlag, Würzburg-Wien, 1971.
- [12] Bíla, J., Tlapák, M. and Jura., J.: Emergent Synthesis in Conceptual Redesign Process. In: Proc. The 6th International Workshop on Emergent Synthesis – IWES 06, August, 2006, Kashiwa, Japan. CD ROM.
- [13] Tichý, P.: The Foundations of Frege's Logic, de Gruyter, 1988.
- [14] Materna, P.: The World of Concepts and Logic. (In Czech). Philosophy, Prague, Czech Republic, 2000.
- [15] Savransky, S. D.: Engineering of Creativity: (introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving). CRC Press, Boca Raton, New York, 2000.
- [16] Dr. Michael J. Behe: Darwin's black box. The Free Press. A Division of Simon and Schuster Inc., New York, 1996.
- [17] Jura, J. and Bíla, J.: The interpretation of the Ontology for the Conceptual ReDesign of Systems. Submitted for International Conference on Process Control 07 – PC07, June 2007, Štrbské pleso, Slovenská republika.
- [18] Hauner, V. J.: Geometrie neeuklidovská a její poměr k teorii poznání. *Česká mysl*, Vol. 4, 1903.
- [19] Kučera, L. a Nešetřil, J.: *Algebraické metody diskrétní matematiky*. SNTL, Praha, 1989.
- [20] Bíla, J. a Tlapák, M.: Inženýrské ontologie pro reprezentaci funkcí v konceptuálním navrhování. *Jemná mechanika a optika*, č. 5, 2004.

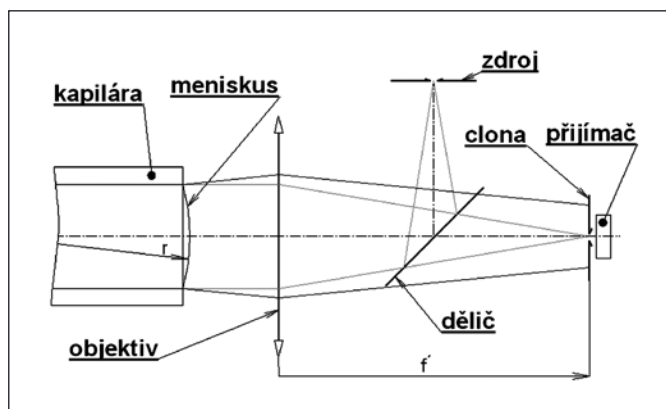
Úprava čela kapiláry v optické kvalitě

Příspěvek je zaměřen na technologii broušení a leštění malých skleněných ploch cca do 1 mm² s optickou kvalitou. Zvládnutí této problematiky úzce souvisí s měřením povrchového napětí přechlazené vody v rámci spoluúčasti autorů na řešení grantu „Metastabilní voda a vodní pára“ GAČR č. 101/05/2214. Jsou uvedeny postupně tři možnosti opracování čela kapiláry s konečným rozměrem 0,98/0,32 mm včetně konkrétních výsledků. Pozornost je věnována i způsobu uchycení kapiláry, vhodným pro její montáž v experimentálním zařízení. To umožňuje sledovat změny tvaru menisku kapaliny uvnitř kapiláry.

Klíčová slova: malé plochy, broušení, leštění, čištění

1. ÚVOD

Dutá skleněná kapilára je jedním z klíčových dílů experimentálního zařízení, sloužícího k měření povrchového napětí malého množství kapaliny pomocí sledování tvaru vrchlíku (menisku) na jejím konci. Jedno z možných uspořádání tohoto zařízení je na obr. 1. Z vhodného zdroje umístěného v ohniskové rovině objektivu dopadá po odrazu na děliči a průchodu objektivem na čelo kapiláry rovnoběžný svazek paprsků s minimální divergencí a průměrem, který je menší nebo nanejvýš rovný otvoru kapiláry. Při zvyšování tlaku v kapiláře se tvar menisku na jejím čele postupně mění z konvexního na konkávní. Je zřejmé, že pro jistou hodnotu tlaku bude meniskus rovinný. V tomto případě na přijímač záření umístěný za clonou dopadne maximální množství zářivého toku. Ovšem pouze za předpokladu optické kvality hrany přechodu čelo-otvor kapiláry. Tomu odpovídá i navržené optické schéma. Určení tlaku, kdy bude meniskus rovinný, pak navazuje měření povrchového napětí přechlazené vody v rámci spoluřešení grantu „Metastabilní voda a vodní pára“ GAČR č.101/05/2214 [1], [2].



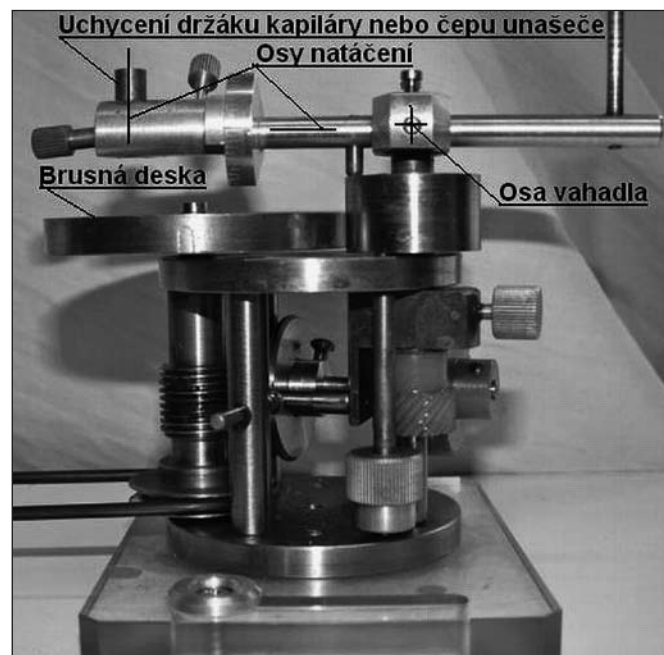
Obr. 1

2. MOŽNOSTI LEŠTĚNÍ ČELA KAPILÁRY

Jako jedna z prvních možností získání kvalitního povrchu čela kapiláry byl zkoušen malý broušící strojek, který se velmi dobře osvědčil při přípravě diamantových nástrojů vhodných pro seřezávání tenké kovové vrstvy o tloušťce cca 0,2 μm, vakuově napařené na skleněném podkladě [3]. Důvody pro odzkoušení tohoto postupu byly v podstatě dva. Rozměrově čelo kapiláry odpovídalo velikosti ploch broušených a leštěných diamantových nožů a kvalita hran získaných u těchto nástrojů byla řádově lepší než tloušťka seřezávané vrstvy (neostrost hrany ≤20 nm). Jednoduchý nebyl výběr vhodných kapilár. Předběžně byly testovány kapiláry těchto rozměrů: (vnější/vnitřní průměr [mm]) 0,38/0,16

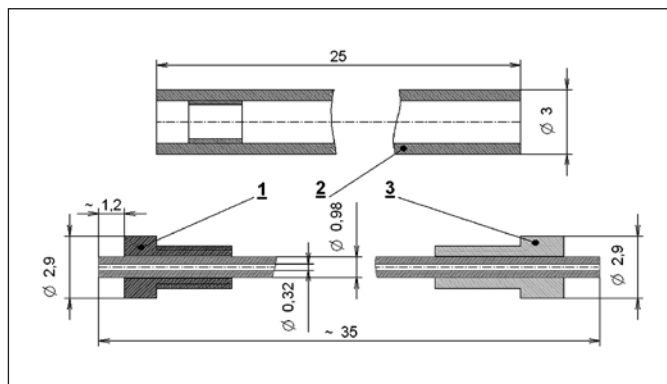
včetně tenkého plastového obalu na vnějším povrchu; 0,32/0,07 opět s tenkým plastovým obalem a konečně 0,98/0,32. Poslední typ se jevil jako nejvhodnější a byl doporučen i hlavním řešitelem úkolu. U dvou předcházejících typů kapilár působil značné potíže tenký plastový obal při opracování čela a vysoké vnitřní pnutí. Navíc kapilára rozměru 0,38/0,16 vykazovala u otvoru značnou odchylku od kruhového tvaru. Nicméně řadu poznatků získaných při předběžném testování bylo možné použít v další úpravě čela vybrané kapiláry 0,98/0,32.

Vlastní broušící strojek (obr. 2) nevyžadoval žádné zvláštní úpravy. Pouze nebylo využito natáčení kolem dvou navzájem kolmých os, kdy jedna byla nastavena rovnoběžně s rovinou brusné desky a druhá byla na ni kolmá. Tak byla zajištěna kolmost osy kapiláry na brusnou desku. Při uchycení kapiláry pak bylo třeba respektovat vnitřní průměr pouzdra ve vahadle broušícího strojku 3 mm s tím, že v konečné fázi při experimentech bude možné tento držák odstranit. Průměr brusné desky strojku je 60 mm s možností plynulé regulace otáček. Vahadlo navíc koná kývavý pohyb s malou amplitudou kolem osy rovnoběžně s osou rotace brusné desky. Přítlak při broušení či leštění se nastavuje kruhovými závažíčky s vnitřním průměrem opět 3 mm nasazovanými na levý nebo pravý konec vahadla.



Obr. 2

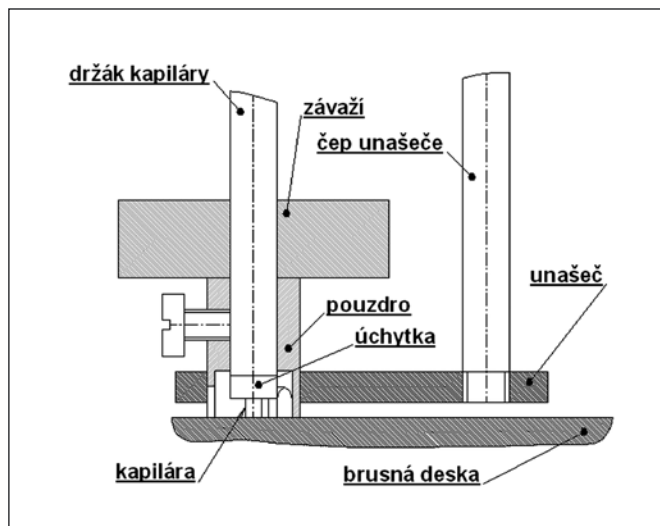
Konečná verze uchycení kapiláry je na *obr. 3* (kresleno v částečně rozebraném stavu). Kapilára je zalepena do nerezové úchytky 1, která je zašroubována do držáku a zároveň pouzdra kapiláry 2 (materiál opět nerez ocel). Na opačném konci držáku je možné zasunout plastové pouzdro 3, které kapiláru středí při jejím zalepení do úchytky a chrání ji proti zlomení při manipulaci. Pro zalepení byla odzkoušena dvě lepidla. Jednak UV tvrditelné Loctite 322, jednak anaerobní Loctite 638. Jako vhodnější se nakonec ukázalo lepidlo Loctite 638 ovšem s tím, že část vnějšího povrchu kapiláry, který je v úchytkce, byla zdrsňena (např. za rotace diamantovým pilníkem). Celková délka kapiláry je cca 35 mm.



Obr. 3

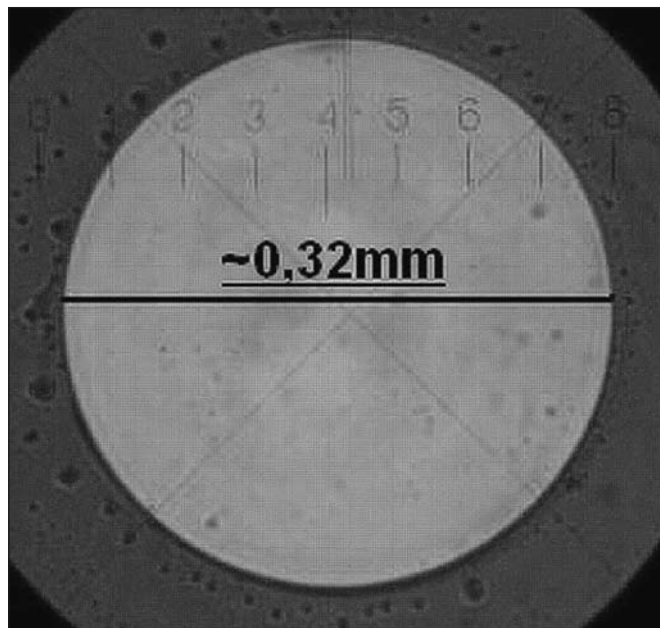
Přes veškerou snahu se tento postup příliš neosvědčil. Rozhraní otvoru v kapiláře a jejího čela nebylo zcela ostré (miniaturní lastury nebo záštipky). Nepomohlo ani broušení na diamantovém prášku o zrnění M1, které u diamantových nástrojů poskytovalo již zmíněnou optickou kvalitu ploch. Také pokus o doleštění na folii s Fe_2O_3 rozmíchané ve vodě nebyl zcela úspěšný. Jedním z vysvětlení nevyhovujících výsledků je praktický poznatek, že u křehkých materiálů, kam sklo patří, je velmi obtížné získat ostrou průsečnici dvou ploch, pokud jejich úhel je menší nebo roven 90° . To je i případ geometrického uspořádání čelo kapiláry-otvor. U diamantových nástrojů byl tento úhel minimálně 95° , navíc směr broušení byl pokud možno vždy volen „do hrany“. To však u kruhového tvaru hrany nejde dodržet. Další slabinou u tohoto postupu byla skutečnost, že dodržení kolmosti čela kapiláry na její osu záviselo na správném naklopení vahadla broušícího stroju, kterým se zároveň spouštěla kapilára na brusnou desku (*obr. 2*).

Ve snaze odstranit shora uvedené nedostatky byl navržen a zkoušen další postup (*obr. 4*). Držák kapiláry byl upevněn do vylehčeného pouzdra opatřeného zářezy, které je za svůj vnější průměr volně spojeno s unášečem těsně nad brusnou deskou. Broušení a leštění je potom čelo pouzdra i čelo kapiláry. Kolmost osy kapiláry na její čelo je zaručena kolmostí osy upínacího průměru pouzdra pro držák kapiláry na jeho čelo. Pevně s pouzdrům vahadla broušícího stroju je pak spojen pouze čep unášeče. Přítlak při broušení nebo leštění se nastává obdobnými závažími jako u předcházejícího postupu. Dosažené výsledky byly rozhodně lepší, i když jejich získání bylo značně pracné. Také reprodukovatelnost výsledků nebyla právě nejlepší. I zde probíhalo dokončení na folii s lešticí červení. Přesto, že folie je nalepená na tvrdém podkladě, může se v průběhu operace deformovat a způsobit mírnou nerovinnost vyleštěného čela kapiláry v blízkosti vnější i vnitřní válcové části. Pro zajímavost, obdobným způsobem se např. leští též čela rezonátorů pevnolátkových laserů (Crytur Turnov). Vzhledem k rozměrům rezonátorů je však celé uspořádání podstatně větší. Na *obr. 5* je uvedena mikrofotografie čela kapiláry (ve výřezu pouze vnitřní otvor a část vlastního čela) 0,98/0,32 mm, kdy kapilára je nasvícena z opačného konce úzkým, prakticky rovnoběžným svazkem paprsků ve směru své osy. Dobře jsou patrné drobné nečistoty na čele a ne zcela vyčištěná optika mikroskopu, která



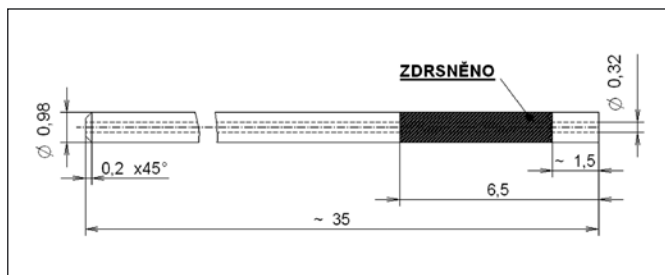
Obr. 4

se projevuje rozmazanými body v otvoru. Zajímavější jsou však interferenční kroužky na rozhraní čelo-otvor. Po celém obvodu je na obě strany dobře pozorovatelné alespoň jedno interferenční maximum. Tato skutečnost vypovídá o kvalitě ostroty rozhraní (např. u dokončených diamantových nástrojů bylo možno pozorovat, opět ve vhodném nasvícení hrany, až pět proužků). Lze tedy oprávněně předpokládat, že kvalita hrany je postačující pro vlastní měření tvaru menisku kapaliny v kapiláře.

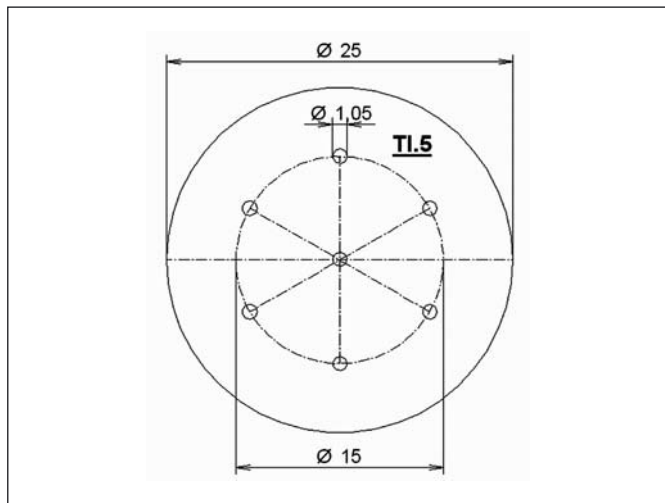


Obr. 5

Zatím poslední zkoušená možnost realizovaná ve spolupráci s optikou a sklářskou dílnou MFF UK vychází z klasických postupů opracování skleněných dílů. Zásadní změna spočívá v tom, že kapilára, jejíž konečný tvar je na *obr. 6*, je do nerezové úchytky zalepena až po opracování. Kapiláry byly zatmeleny do jednoduchého přípravku (*obr. 7*) tak, že část tmelu se dostala také do jejich otvoru. Potom následovaly klasické operace broušení a leštění. Po dokončení byly kapiláry z přípravku vyjmuty a tmel odstraněn. Hotové kapiláry pak stačilo pouze zalepit do nerezové úchytky. S výhodou se opět použil držák 2 a plastové pouzdro 3 (*obr. 3*).



Obr. 6



Obr. 7

Tím je v dostatečné míře zajištěna souosost os kapiláry a úchytky. Výsledky této metody opracování čela kapiláry byly minimálně srovnatelné s předchozím postupem (viditelná až dvě interferenční maxima). Potíže nastaly s dokonalým vyčištěním čela kapiláry, což je třeba řešit i při vlastních experimentech. Dobré výsledky lze očekávat konečným čištěním v malé ultrazvukové čistítku.

3. ZÁVĚR

Cílem krátkého příspěvku bylo především poukázat na často náročné technologické problémy, které je nutno řešit v souvislosti s realizací unikátních experimentálních zařízení. U zmíněného zařízení se např. jako další problém jeví perfektní nasvícení čela kapiláry úzkým rovnoběžným svazkem. Namísto je také poděkování pracovníkům firmy L.E.T. s.r.o. Praha a Optické a sklářské dílny MFF UK v Praze za cenné rady a odbornou pomoc. Veškeré práce byly provedeny jako součást řešení grantu „Metastabilní voda a vodní pára“ GAČR č.101/05/2214.

Literatura

- [1] J. Hošek, K. Studenovský: „Návrh zařízení pro měření povrchového napětí minimálního množství kapaliny“. In: *Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky*, 51-54, Herbertov, Vyšší Brod, June 3-5, 2005.
- [2] J. Hošek, K. Studenovský: „Surface Tension Measurement of Small Volume of Liquid“. In: *5th International Conference on Advanced Engineering Design*, 11-14 June, 2006, Prague, Czech Republic.
- [3] K. Studenovský: *Technologie výroby přesných optických rastrů*; doktorská disertační práce, Praha 1985.

Prof. Ing. Karel Studenovský, DrSc., Fakulta strojní ČVUT, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07, Praha 6, tel.: 224 352 434, e-mail: Karel.Studenovsky@fs.cvut.cz

Ing. Jan Hošek, Ph.D., Fakulta strojní ČVUT, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07, Praha 6, tel.: 224 352 552, e-mail: Jan.Hosek@fs.cvut.cz

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

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

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

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

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

Pokyny k předávání příspěvku

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

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

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

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

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

Skenovací systém pro spektrometr

Článek popisuje konstrukci speciálního skenovacího zařízení pracujícího společně se spektrometrem. Skenování je založeno na využití kuželových zrcadel. Zařízení se používá při spektrální analýze nízkoteplotního plazmatu, zkoumají se radiální závislosti intenzit spektrálních čar. Popisuje se zde i mechanická konstrukce skeneru, lepení a justáž zrcadel.

Klíčová slova: skener, kuželová zrcadla, spektrometr

ÚVOD

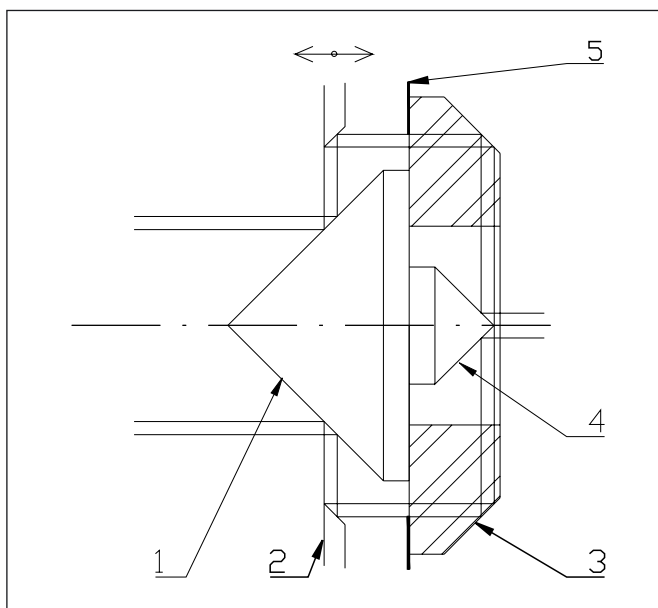
Požadavek na návrh a realizaci spektrometru s vysokým rozlišením, vysokou energetickou účinností a speciálním skenovacím systémem vyšel z katedry elektroniky a vakuové fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, kde se již delší dobu zabývají studiem spekter nízkoteplotního plazmatu. Fyzikální interpretace výsledků získaných pomocí tohoto spektrometru dovolí vysvětlit některé procesy jak v plazmatu laserů a jejich průmyslových aplikacích, tak v plazmatu, které může simulovat reakce důležité pro studie životního prostředí (kyslík, dusík). Spektroskopická analýza je věnována studiu doutnavého výboje ve směsích plynů. Jednou částí výzkumu bylo také vyvinout metodiku na snímání radiálních závislostí intenzit spektrálních čar. Zkoumaná spektrální oblast je (200-1000) nm.

Dosud používané snímací optické soustavy pro zjišťování radiálních závislostí detekují světlo z omezeného objemu zkoumaného plazmatu – testovací svazek má tvar válce s podélnou osou rovnoběžnou s osou symetrie plazmatu. Tyto metody ale nevyhovují při zkoumání plynů s málo intenzivními spektrálními čarami a tam, kde intenzita záření je celkově nízká nebo směrem k okrajům trubice rychle klesá. Proto byl jako výsledek spolupráce MFF UK a FS ČVUT vyvinut a použit optický systém s kuželovými zrcadly. Skener umožňuje separovat testovací svazek rovnoběžných paprsků, který má tvar dutého válce. Jeho podstavou je mezikruží koncentrické s podélnou osou rozšířené části výbojové trubice.

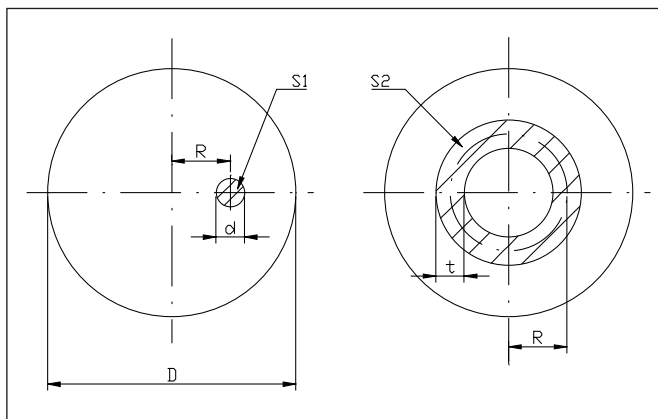
SKENER: PRINCIP, VÝHODY, NAVÁZÁNÍ NA SPEKTROMETR

Základem skeneru (obr. 1) je konické zrcadlo (1) s vrcholovým úhlem 90° . Tloušťka stěny dutého válce, která určuje prostorové rozlišení při zjišťování radiálních změn parametrů plazmatu, je vymezena dvěma clonami. První tvoří hrana negativního kónického zrcadla (2). Druhá clona (5) je samostatným konstrukčním prvkem. Její výměnou lze změnit požadovanou tloušťku stěny. Posuvem zrcadla 2 měníme střední průměr testovacího válce. Systém pro změnu tvaru z mezikruží zpět na plně osvětlený kotouček využívá symetrického uspořádání kuželových zrcadel. První dvojice zrcadel (poz. 1 a 2) vybírá testovací svazek, druhá dvojice (poz. 3 a 4) převádí svazek zpět na plně osvětlený kotouček. Zrcadlo 3 zde tvoří křemenný prstenec s vybroušenou kuželovou plochou, na které dochází k totálnímu odrazu. Zrcadla 1, 3 a 4 jsou slepená a do rámu se celý systém uchytlí přes zrcadlo 5.

Zřejmá výhoda skenovacího systému s kuželovými zrcadly spočívá v podstatném zvýšení účinnosti. Intenzita záření, které vstupuje do spektrometru, se zvýší v poměru ploch průřezů testovacích svazků (viz obr. 2), pro naše konkrétní rozměry až 80x. Systém s kuželovými zrcadly vyniká svou účinností, navíc se tato účinnost zvyšuje směrem k okrajům výbojové trubice, kde je intenzita záření nižší. Konstrukčně je přitom velmi jednoduchý, používá minimum optických prvků, které mohou být zdrojem jak výrobních nepřesností, tak i optických vad.

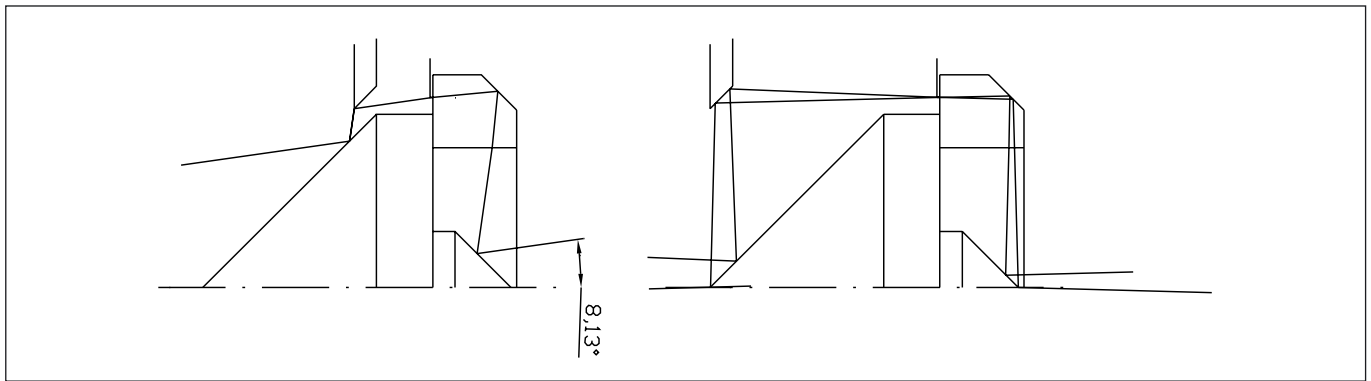


Obr. 1 Scanner se dvěma páry kuželových zrcadel

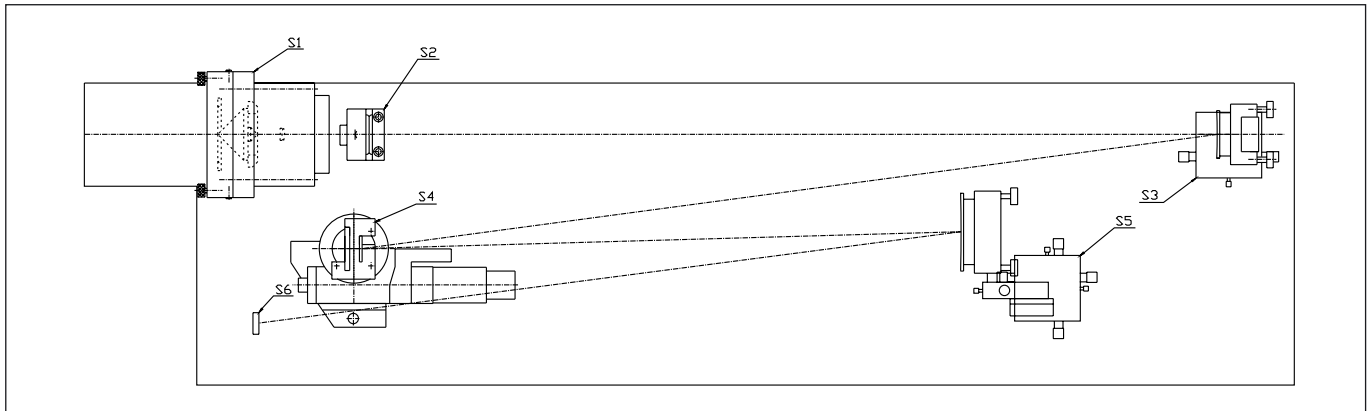


Obr. 2 Testovací svazek tvaru válce a ekvivalentní svazek tvaru mezikruží

Protože tímto systémem mohou procházet i šikmé svazky, vyšetřili jsme největší úhel, pod kterým mohou ze systému vystupovat. Tento úhel je shodný s tím, pod kterým do skenovacího systému vstupují. Nejnepříznivější případ nastává pro největší průměr testovacího svazku a tedy nejmenší vzdálenost negativního kónického zrcadla od clony vymežující šířku mezikruží. Maximální velikost úhlu těchto šikmých svazků je (v meridionální rovině) $8^\circ 7'$, viz obr. 3.



Obr. 3 Šikmé svazky procházející scannerem



Obr. 4 Spektrometr – celkový pohled

Za skenerem je kondenzor, který soustřeďuje záření na vstupní štěrbinu spektrometru. Celkový pohled na mechanickou konstrukci přístroje (půdorys) je na obr. 4. Spektrometr je mřížkový, montáž Czerny-Turner: S2 – vstupní štěrbinu se stavitelnou šířkou, S3 – kolimační zrcadlo s možností posuvu podél osy dopadajícího svazku, S4 – motorizovaný stolek se dvěma rovinnými mřížkami v poloze „zády k sobě“, S5 – zrcadlo kolimátoru na XYZ stolek, S6 – detektor (CCD 1024 pixelů). Jedna mřížka je rytá (blaze 350 nm), druhá holografická (blaze 250 nm) pro optimalizaci účinnosti v celém zkoumaném spektrálním rozsahu, tj. 200 nm – 1000 nm.

Konstrukční skupina označená pozicí S1 sdružuje skenovací zařízení a kondenzor. Nepohyblivá kuželová zrcadla (dvě pozitivní kuželová zrcadla slepená s negativním křemenným zrcadlem) jsou upevněna do pevné části mechanického dílu společně s kondenzorem. Tato kuželová zrcadla nemají žádnou možnost justáže. Kondenzor je možné posouvat podél optické osy tak, aby jeho ohnisko leželo na vstupní štěrbině spektrometru.

Funkčním pohybem skeneru je posouvání negativního kuželového zrcadla podél optické osy. Tento pohyb je zajištěn velmi přesným kuličkovým válcovým vedením Mahr. Ukázalo se, že není vhodné, aby se kuželové zrcadlo při funkčním pohybu otáčelo (šroubový pohyb). Proto jsme omezili pohyb zrcadla pouze na posuvný, vyvozený šroubem. Rozsah funkčního pohybu je 28 mm. Na číselníkovém úchylkoměru se odečítá aktuální poloha negativního kuželového zrcadla, která určuje střední průměr testovacího svazku záření měřeného spektrometrem.

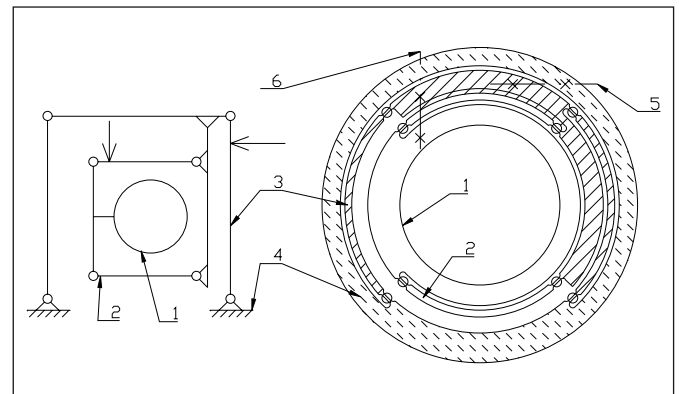
MECHANICKÁ KONSTRUKCE A JUSTÁŽ SKENERU

Velkou pozornost jsme věnovali justáži pohyblivého kuželového zrcadla, protože skener je na jeho správnou polohu velmi citlivý. Kritické je naklonění mechanické osy zrcadla vůči optické ose i decentrace zrcadla. Pro jemné a přesné nastavení zrcadla v rovině kolmé na optickou osu (decentrace) jsme navrhli speciální křížový stolek s pružnými klouby.

Kinematické schéma a skutečné provedení křížového stolku je na obr. 5. Justážní pohyb podél osy y a z je prováděn dvěma spojenými paralelogramy (poz. 3 a 2). Negativní kuželové zrcadlo (poz. 1) je upevněno na paralelogramu poz. 2. Justážní pohyb provádějí diferenciální šrouby (poz. 5 a 6). Tyto šrouby jsou opatřeny závity M5 x 0,5 a M4 x 0,7. Diference 0,2 mm na 1 otáčku šroubu zajišťuje dostatečně jemné nastavení polohy negativního zrcadla. Naklonění vůči optické ose se justuje nakláněním křížového stolku se zrcadlem vůči rámu pomocí 3 shodných diferenciálních šroubů. Tloušťka křížového stolku je 10 mm a byl vyroben technologií vyjiskřování.

Mechanická konstrukce skeneru, vycházející z optického návrhu, předpokládá, že zrcadla 1, 3 a 4 budou slepená. Na přesnosti ustavení vzájemných poloh zrcadel při lepení závisí výsledná kvalita zobrazení. Nepřesnosti vzniklé při výrobě již nemůžeme ovlivnit.

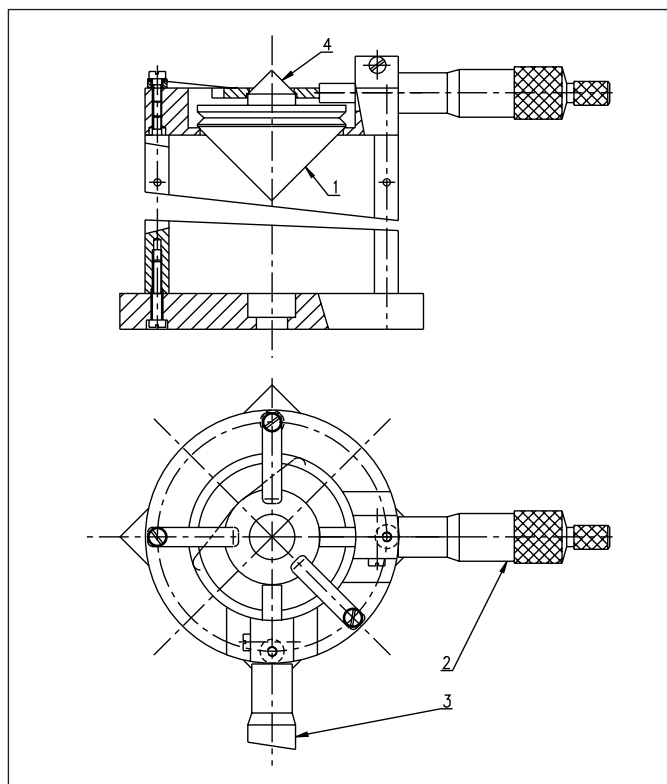
Pro měření vzájemných poloh zrcadel před slepením jsme používali 3D měřicí stroj fy Zeiss. Tímto strojem jsme proměřili i skutečné hodnoty vrcholových úhlů a další rozměrové charak-



Obr. 5 Křížový stolek

teristiky všech vyrobených kuželů. Kuželová zrcadla 1, 2 a 4 se vyráběla ve Vývojové optické dílně ČSAV v Turnově, křemenné zrcadlo ve sklářském oddělení na MFF UK v Holešovicích. Největší odchylku vykazuje pozitivní kužel 1, a to $2,5'$. U ostatních kuželových zrcadel se odchylky pohybují v řádu $1'$, což je na hranici přesnosti měřicího stroje.

Kromě nepřesnosti ve velikosti vrcholového úhlu jsou pozitivní kuželová zrcadla zatížena ještě chybou odchylky od ideální kuželové plochy - dochází k podbroušení špičky. To je způsobeno technologickou náročností výroby kuželové plochy, která je pro optickou výrobu netypická. Tuto vadu nelze během výroby odstranit. Negativně se projevívá zejména u pozitivního kužele 4, kde je kvalita zobrazení přímo závislá na přesnosti výroby špičky kužele, která pracuje vždy. U velkého pozitivního kužele 1 pracuje špička jen v případě, že testovací svazek se vybírá ze středu výbojové trubice. Podbroušení špičky kužele nebylo dotykovou metodou (3D měřicí stroj Zeiss) měřitelné.



Obr. 6 Slepovací přípravek

Pro uchycení zrcadel při lepení a pro přesnou justáž před slepením jsme navrhli slepovací přípravek, viz obr. 6. Nejdříve jsme slepili zrcadla 1 a 4. Dvěma mikrometrickými šrouby (poz. 2 a 3) jsme justovali vzájemnou polohu zrcadel, kterou jsme kontrolovali měřením na 3-souřadnicovém stroji Zeiss. Po slepení a vytvrdnutí lepidla jsme opět zkontrolovali vzájemnou polohu zrcadel. Potom jsme upravili slepovací přípravek tak, aby bylo možné přilepit křemenné zrcadlo 3. Princip justáže zůstal zachován a postup při lepení byl obdobný. Díky tomuto postupu se decentrace kuželů pohybovala za hranici měřitelnosti a různoběžnost os kuželů byla v řádu $3'$.

OVĚŘENÍ FUNKCE SKENERU

Funkci skenovací hlavy jsme po slepení kuželových zrcadel ověřili na optické lavici. Zrcadla byla uchycena v jednoduchém přípravku a osvětlena kolimátorem s $f' = 1,5$ m. Při měření na optické lavici se ukázalo, že skener klade poměrně vysoké nároky na justáž pohyblivého negativního zrcadla, což jsme posléze zohlednili při návrhu konstrukce jeho uložení v pružném křížovém stolku. Chování skeneru osvětleného rovnoběžným svazkem z kolimátoru bylo v souladu s teoretickými předpoklady a jeho funkce se tímto potvrdila.

Při justáži skeneru v konečné mechanické konstrukci jsme pro jeho osvětlení použili He-Ne laser. Potvrdila se předchozí zkušenost, že skener je velmi citlivý na správnou polohu negativního posuvného zrcadla, a to jak na decentraci, tak na naklonění. Zároveň se ukázalo, že navržený justážní systém je vyhovující, nastavení polohy je dostatečně jemné a stabilní, ovládání je jednoduché a pohodlné.

Literatura

- [1] Rompe, R., Steenbeck, M.: Progress in Plasmas and Gas Electronics, Vol. 1, Akademie-Verlag, Berlin, 1975.
- [2] Kaňka, A.: Doktorandská disertační práce, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 1996.
- [3] Němcová, Š., Zicha, J., Hrachová, V., Kaňka, A.: High Resolution Spectrometer for Study of Low Temperature Plasma, CTU Reports, Proc. of Workshop 99, Praha, 1999.

Laboratorní model „Kulička na elipse“

Na strojní fakultě ČVUT v Praze je vyučován pro všechny studenty třetího ročníku předmět „Automatické řízení“. Článek popisuje nový a původní laboratorní model nazvaný „Kulička na elipse“, který byl vyroben v Ústavu přístrojové a řídicí techniky pro praktické procvičování základů analogové a číslicové techniky. Laboratorní model „Kulička na elipse“ je tvořen elipsovitou dráhou otočně uloženou ve svém středu tak, že její náklon může být ovládán ve dvou kolmých směrech. Základní úlohou je řídit polohu kuličky pohybující se po elipsovité vodící dráze. Úloha je řízena za pomoci integrovaného prostředí MATLAB.

Klíčová slova: Laboratorní model, automatické řízení, nelineární systém, výuka

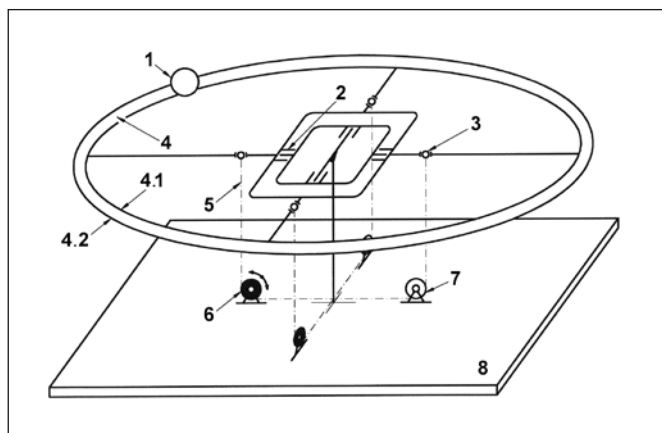
1. ÚVOD

Vlivem prudkého vědecko-technického vývoje spojeného s rozvojem číslicové techniky dochází i ke změně požadavků na znalosti absolventa vysoké školy s technickým zaměřením. Studium automatického řízení se stává nedílnou součástí studia na těchto školách. Na strojní fakultě ČVUT v Praze jsou se základy automatického řízení všichni studenti seznamováni ve 3. ročníku studia. Ve vyšších ročnících jsou pak s automatickým řízením podrobně seznámeni studenti magisterského studijního programu ve studijním oboru Přístrojová a řídicí technika. Studenti bakalářského studijního programu si prohloubí své znalosti v této oblasti na studijním oboru Informační a automatizační technika. Kromě přednášek a teoretických cvičení jsou nedílnou součástí výuky i praktická cvičení v laboratoři automatického řízení, kde studenti mají možnost prakticky aplikovat své teoretické znalosti. Pro experimentální výuku jsou v laboratoři k dispozici modely, které umožňují studentům získat praktické zkušenosti z oblasti logického, analogového a číslicového řízení. Vzhledem k prudkému rozvoji číslicové techniky je však nutné starší modely a řídicí systémy nahrazovat novými, odrážející aktuální stav techniky. Kvůli finanční náročnosti této obměny byla dána přednost vlastní tvorbě nových modelů před nákupem již hotových úloh. Většina těchto nových úloh, speciálně zaměřených na výuku automatického řízení, byla navržena a vyrobena v Ústavu přístrojové a řídicí techniky, odboru automatického řízení a inženýrské informatiky, viz [2]. Na vlastní realizaci se významným způsobem přitom podíleli studenti při řešení svých diplomových prací nebo v rámci spolupráce při řešení projektů ústavu. Mezi základní finanční zdroje využitě pro vývoj laboratoře automatického řízení lze zařadit podporu z Fondu rozvoje vysokých škol, Grantové agentury České republiky a v neposlední řadě i podporu sponzorů, ať již šlo o podporu finanční nebo materiální.

K nejnovějším originálním laboratorním úlohám pro demonstrační a vzdělávací účel patří model nazvaný „Kulička na elipse“, který byl navržen v Ústavu přístrojové a řídicí techniky. Na základě zadaného ideového návrhu modelu byla konstrukce laboratorního modelu řešena v diplomové práci [3]. Laboratorní model byl vyroben na strojní fakultě ČVUT v Praze díky finanční podpoře GA ČR v rámci projektu „Konsorciální přístup k vývoji experimentálních modelů“.

2. POPIS LABORATORNÍHO MODELU

Model „Kulička na elipse“ umožňuje pomocí dvou akčních členů řídit polohu ocelové kuličky pohybující se ve vodící dráze (vedení) ve tvaru elipsy, viz schéma na obr. 1. Akčními členy jsou vysoce spolehlivé servomotory HS 422. Vodící dráha, ve které se odvaluje kulička, je tvořena speciální kombinací odporového a snímacího vodiče. Jako odporový vodič je zvolen drát o průměru 0,6 mm z materiálu s obchodním označením kanthal A, snímacím



Obr. 1 Schéma laboratorního modelu
(1 – pozlacená ocelová kulička, 2 – rotační vazba, 3 – kulový kloub, 4 – eliptická dráha, 4.1 – odporový vodič (kanthal A), 4.2 – snímací vodič (pozlacená mosaz), 5 – vinuté ocelové lanko, 6 – servomotor HS 422, 7 – kladka, 8 – základní deska (lignostone H II/2 P))

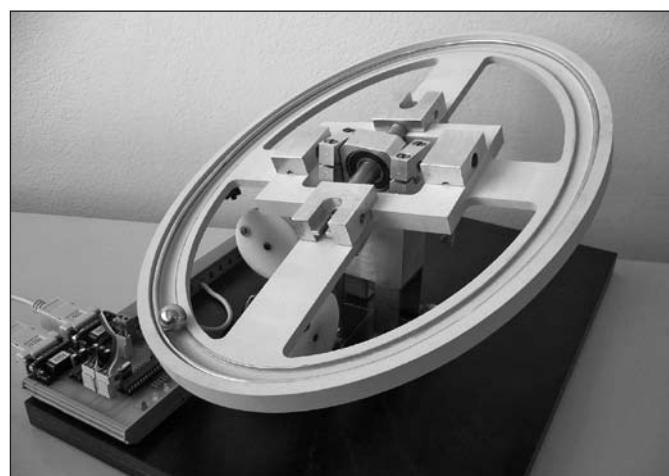
vodičem je pozlacený mosazný drát průměru 4 mm. Princip změny polohy kuličky spočívá v natočení vodící dráhy s kuličkou tak, že se kulička samovolně pohybuje vlivem působení gravitační síly. Rozměr zastavěné plochy úlohou je 400 x 300 mm.

Z kinematického hlediska vykonává eliptická dráha (4) s kuličkou (1) sférický pohyb. Jeho realizace je řešena kardanovým kloubem. Rotační vazby jsou realizovány pomocí jednoho centrálně umístěného dvouřadého kuličkového ložiska 3202 umožňujícího rotaci v jedné ose a dvou jednořadých kuličkových ložisek 618/8 umožňujících rotaci v ose druhé, kolmé na první. Pohon pak zajišťují výše zmíněné servomotory HS 422 (6) umístěné v osách kardanu. Převod mezi naklopením eliptické dráhy a natočením hřídelky servomotoru je v poměru 1:2, čímž je zvýšena přesnost polohování a sníženo momentové zatížení motorků. Převod není lineární, v oblasti malých úhlů jsou však odchylky od linearity zanedbatelné (nepřesnost převodu činí méně než 7° při naklopení o úhel 10°). Pro řízení a regulaci polohy kuličky se přitom používají úhly natočení eliptické dráhy menší než 5°. Realizace pohybu eliptické dráhy je rovněž navržena s ohledem na vymezení vůlí, které by do systému vnášely nežádoucí nelinearitu. Díky typu zvolené konstrukce se jediná vůle vyskytuje pouze ve vnitřním uložení servomotoru.

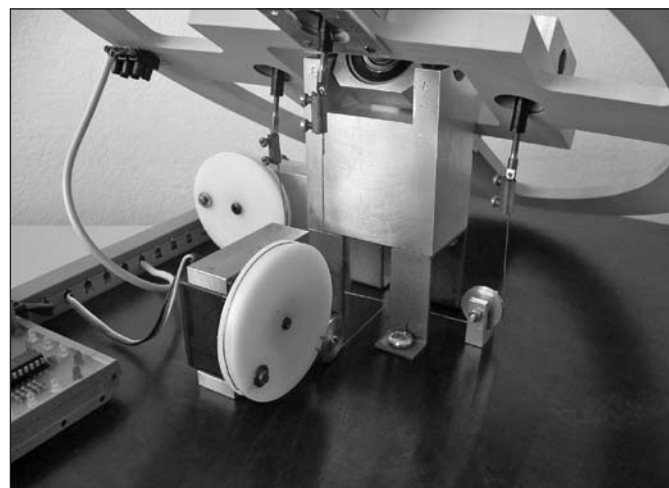
Aktuální poloha ocelové kuličky je zjišťována pomocí odporového drátu kanthal A (4.1) s měrným odporem $\rho = 1,39 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$,

po kterém se kulička (1) odvaluje. V principu se jedná o potenciometr, kde kulička zastupuje pomyslný jezdec. Odporový drát je napájený stejnosměrným napětím a kulička dotykem převádí napětí z odporového drátu na snímací. Toto napětí jednoznačně definuje polohu kuličky, jeho velikost je přímo úměrná poloze kuličky, regulované veličině. Napájecí napětí (2,2 V) je omezeno maximálním protékáním proudem, při kterém se odporový vodič ještě nezahřívá. Vhodnou kombinací odporového (4.1) a snímacího vodiče (4.2) je minimalizována úroveň šumu. Oproti první verzi je u nového modelu ozlacen snímací vodič, kterým zůstává mosazný drát průměru 4 mm. Nově byla pozlacena i ocelová kulička. Tím je téměř odstraněna oxidace zvyšující přechodový odpor mezi vodiči a kuličkou a značně zvýšena kvalita získaného signálu. Minimalizovaná úroveň šumu je dále ještě potlačena v dolnoprostupném filtru v podobě kondenzátoru umístěného paralelně ke kuličce. Motorčky jsou polohovány pomocí pulsně-šifkové modulace (PWM). Celkový pohled na modelu „Kulička na elipse“ je uveden na obr. 2. Konstruktivní řešení převodů, uchycení elipsovitě dráhy a servomotory jsou vidět na detailním záběru modelu uvedeného obr. 3.

S požadavkem na dobré dynamické chování úlohy je nutná nízká hmotnost všech pohyblivých částí. U součástí, které musí být kovové (ať už z důvodu tuhosti systému nebo pevnosti reali-



Obr. 2 Celkový pohled na laboratorní model



Obr. 3 Detailní pohled na laboratorní model

zovaného spojení) je použit dural, celá horní deska ve tvaru elipsy je pak provedena z materiálu s obchodním označením SikaBlock® M 550, který má nízkou hustotu ($0,70 \text{ g/cm}^3$), dostačující tuhost, je nevodivý a velmi dobře obrobiteľný na číslicově řízených strojích. V původním prototypu byl použit materiál SikaBlock® M 450 (hustota $0,45 \text{ g/cm}^3$), který je v současné úloze nahrazen pevnější variantou s vyšší tuhostí. Touto volbou sice vzrostla hmotnost pohyblivých se částí úlohy, nicméně po předchozích praktických zkušenostech se servomotory HS 422 bylo možno ke zvýšení robustnosti mechanické části úlohy bez obav přistoupit.

3. ÚČEL LABORATORNÍHO MODELU

Laboratorní model „Kulička na elipse“ je určen jak pro praktickou výuku automatického řízení, tak i pro testování moderních algoritmů řízení. Základní úlohou u tohoto modelu je řídit pozici kuličky odvalující se po eliptické dráze. Při návrhu řízení studenti řeší problémy spojené s identifikací, modelováním a řízením tohoto nelineárního systému se dvěma vstupy a jedním výstupem. Při identifikaci modelu pro potřebu návrhu řízení hledají matematický popis modelu využitím matematicko-fyzikální analýzy nebo pomocí experimentální identifikace. Následně pak vytvářejí počítačový model reálné úlohy a ověřují si shodu chování reálného systému s jeho počítačovým modelem. Využitím získaného popisu reálného systému navrhují následně algoritmy a parametry vhodné pro řízení laboratorního modelu. Navržené řízení mohou studenti nejprve simulačně ověřit na počítačovém modelu a následně pak odzkoušet na reálném modelu „Kulička na elipse“. Kromě základních strategií řízení je model využívám i pro testování moderních algoritmů řízení vzniklých při řešení diplomových, disertačních, habilitačních prací a projektů vb Ústavu přístrojové a řídicí techniky.

4. ZÁVĚR

Energetická nenáročnost, bezpečnost, tichý chod, snadná přenositelnost, funkční jednoduchost a design laboratorní úlohy „Kulička na elipse“ předurčuje úlohu především ke vzdělávacím a prezentačním účelům pro oblast automatického řízení. Laboratorní model byl patentován jako užitečný vzor [1]. O model projevil již zájem další technické univerzity. Atraktivita úlohy přispěla i zájmu firmy dataPartner s.r.o., která zakoupila tento model pro prezentaci vlastního řídicího systému a pro školení pořádaná touto firmou. Model byl vystaven na mezinárodním veletrhu elektrotechniky a elektroniky AMPER 2005.

Videozáznamy zachycující chování laboratorní úlohy „Kulička na elipse“ při řízení polohy kuličky je možné si prohlédnout v tzv. virtuální laboratoři automatického řízení, která je průběžně vytvářena na strojní fakultě ČVUT v Praze. Zde je také možné pomocí počítačové simulace a animace názorně demonstrovat chování reálné laboratorní úlohy. Virtuální laboratoř je dostupná všem zájemcům (nejen studentům) pomocí běžného internetového prohlížeče na adrese <http://www.fs.cvut.cz/cz/U210/AR>. V současné době je za podpory FRVŠ grantem č. 1394/F1 připravována virtuální laboratoř automatického řízení též v anglické, francouzské a německé verzi.

Literatura

- [1] Hofreiter M., Plhoň M.: *Názorná pomůcka, zejména pro rozbor dynamiky pohybu kuličky na dráze*, užitečný vzor, PUV 2003-14340, O.Č. 13644, zapsáno 8. 9. 2003.
- [2] Hofreiter M.: *Netradiční laboratorní modely pro výuku automatického řízení*, Automatizace, str. 10-11, roč. 49, č. 1, 2006.
- [3] Plhoň M.: *Laboratorní model „Kulička na elipse“*, diplomová práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2003.

Prof. Ing. Milan Hofreiter, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 224 352 566, e-mail: Milan.Hofreiter@fs.cvut.cz

Ing. Michal Plhoň, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6, tel.: 224 352 647, e-mail: Michal.Plhon@fs.cvut.cz

Vyhodnocení interferenčního pole elektronické korelační interferometrie metodou Fourierovy transformace

Příspěvek popisuje kvantitativní analýzu pole interferenčních proužků získané aplikací elektronické korelační interferometrie pro měření deformačního profilu tenké ocelové desky. Pro zpřesnění výpočtu fázové funkce byl změnou optické dráhy předmětového svazku vnesen mezi interferující vlny známý fázový posun, který dal vzniknout tzv. nosným interferenčním proužkům (spatial-carrier fringes). Metoda Fourierovy transformace byla aplikovaná pro výpočet hodnot fázové funkce odpovídající velikosti posunutí povrchových bodů ve směru normály k povrchu zkoumaného objektu.

Klíčová slova: Elektronická korelační interferometrie, fáze, Fourierova transformace, pole koherenční zrnitosti

ÚVOD

Elektronická korelační interferometrie (Electronic Speckle Pattern Interferometry) je optická interferometrická metoda převážně používána pro měření deformace difúzně odrazných objektů. Metoda je založena na porovnání polí koherenční zrnitosti (speckle patterns), která vznikají při interakci časově koherentního signálu s náhodnou funkcí difúzního povrchu.

Metoda je označována jako elektronická z důvodu záznamu polí koherenční zrnitosti ve formě elektronického signálu CCD nebo CMOS kamerou. Digitálním porovnáním polí koherenční zrnitosti, odpovídající dvěma stavům zkoumaného objektu (zatíženého a nezatíženého), získáme pole interferenčních proužků, tzv. interferogram.

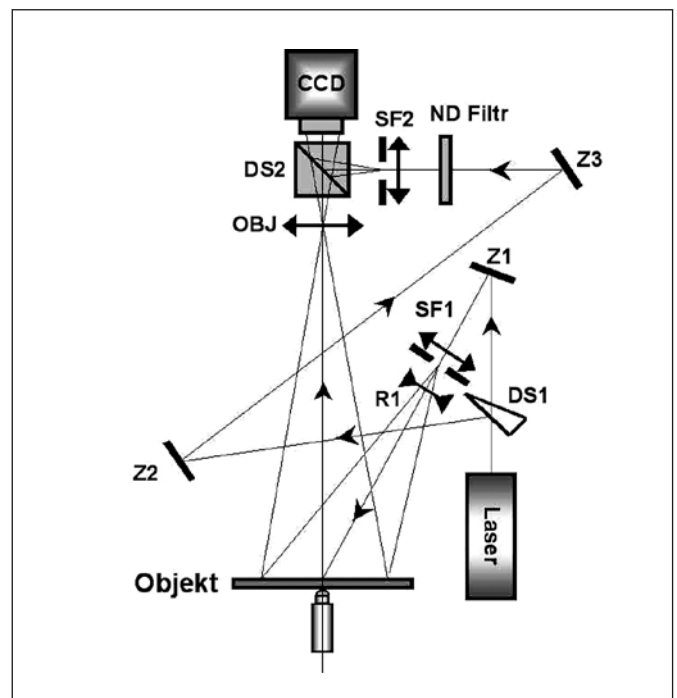
Kvantitativní analýzou interferogramu lze vypočítat přesné hodnoty posunutí povrchových bodů zkoumaného objektu, resp. jeho deformační profil. Dříve velmi často používané intenzitní metody pro vyhodnocování interferogramu nenabízely dostatečnou přesnost vyhodnocování, jakou by si jistě optické interferometrické metody pracující s přesností $\lambda/10$ zasloužovaly. Nevýhody intenzitních metod spočívaly v nepřesnosti určování středu interferenčních proužků nebo v nejednoznačnosti určení smyslu fázových změn.

V článku se budeme věnovat kvantitativní analýze interferenčního pole metodou Fourierovy transformace s cílem vypočítat velikost posunutí povrchových bodů normálově zatěžované desky. Pro zpřesnění výpočtu fázové funkce byl změnou optické dráhy předmětového svazku vnesen mezi interferující vlny známý fázový posun, který dal vzniknout tzv. nosným interferenčním proužkům (spatial-carrier fringes). Tenká ocelová deska tloušťky 1 mm o rozměrech 240 x 240 mm byla ve svém geometrickém středu staticky zatížena ocelovou kuličkou umístěnou v čele mikrometrického šroubu.

OPTICKÉ UPOŘÁDÁNÍ PRO ZÁZNAM POLÍ KOHERENČNÍ ZRNITOSTI

S ohledem na čistě normálové zatížení ocelové desky bylo zvoleno takové optické uspořádání – viz. obr. 1, které je citlivé k posuvům objektu ve směru normály k povrchu zkoumané desky.

Světelný svazek He-Ne laseru je klínovým děličem světla DS1 rozdělen na předmětový a referenční svazek. Předmětový svazek prochází děličem světla DS1, odráží se od zrcadla Z1 a je filtrován a rozšířen prostorovým filtrem SF1. Před dopadem na ocelovou desku svazek prochází rozptylkou R1, jejímž posunutím ve směru kolmém na směr šíření svazku je mezi interferující vlny vneseno fázové posunutí. Po odrazu od difúzně odrazného povrchu ocelové



Obr. 1 Optické uspořádání pro záznam polí koherenční zrnitosti

desky vstupuje předmětový svazek do objektivu OBJ, přičemž velikost clony objektivu má přímý vliv na velikost průměru zrn pole koherenční zrnitosti. Předtím než je předmětový svazek zaznamenán CCD kamerou, je děličem světla DS2 interferometricky přidán k vlně referenční. Vlna referenční, která vznikla odrazem na klínovém děliču světla DS1, je pomocí zrcadel Z2 a Z3 nasměrována do prostorového filtru SF2 a následně je pak děličem světla DS2 přidána k předmětovému svazku. Vzájemný poměr intenzit předmětového a referenčního svazku je regulován šedým filtrem ND Filtr v rameni referenční větve.

Záznam polí koherenční zrnitosti je CCD kamerou s rozlišením 768 x 576 proveden dvakrát. Nejdříve je zaznamenáno pole koherenční zrnitosti odpovídající nezatíženému objektu. Druhý záznam je proveden až po posunutí rozptylky R1 a prohnutí ocelové desky otočením mikrometrického šroubu.

Jak již bylo zmíněno, velikost clony objektivu OBJ má přímý vliv na velikost spekových zrn. Pro vztah mezi clonovým číslem c objektivu a průměrem d spekového zrna pro vlnovou délku světla λ platí

$$d = 1,22\lambda c. \quad (1)$$

Aby výsledné pole interferenčních proužků mělo dostatečný kontrast, musí být průměr spekových zrn d , resp. clonové číslo c , správně zvoleno s ohledem na velikost CCD buňky (8,3 μm x 8,3 μm) použité kamery. Dle [2] by velikost CCD buňky měla být menší než je velikost spekového zrna.

ZÍSKÁNÍ POLE INTERFERENCEČNÍCH PROUŽKŮ ODEČTENÍM POLÍ KOHERENČNÍ ZRNITOSTI

Intenzitní obraz, který byl elektronicky zaznamenán před zatížením předmětu, označme jako $I_{\text{Nezatížený}}$. Intenzitní obraz zaznamenaný po zatížení předmětu a posunutí rozptylky v předmětové větvi označme $I_{\text{Zatížený}}$. Požadované pole interferenčních proužků získáme odečtením těchto dvou intenzitních polí.

Pro komplexní amplitudu předmětové vlny U_{obj} vyjádřenou pro nezatížený stav předmětu a komplexní amplitudu referenční vlny U_{ref} platí:

$$U_{\text{obj-Nezatížený}} = a_{\text{obj}} \exp(i\phi_{\text{obj}}), \quad (2)$$

$$U_{\text{ref}} = a_{\text{ref}} \exp(i\phi_{\text{ref}}), \quad (3)$$

kde a_{obj} je amplituda a ϕ_{obj} fáze předmětové vlny šířící se odrazem od povrchu předmětu v jeho počátečním stavu. Amplituda a_{ref} a fáze ϕ_{ref} odpovídá referenčnímu světelnému svazku. Výsledná intenzitní pole v rovině CCD detektoru při záznamu pole koherenční zrnitosti odpovídající nezatíženému předmětu, je rovna

$$I_{\text{Nezatížený}} = |U_{\text{obj}} + U_{\text{ref}}|^2 = I_{\text{obj}} + I_{\text{ref}} + 2\sqrt{I_{\text{obj}}I_{\text{ref}}}\cos(\phi), \quad (4)$$

kde veličina $\phi = \phi_{\text{ref}} - \phi_{\text{obj}}$ reprezentuje rozdíl fází interferujících vln.

Zatížením předmětu se výraz pro komplexní amplitudu předmětové vlny, viz. rov. 2, změní na tvar

$$U_{\text{obj-Zatížený}} = a_{\text{obj}} \exp[i(\phi_{\text{obj}} + \Delta\phi)], \quad (5)$$

kde veličina $\Delta\phi$ vyjadřuje změnu fáze, která je způsobená deformací předmětu ve směru jeho normály a posunutím rozptylky v předmětové větvi.

Výsledná intenzita světla v rovině detektoru při záznamu zatíženého předmětu je potom rovna

$$I_{\text{Zatížený}} = |U_{\text{obj}} + U_{\text{ref}}|^2 = I_{\text{obj}} + I_{\text{ref}} + 2\sqrt{I_{\text{obj}}I_{\text{ref}}}\cos(\phi - \Delta\phi). \quad (6)$$

Při záznamu intenzitních polí $I_{\text{Nezatížený}}$, $I_{\text{Zatížený}}$ nedojde ke vzniku interferenčních proužků. Pro jejich získání musíme zaznamenaná intenzitní pole vzájemně odečíst

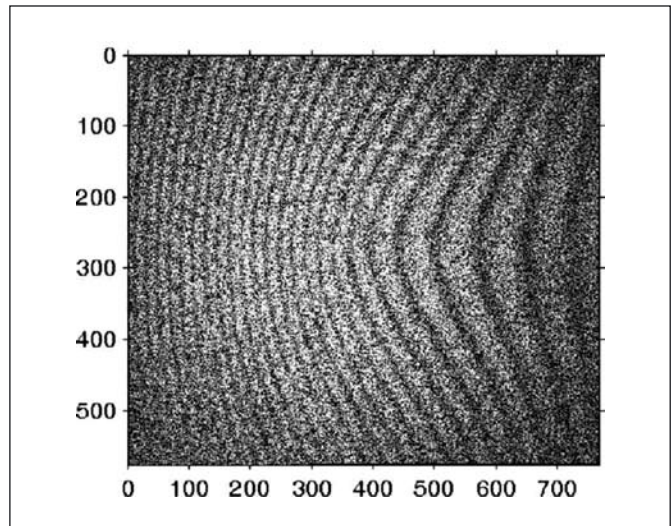
$$I = |I_{\text{Nezatížený}} - I_{\text{Zatížený}}| = 4\sqrt{I_{\text{obj}}I_{\text{ref}}}\sin\left(\phi + \frac{\Delta\phi}{2}\right)\sin\frac{\Delta\phi}{2}. \quad (7)$$

Rovnice (7) popisuje modulaci nízkofrekvenčních interferenčních proužků ($\Delta\phi/2$) vysokofrekvenčním šumem $\sin(\phi + \Delta\phi/2)$.

METODA FOURIEROVY TRANSFORMACE

Interferenční pole, získané odečtením dvou interferenčních polí v optickém uspořádání elektronické korelační interferometrie, je zobrazeno na obr. 2. Na tvar interferenčních proužků má vliv jak normálové zatížení ocelové desky, tak změna optické dráhy předmětového svazku. Tento intenzitní obraz lze popsat rovnicí

$$I(x, y) = a(x, y) + b(x, y)\cos[\phi(x, y) + 2\pi f_o x], \quad (8)$$



Obr. 2 Pole interferenčních proužků získané elektronickou korelační interferometrií

kde a je střední hodnota intenzity obrazu, b je intenzita modulovaná fázovým členem, $\phi(x, y)$ je fázová funkce, jejíž velikost je přímo úměrná výchylce bodů ocelové desky a f_o je nosná frekvence způsobená změnou optické dráhy předmětového svazku.

Dle Eulerových vztahů lze rovnici (8) přepsat na tvar

$$I(x, y) = a(x, y) + c(x, y)\exp(2\pi i f_o x) + c^*(x, y)\exp(-2\pi i f_o x), \quad (9)$$

kde (*) značí číslo komplexně sdružené a

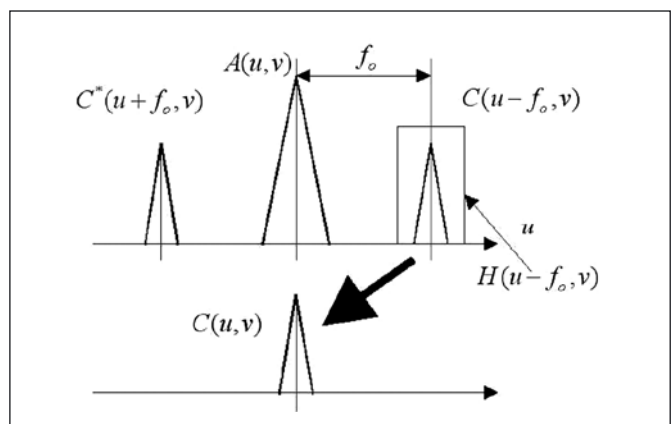
$$c(x, y) = 1/2 b(x, y)\exp[i\phi(x, y)]. \quad (10)$$

Před Fourierovou transformací intenzitního obrazu je vhodné nejdříve obraz vynásobit dvourozměrnou funkcí tzv. Hanningovým oknem, aby se eliminoval vliv nespojitosti interferenčních proužků na krajích intenzitního obrazu. Po této filtraci je intenzitní obraz popsán rovnicí (9) transformován dvourozměrnou Fourierovou transformací na tvar

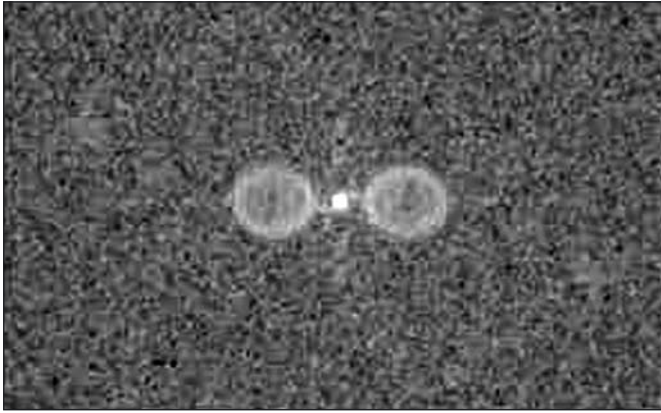
$$I(u, v) = A(u, v) + C(u - f_o, v) + C^*(u + f_o, v), \quad (11)$$

kde u, v jsou prostorové frekvence.

Neboť prostorové frekvence členů $a(x, y)$, $b(x, y)$ a $\phi(x, y)$ jsou nižší v porovnání s nosnou prostorovou frekvencí f_o , jsou Fourierova spektra jednotlivých členů rovnice (11) posunuta o hodnotu f_o , jak je schematicky nakresleno v obr. 3, a reálné Fourierovo spektrum je zobrazeno v obr. 4.



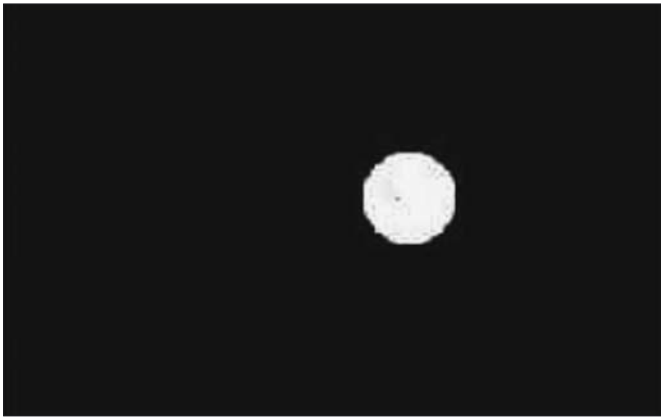
Obr. 3 Schematicky znázorněné členy Fourierova spektra interferenčního pole



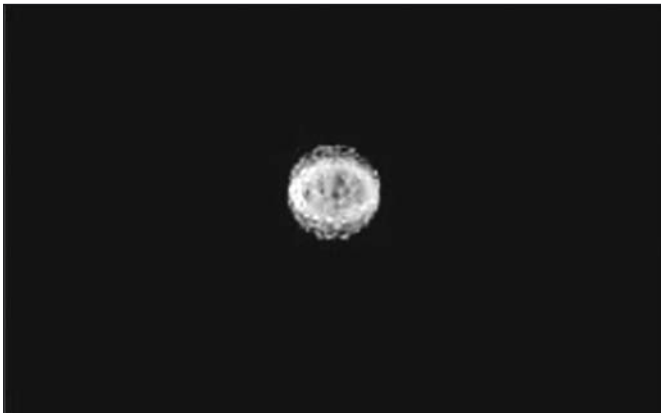
Obr. 4 Fourierova spektra interferenčního pole

Filtrací obrazu popsaného rovnicí (11) vhodně zvoleným filtrem $H(u-f_0, v)$ viz. obr. 5 – oddělíme člen $C(u-f_0, v)$ a jeho posunutím o frekvenci f_0 získáme funkci $C(u, v)$ – viz. obr. 6.

Zpětnou Fourierovou transformací funkce $C(u, v)$ získáváme komplexní funkci $c(x, y)$ popsanou vztahem (10), která bude použita při výpočtu fázové funkce $\phi(x, y)$.



Obr. 5 Intenzitní obraz filtru H



Obr. 6 Oddělený a posunutý člen C Fourierova spektra

VÝPOČET A ROZBALENÍ FÁZOVÉ FUNKCE

Dle rovnice (10) lze na základě Eulerových vztahů pro funkci $c(x, y)$ psát

$$c(x, y) = 1/2b(x, y)[\cos \phi(x, y) + i \sin \phi(x, y)]. \quad (12)$$

Reálná, resp. imaginární složka funkce $c(x, y)$ je rovna

$$\text{Re}[c(x, y)] = 1/2b(x, y)\cos \phi(x, y), \quad (13)$$

$$\text{Im}[c(x, y)] = 1/2b(x, y)\sin \phi(x, y), \quad (14)$$

Nyní můžeme vyjádřit dvourozměrnou fázovou funkci $\phi(x, y)$ na základě vztahů (13) a (14)

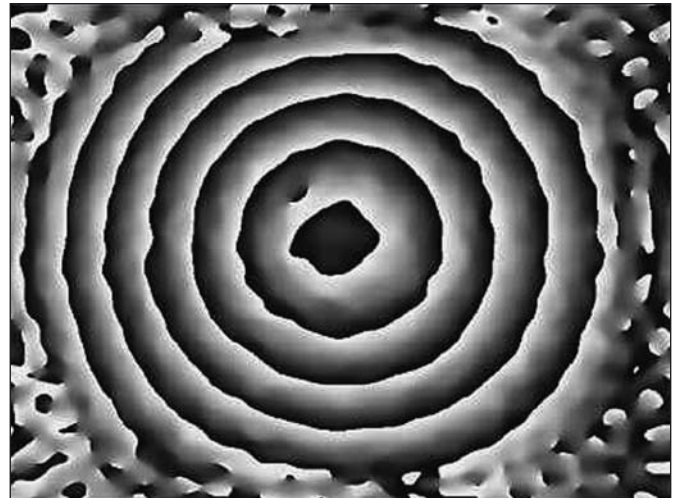
$$\frac{\text{Im}[c(x, y)]}{\text{Re}[c(x, y)]} = \frac{\sin \phi(x, y)}{\cos \phi(x, y)} = \text{tg}[\phi(x, y)],$$

$$\phi(x, y) = \arctan \frac{\text{Im}[c(x, y)]}{\text{Re}[c(x, y)]}. \quad (15)$$

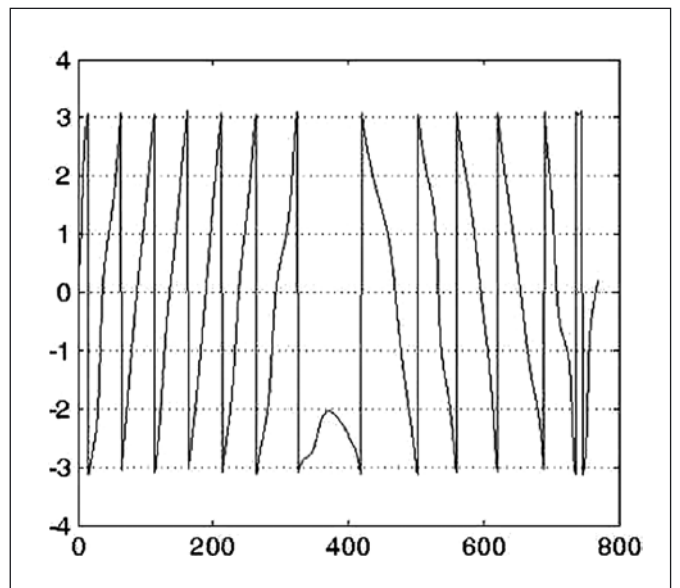
Na obr. 7 je vykreslena dvourozměrná fázová funkce $\phi(x, y)$, která je úměrná normálové deformaci tenké ocelové desky. Hodnoty fázové funkce spadají do intervalu $\langle -\pi, \pi \rangle$, o čemž se můžeme lehce přesvědčit vykreslením jasové funkce libovolného řádku z dvourozměrné fázové funkce – viz. obr. 8. Fázová funkce $\phi(x, y)$ vypočítaná vztahem (15) je matematicky 'zabalenou fází'. Výpočet reálné 'nezabalené fáze' spočívá v přičítání (odečítání) celistvých násobků 2π k fázi zabalené.

$$\phi_{\text{rozbalena}}(x, y) = \phi(x, y) \pm 2\pi k, \quad (16)$$

kde $k = 1, 2, 3, \dots$



Obr. 7 Dvourozměrná zabalená fázová funkce



Obr. 8 Jednorozměrná fázová funkce

Pro výpočet reálné dvourozměrné fázové funkce jsme použili vestavěnou funkci unwrap z knihoven prostředí Matlab. Tato funkce bohužel pracuje pouze s jednorozměrným signálem a proto nelze získat prostorový deformační profil ocelové desky.

Jednorozměrným vykreslením fázové mapy (viz. obr. 9) získáváme deformační profil normálově zatěžená ocelové desky, ze kterého lze odečíst maximální výchylku bodu ocelové desky $d = 4,3 \mu\text{m}$.

ZÁVĚR

Příspěvek se zabývá vyhodnocováním pole interferenčních proužků získané elektronickou korelační interferometrií pro měření deformačního profilu tenké ocelové desky. Fázová mapa, jejíž tvar a velikost je přímo úměrná výchylkám povrchových bodů, byla vy počtena metodou Fourierovy transformace. Pro zpřesnění výpočtu byl mezi interferující vlny vnesen fázový posun změnou optické dráhy předmětového svazku. Závěrečným krokem při zpracování interferenčního pole bylo rozbalení fázové mapy pomocí funkce z knihoven MATLABu. Použitím této funkce jsme nedosáhli uspokojivých výsledků, a proto bychom se dále chtěli věnovat vytvoření algoritmu pro rozbíjení fázových polí.

Poděkování

Příspěvek byl vypracován za podpory grantového projektu reg. č. 101/07/058 Grantové agentury ČR.

Literatura

- [1] Bajgar V.: Speklová holografická interferometrie dynamických jevů v mechanických soustavách pomocí kamery SONY 8500CE, Proceedings Dynamics of Machines 2003.
- [2] Rastogi P. K.: Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques, John Wiley & Sons 2001.
- [3] Cloud G.: Optical Methods of Engineering Analysis, Cambridge University Press 1998.
- [4] Fallstrom K. E., Molin N. E., Olofsson K.: A study of the deformation of a steel plate when impacted by a focused laser pulse.
- [5] Vest Ch. M.: Holographic interferometry, John Wiley & Sons 1979.
- [6] Kujawinska M.: Spatial phase measurement methods, In Interferogram Analysis, D. W. Robinson, G. T. Reid eds., Institute of Physics, Bristol, UK, 1993, pp. 141-193.
- [7] Kreis T., Digital holographic interference-phase measurement using the Fourier-transform method, Vol. 3, No. 6, June 1986, J. Opt. S.

Ing. Pavla Dvořáková, Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, e-mail: dvorakov@it.cas.cz

Ing. Vlastimil Bajgar, CSC., Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, e-mail: bajgar@it.cas.cz

Ing. Jan Trnka, CSC., Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, e-mail: trnka@it.cas.cz

Z dílny starých mistrů

(31. pokračování)



- Pro vnitřní stěny fotokomor se podle sdělení v „Camera Craft“ vytvoří takto: do 1 l vody se přidá 40 g glycerinu, 40 g boraxu a 80 g šelaku a tato směs se podrží na vysoké teplotě, dokud nedojde k úplnému rozpuštění komponent. Pak se přidá 100 g anilínové černě. Vzniklá hmota poskytuje pěkný, matově černý nátěr.
- Podle Buissona se zhotoví levný, černý, absolutně matně schnoucí lak pro fotokomory takto: Do litrové láhve se dá 70 – 100 g obyčejného šelaku s 50 g vinné černě nebo sazí; přidá se asi 1/4 litru denaturovaného lihu a směs se důkladně protřepe. Po rozpuštění barvy se litrová láhev doplní lihem a odstaví se na mírně teplé místo. Denně se roztok musí protřepávat, příp. míchat. Po 8 dnech je šelak rozpuštěný. Hotový roztok se přefiltruje přes jemnou hustou gázu a doplní na 1 l lihu. Tento lak je vhodný na černění dřeva (díly fotokomor, zásuvky kazet), stejně tak i k obnově vnitřních ploch. Pro kovy není tento lak vhodný. V takovém případě je vhodnější dřívě popsaný matově černý lak pro fotoaparáty. Pozn.: Révová čern – frankfurtská – vyrábí se destilací vinných kmenů za sucha (stejným způsobem se vyrábí čern jádrová ze skořápek kokosových ořechů, nebo čern korková z odpadků korku, dnes čern kostní z kostí, známá je i čern slonová z odpadků slonoviny). Popsaný lak lze nanášet po krátké přestávce i podruhé.
- Temně černá fermež k lakování vnitřních stěn fotokomor, objímek objektivů atd., která je po uschnutí matná, sestává ze směsi lihového roztoku šelaku a odpovídajícího množství lampové černě. Při větším množství šelaku však je po uschnutí nátěr lesklý. Několika zkouškami se stanoví správný poměr obou složek.
- Studená politura na kůži se zhotoví tímto postupem: Rozmělní se 12 dílů kožního klihu (z kolínského klihu) na jemný prášek, přidá se 20 dílů arabské gumy v prášku, 20 dílů cukru, 20 dílů včelího vosku nebo japonského vosku (nastrouhaného třeba rašplí), 4 díly granulované potaše a 24 g nigrosinu. Prášek před upotřebením se rozpustí v 10násobném množství vařící vody. Po vychladnutí roztoku je hotová černá apretura na kůži, která kartáčováním a třením získá vysoký lesk.
- Jiný prášek pro polituru vznikne smísením rozdrobených 48 dílů běleného šelaku, 26 dílů boraxu a 6 dílů glycerinu. K této hmotě lze přidat libovolná dehtová barviva – hlavně 10% nigrosin, jenž vytváří temnou čern. Hmota se před použitím rozpustí ve dvou až trojnásobném množství vařící vody.

Simulátor slunečního svitu pro testování optických rastrů

Rastry na bázi Fresnelovy optiky činné jako spojná válcová optika nebo hranoly nacházejí významné uplatnění v oblasti využití sluneční energie jako konstrukční prvky průsvitných střeš a fasád. Energetickou bilanci interiérů budov vybavených zmíněnými prvky lze simulovat výpočtem a ověřit experimentem organizovaným tak, aby se co nejpřesněji napodobily skutečné podmínky aktuální aplikace. K příslušným experimentům byl vyvinut uvedený simulátor, kterým lze nastavit úhel mezi přicházejícím zářením a normálou k prosklené ploše. Uvedené výsledky prokazují funkceschopnost navrženého zařízení.

Klíčová slova: Fresnelova optika, altazimutální montáž, sluneční energie, denní pohyb Slunce, detekce záření, prosklené fasády, skleněné střešy, střešní okna, vytápění budov, osvětlení interiéru.

ÚVOD - KONCEPCE SIMULÁTORU

Praktické využívání Fresnelových rastrů jak fokusujících, tak zejména hranolových, je závislé na přesnosti odhadu energetické bilance v interiéru objektů těmito systémy vybavených.

Již dříve (Čáp od r. 2000 do r. 2003) byly určeny horní limity transportované energie, které vycházely z dokonalého (ideálního) geometrického tvaru opticky účinných elementů. V důsledku hromadného způsobu výroby technologií kontinuálního lití skleněných tabulí však nelze očekávat, že tvar elementů bude ideální. Do energetické bilance negativně vstupují např. rádiusy hran a jiné nepřesnosti, zašpiněná vstupní rovná plocha interreagující s atmosférou a podobné efekty, které bilanci v konečném důsledku zhorší. Tyto změny lze kvantifikovat početně jen s velkými obtížemi, a proto je výhodné matematickou simulaci doplnit experimentem s využitím skutečného materiálu a věrohodnou simulací úhlu mezi směrem záření přicházejícího od Slunce a normálou k rastrovým tabulím.

Na základě této úvahy vznikla idea konstrukce simulátoru, kterým by bylo možné změřit skutečný transport energie rastrovým systémem. Zde je důležité poznamenat, že není potřeba se zabývat spektrální selektivitou skla, ani spektrálními vlastnostmi zdroje a detektoru záření, protože se jedná o relativní a nikoliv absolutní měření. Jde pouze o poměr intenzity záření prošlého rastroem a intenzity záření ničím neovlivněného.

Prvním konstrukčním celkem je kolimátor složený ze zdroje záření (halogenová žárovka), zpětného sférického zrcadla, kondenzoru, clony a kolimačního objektivu, kterým je Fresnelova čočka. Tento systém generuje soustavu svazků rovnoběžných paprsků s maximální vzájemnou divergencí $0,53^\circ$, což odpovídá podmínkám, za nichž přichází záření ze Slunce.

Je evidentní, že velmi významný vliv na množství energie prošlé do interiéru má úhel mezi normálou k rastru a směrem ke Slunci. Tento úhel je funkcí orientace rastru vůči světovým stranám, sklonu vůči rovině horizontu a denní či roční době.

K nastavení zmíněného úhlu je nevhodnější dvouosá montáž (osy jsou k sobě kolmé) zabezpečující nasměrování normály do libovolného úhlu v celém poloprostoru. Zde lze využít zkušeností z oblasti konstrukce astronomických dalekohledů, které se na podobné montáže instalují. Pro dané použití byla vyrobena vidlicová altazimutální montáž, která je nevhodnější a prostorově nejspornější.

Rozměry zařízení vyplynuly z rozměrů testovaných tabulí. Šířka základního modulu je 375 mm. Abychom byli na straně bezpečnosti, má svazek simulujícího záření průměr cca 450 mm.

Pro odstranění nebezpečí vinětače až do úhlu 45° při očekávané hloubce nosného rámu 40 mm se dostáváme na minimální světlost rámu 480 x 480 mm. Po konstrukčním zpracování byl rám vyroben z profilu 40 x 40 x 2 mm a vnějších rozměrech 570 x 570 mm.

Světlost vidlice je 600 mm a rám je uložen tak, aby průsečík obou kolmých os ležel v rovině testovaného rastru. Tím je z měření vyloučena paralaxa pro všechny úhly natočení.

Poloha detektoru je nastavitelná ve třech vzájemně kolmých souřadnicích, z toho ve dvou souřadnicích ručně s aretací. Třetí souřadnice je realizována lineárním vedením se stolkem s elektronickým odečtem souřadnice.

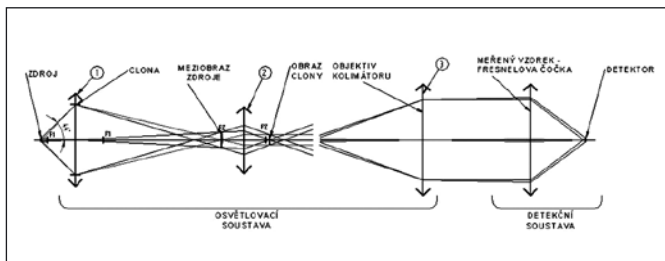
Uvedená koncepce, z technického hlediska podrobněji popsána v následujících kapitolách, splňuje všechny doposud známé požadavky na měření a je tak univerzální, že i eventuální rozšíření o další funkce je možné.

KOLIMÁTOR

Základním požadavkem kladeným na kolimátor je generování osvětlovacího svazku, který je - co se divergence týče - podobný svazku paprsků přicházejících od Slunce. Zdánlivý (úhlový) poloměr Slunce kolísá od minimální hodnoty $15'44''$ do maximální hodnoty $16'16''$. Jako střední hodnotu můžeme tedy brát $16'$ což je $0,267^\circ$ nebo též 4,65 miliradiánů. Dalším limitujícím parametrem kolimátoru je potřebný průměr svazku, který musí být dostatečný pro osvětlení celého modulu rastru. Velikost modulu je dána především velikostí válcových Fresnelových čoček, a proto je potřebné, aby měl svazek průměr přes 400 mm. Průměr svazku, který má kolimátor produkovat, je tedy značný. Proto bylo nutné vyřešit otázku vlastního objektivu kolimátoru tak, aby konstrukce byla únosná jak z hlediska cenového, tak z hlediska technického, neboť při daných rozměrech hraje význačnou roli hmotnost optiky. Proto byla nakonec vybrána rotační Fresnelova čočka lisovaná z plastu. Tato použitá optika sice nedosahuje zdaleka dokonalé kvality zobrazení, ale je i v těchto rozměrech lehká a cenově dostupná. Výsledná volba padla na výrobek Edmund Optics s ohniskovou vzdáleností $24''$ (609,3 mm) a průměrem $18,2''$ (463,6 mm). Čočka má u krajů výraznou barevnou vadu, nicméně pro dané použití představuje vyhovující kompromis.

Z parametrů této čočky použité jako kolimační objektiv pak vyplynuly požadavky na osvětlovací soustavu. Nároky na ni jsou značně vysoké, a proto bylo použito Köhlerovy dvoučlenné soustavy s mezizobrazením zdroje světla (*obr. 1*). Tato soustava se

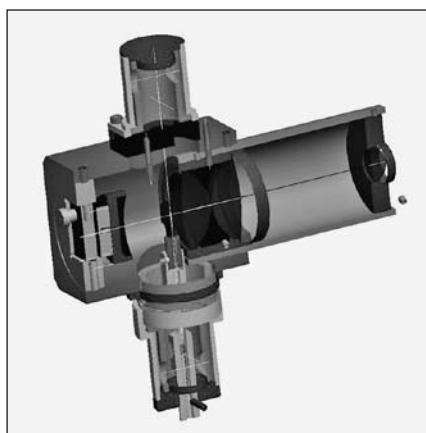
běžně používá například v osvětlovacích soustavách mikroskopů právě pro možnost dosažení značně rozbíhavých svazků. I při této konstrukci jsou na první člen soustavy kladeny velké nároky co se lámavosti (krátká ohnisková vzdálenost) a poměrně velkého průměru týče, a proto je konstruován jako složený ze dvou čoček. Všechny tři optické členy kondenzoru jsou realizovány sférickými čočkami buď ploškovypuklými nebo s velkým poměrem poloměrů křivosti, které poskytují přijatelně malé optické vady při výrazně nesymetrickém chodu paprsků. Zbývajícím optickým členem osvětlovací soustavy je kulové zrcátko umístěné za žárovkou, které umožňuje lepší využití světelného toku ze zdroje.



Obr. 1 Optické schéma kolimátoru

Pro dosažení divergence korespondující s divergencí slunečních svazků leží v předmětové ohniskové rovině kolimačního objektivu obraz kruhové clony, který má průměr 5,7 mm. Potom paprsek procházející okrajem obrazu clony a středem kolimačního objektivu svírá s optickou osou právě úhel zdánlivého poloměru Slunce. Aby byl výstup rovnoměrně prosvětlen, je zdroj světla osvětlovací soustavou kolimátoru zobrazen do vstupní pupily kolimačního objektivu, která je v tomto případě tvořena objímkou Fresnelovy čočky. Jako zdroje světla je použito halogenové žárovky, jejíž vlákno má rozměry přibližně 2 x 1 mm.

Vlastní mechanická konstrukce vychází z válcového tubusu, v němž jsou v objímkách umístěné jednotlivé optické členy a pro justážní účely pohyblivě uložená patice žárovky (obr. 2). Ta je uložena na pružném kloubu, který je z boků dotlačován justážními šrouby. Také kulové zrcadlo je uloženo na naklápěcím závěsu. Žárovka je chlazena nucenou ventilací. Konstrukce nesoucí jak vlastní objektiv (Fresnelovu čočku), tak osvětlovací soustavu, je zhotovena z hliníkových profilů modulární stavebnice ITEM.



Obr. 2 3D pohled na optickou soustavu

NOSIČ DETEKTORU

Detektorová část slunečního simulátoru plní dvě důležité funkce:

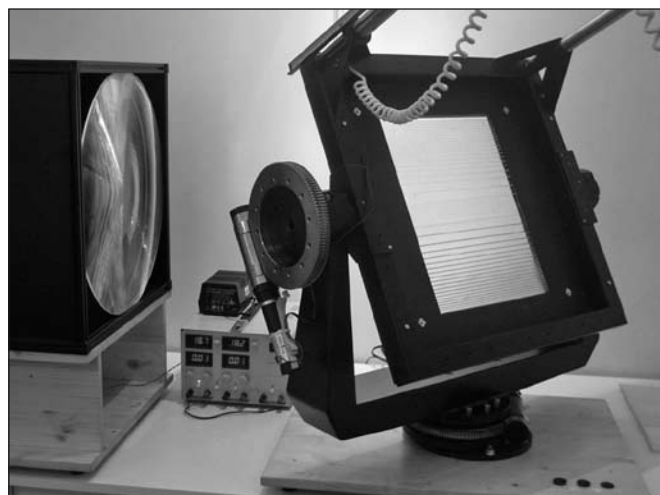
a) Umožňuje nastavení úhlu mezi optickou osou kolimátoru a normálou k rovině rastru určeného k umístění na střeše nebo na stěně projektované budovy. Tento úhel je funkcí orientace projek-

tované budovy, sklonu střechy, denní a roční doby. Tyto zadané parametry jsou po potřebném výpočtu transformovány na azimut a výšku a nastaveny servomechanismy na altazimutální vidlicové montáži, která nese rám s upevněnými vzorky rastrů.

b) Nese servomechanismem poháněné lineární vedení se stolcem s detektorem, který skenuje intenzitu záření ve vhodné vzdálenosti od rastru.

POPIS KONSTRUKCE

Konstrukčním základem detektorové části je altazimutální vidlicová montáž zabezpečující nastavení rámu se vzorkem rastru v azimutu a výšce do náležitého směru (obr. 3).



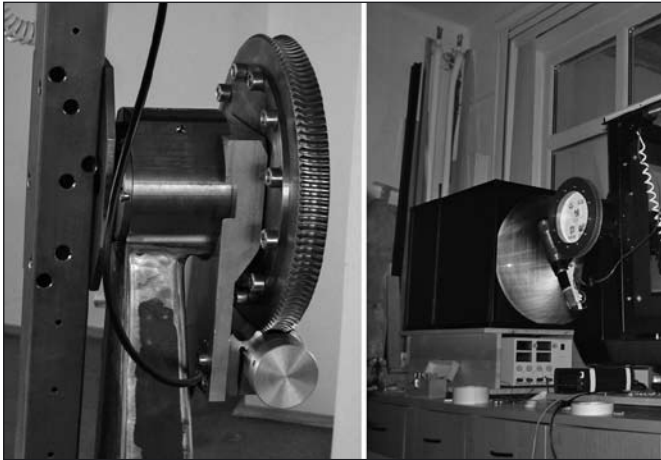
Obr. 3 Celkový pohled na altazimutální montáž s otočným rámem pro upínání měřených rastrů

Rotaci vidlice v azimutu zabezpečuje dvouřadé kuličkové ložisko s kosohlým stykem 3212 uložené mezi dvěma přírubami. Spodní příruba je spojena s rámem zařízení, horní příruba nese šnekové kolo a druhou přírubu, na kterou je přivařena vidlice (obr. 4). Vidlice je svařena z ocelového plechu o tloušťce 4 mm z částí vyřezaných z tabule vodním paprskem. Struktura svařence vytváří uzavřený obdélníkový profil s mírně proměnným průřezem. Takto je zajištěna potřebná tuhost konstrukce vůči namáhání ohybem a krutem. Horní konce vidlice jsou uzavřeny ložiskovými pouzdry, která byla při svařování držena přípravkem zabezpečujícím souosost obou pouzder. Osa definovaná oběma pouzdry je výšková osa montáže, kolem které může rotovat rám se vzorky.



Obr. 4 Detail šnekového převodu 1:120, $m = 1,6$ pro pohon azimutální osy altazimutální montáže

Ložisková pouzdra se liší délkou. Do kratšího pouzdra je vloženo dvouřadé kuličkové naklápěcí ložisko 2206, jehož čep nese přivařený L-profil umístěný tak, aby průsečík výškové i azimutální osy ležel v upínací rovině vzorků. Toto řešení vylučuje vznik paralaxy při rotaci rámu kolem obou os. Rám je k L-profilu přišroubován. Do víček uzavírajících pouzdro z obou stran jsou vloženy simerinky, takže ložisko lze promazat plastickým mazivem bez nebezpečí úniku maziva z ložisek (obr. 5).



Obr. 5 Detail šnekového převodu 1:120, $m = 1,6$ pro pohon výškové osy altazimutální montáže

Do delšího pouzdra je vložen stejný systém jako v předcházejícím případě a navíc je tam instalováno dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 3206. Čep v tomto ložisku má přivařenou desku pro přišroubování šnekového kola. O 9 mm vyčnívající vnější kroužek ložiska (nad rovinu pouzdra) zabezpečuje centráž a správnou polohu konzoly pro pouzdro šneku. Oba čepy jsou kinematicky svázány Oldhamovou spojkou, jejíž hřídelové kotouče jsou našroubovány na čepy kuličkových ložisek, čímž je zároveň axiálně jisti. Šroubové spojení je proti uvolnění jištěno svěrně do závitů a po provozních zkušenostech dále zajištěno radiálním šroubem. Vnitřní prostor pouzdra je opět uzavřen simerinky ve víčkách.

Pohon os azimutu a výšky je identický. Bronzová šneková kola mají počet zubů $z = 120$ a modul $m = 1,6$ při šířce kola 20 mm. Hlavový průměr šneku je 30 mm. Pouzdro šneku má pružný kloub, s jehož pomocí lze vymezit vůli v ozubení nastavením



Obr. 6 Souřadnicový systém X, Y a Z pro popis polohy detektoru. Pohyby v souřadnicích X a Y nejsou motorické, vedení jsou v potřebné poloze držena svěrnými spojeními. K odměřování souřadnic jsou použita běžná ocelová měřítka

osové vzdálenosti šneku a šnekového kola. Dále je jeho součástí distanční pouzdro, které nese servomotor MAXON s integrovanou převodovkou a elektronickým měřením úhlu natočení. Servomotor a šnek jsou spojeny Oldhamovou spojkou.

Čtvercový rám pro upínání rastrů je vyroben z nerezového kartáčovaného jeklova profilu 40 x 40 x 2 mm. V horních rozích jsou kolmo k funkční rovině upínacího rámu vetknuty broušené nerezové trubky kruhového průřezu 30 x 2 mm. Na těchto trubkách jsou ručně nastavitelná a aretovatelná vodící pouzdra nesoucí příčný nosník vyrobený z broušeného nerezového jeklova profilu 40 x 40 x 2 mm. Po tomto profilu se pohybuje ručně nastavitelná aretovatelná konzola nesoucí recirkulační lineární vedení fy. Schneberger se stolem, na kterém je instalován detektor. Pohyb stolku zabezpečuje stejný servomotor MAXON.

Kruhové trubky, příčný nosník a lineární vedení slouží k realizaci souřadnicového systému X, Y a Z. Souřadnice se odměřují na příslušných měřítkách s odlišně číslovanými škálami, aby se zabránilo vzniku chyb při přiřazení číselných údajů a skutečných souřadnic (obr. 6).

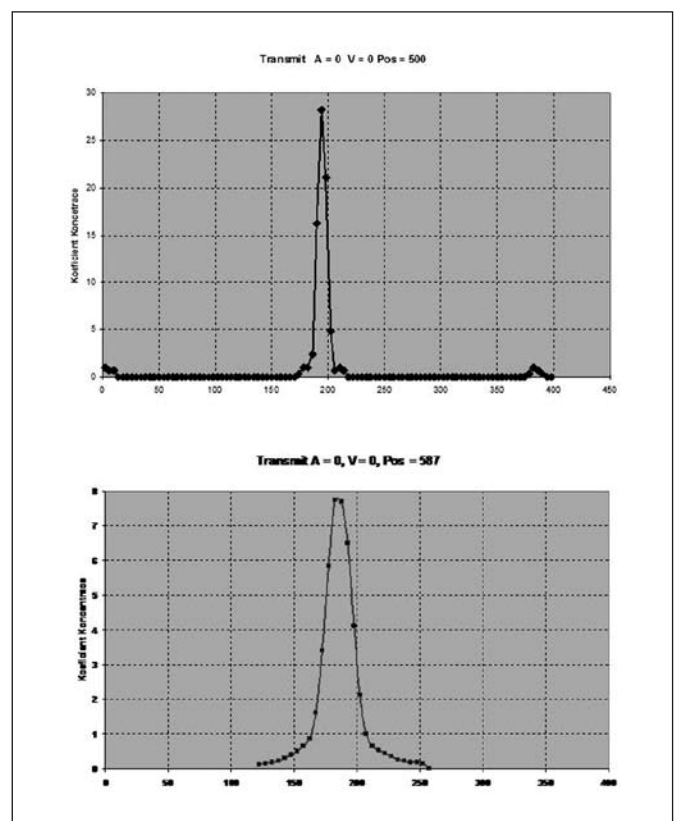
MĚŘENÍ

Ihned po ukončení montážních prací byly podniknuty první zkoušky a testy měřicích postupů pro oba typy rastrů. Protože funkce rastrů je popsána matematickou simulací, bylo žádoucí porovnat výsledky teoretických úvah s výsledky experimentů.

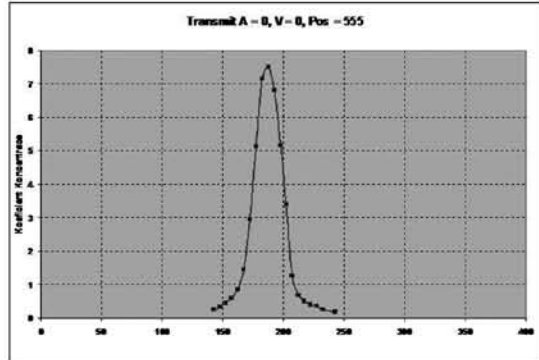
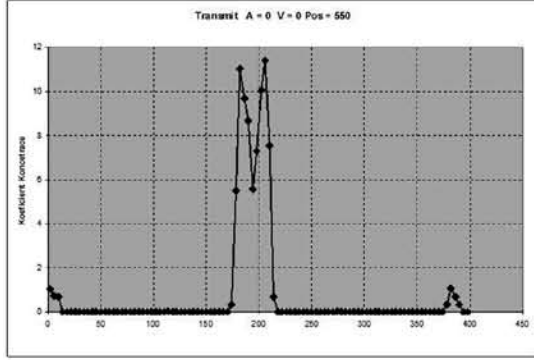
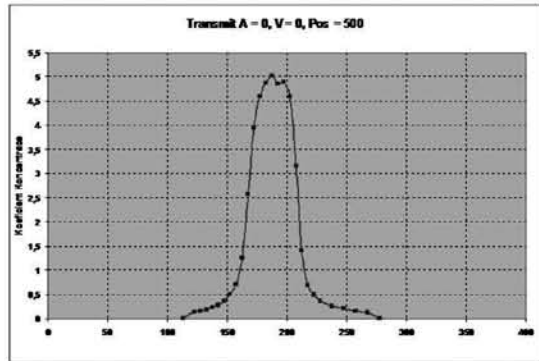
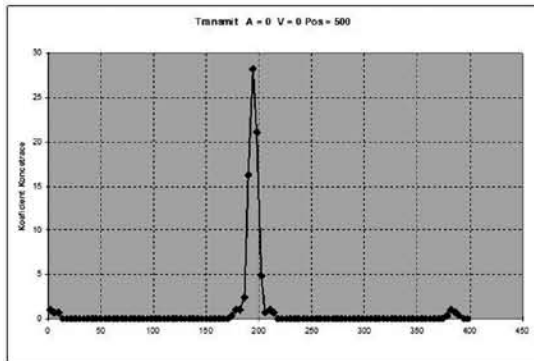
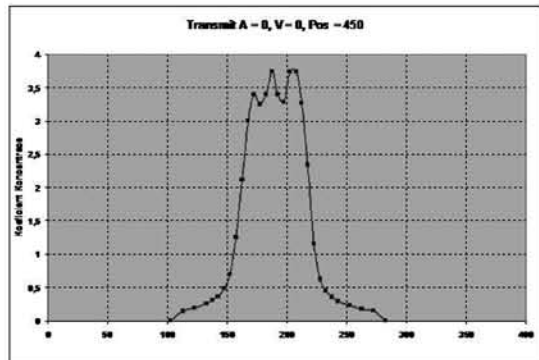
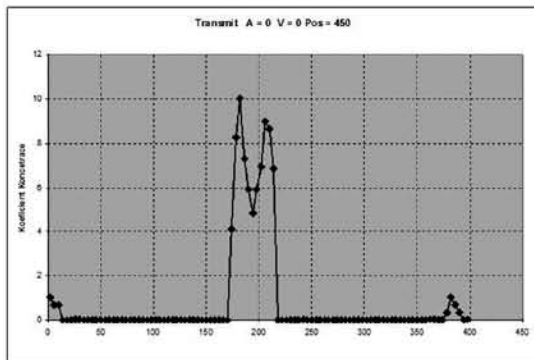
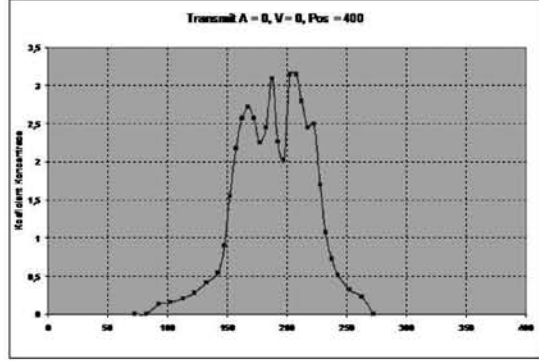
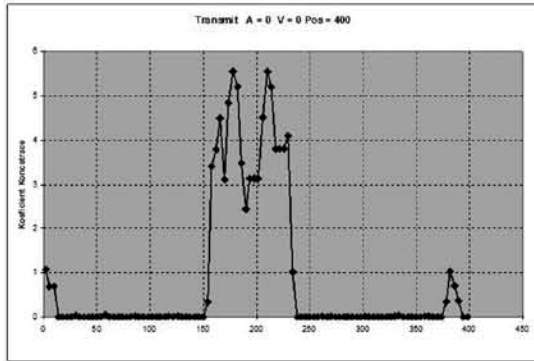
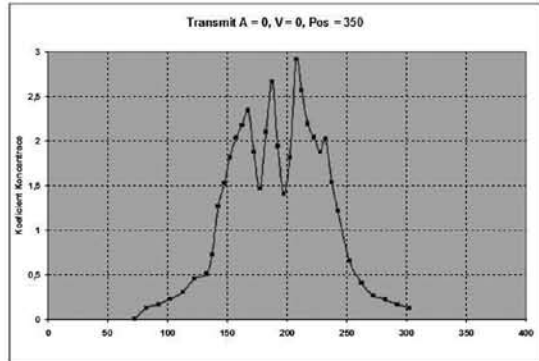
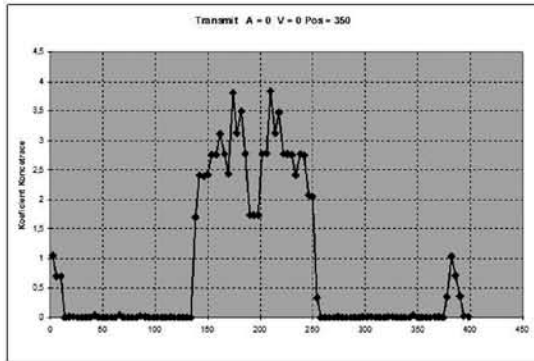
Prvním nutným krokem byla justáž kolimátoru, jejímž výsledkem bylo dosažení co nejlepší rovnoměrnosti světelného toku v průřezu výstupního svazku.

Základní měření fokusujícího rastru bylo uskutečněno při kolmém dopadu světla na rastr a s detektorem umístěným ve vhodné vzdálenosti od něj. Výsledky tohoto měření jsou na následujících grafech.

Na prvních dvou grafech (graf 1) je zobrazeno rozložení koeficientu koncentrace (poměr dopadajícího světelného toku v daném bodě vůči průměrnému světelnému toku, procházejícímu aperturou



Graf 1



Graf 2

čočky) v ohniskové rovině čočky. Na pravé straně jsou výsledky výpočtu ideální stigmaticky zobrazující Fresnelovy čočky s výpočtovou ohniskovou vzdáleností 500 mm, která je nanesena na válcovací matici. Na levé straně je potom zaneseno rozložení koeficientu koncentrace, změřené v ohniskové rovině čočky (místem s maximální koncentrací světelného toku), která se pro měřenou čočku nacházela ve vzdálenosti 587 mm.

V levém sloupci spodních pěti párů grafů (*graf 2*) jsou porovnávány vypočítané hodnoty koeficientu koncentrace ideální čočky s hodnotami naměřenými na reálné čočce pro různé odlehlosti detekční roviny od čočky. Ideální čočka se od reálné, vyrobené technologií kontinuálního lití, odlišuje přesnou geometrií lámavých ploch a jejich vysokou optickou kvalitou. Zejména není vyvoláván žádný rozptyl především díky tomu, že všechny úhly průsečnic provedení působí jako miniaturní válcové čočky s velkou mohutností a rozptylují světelné paprsky mimo ohnisko.

Z porovnání je patrné, že změřená i vypočítaná čočka si zachovává stejný trend chování a lze předpokládat, že po důkladném proměření především v šikmých svazcích lze podle výpočtu předpokládat chování reálné čočky.

ZÁVĚR

Simulátor slunečního osvětlení již slouží k měření, ale plně operačního stavu bude dosaženo po ukončení vývoje ovládacího SW se včleněným výpočtem azimutu a výšky podle orientace fasádního nebo střešního rastru a podle polohy Slunce v předepsaném (nasimulovaném) čase.

Po úplném dokončení elektronického a SW příslušenství bude přístroj k dispozici projektantům a architektům, kteří pro svou práci

potřebují kvalifikovaný odhad energetických poměrů v interiérech budov opatřených proskleným pláštěm a střechou.

Na realizaci simulátoru se podílely následující instituce:

- TIC - Třeboňské inovační centrum
- ENKI o.p.s. Třeboň
- Odbor Přesné mechaniky a optiky Ústavu přístrojové a řídicí techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze
- Ústav techniky prostředí Fakulty strojní ČVUT v Praze
- Slévárna a strojárna AKORD v Kopidlně
- Ozubárna BAKING v Rudné u Prahy
- Nástrojárna VVP Martin s.r.o. Praha - Uhřetěves
- OZET zámečnické družstvo v Ondřejově
- František Janoušek, Jan Sloup a Jan Chytra, mechanici v Ondřejově a v Kostelních Střimelicích
- Tereza Antalová, Ondřej Janeček a Karel Muzika, posluchači FS ČVUT v Praze

Tento projekt je financován AV ČR v rámci programu „Podpora projektů cíleného výzkumu: IQS S11070057 – Vývoj stavebních prvků, využívající skleněné optické rastry vyráběné metodou kontinuálního lití“.

Literatura

- [1] Čáp J., Jirka V., Šourek B.: Design and simulation of optical rasters, World renewable energy congress VI, Brighton, 2000
- [2] Jirka V., Čáp J., Jangl J., Wagner J., Pokorný J.: Energy-efficient walls using optical rasters, World renewable energy congress VI, Brighton, 2000

Doc. Ing. Josef ZICHA, CSc., josef.zicha@fs.cvut.cz, tel.: 224 352 701, Ing. Jiří ČÁP, PhD., jiri.cap@fs.cvut.cz, Ing. Šárka NĚMCOVÁ, PhD., sarka.nemcova@fs.cvut.cz, FS ČVUT, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6
Ing. Bořivoj ŠOUREK, FS ČVUT, Ústav techniky prostředí, Technická 4, 166 07 Praha 6
Ing. Vladimír JIRKA, CSc., Jan ČERVENÝ, Ing. Jozef KOREČKO, Třeboňské inovační centrum, Dukelská 145, 379 01 Třeboň

Z technické knihovny

LOTZE, W.: Zahnradmessung mit Koordinatenmessgeräten. (Meranie ozubení na súradnicových meracích strojoch). 3. vyd. vlastným nákladom, Dresden 2006, cena: 54,00 EUR, ISBN 3-00-015962-2.

Meranie parametrov ozubení predstavovalo v minulosti rad problémov metodického i technického charakteru. Nástup súradnicovej meracej techniky priniesol aj v tejto oblasti strojárскеj metrológie značný pokrok. Súradnicové meracie stroje (SMS) znamenali kvalitatívny skok pri prechode plošného (2D) ponímania evolventy k priestorovej (3D) geometrii ozubenia.

Monografia význačného nemeckého vysokoškolského pedagóga a strojárského metrológa podáva v siedmich kapitolách a dvoch prílohách súbor moderných znalostí a informácií o všetkých aspektoch merania parametrov ozubení.

Po úvodnej kapitole nasleduje časť (kap. 2 a 3), venovaná modelovaniu evolventy, ako geometrického prvku a objasneniu analytickej geometrie rovinnej evolventy (vrátane diferenciálnej geometrie evolventy). Ďalej sa tu diskutujú aj problémy neistoty merania a súvisiace otázky aplikácie zákona o prenášaní chýb.

4. kapitola obšírne pojednáva o otázkach analytickeho modelovania evolventovej plochy, o ekvidistante k snímanej evolventnej

ploche (v súvislosti so snímacím dotykom SMS pri jej meraní), ako aj o súvisiacich problémoch voľby snímaných bodov na ozubenom kolese.

V piatej kap. sa autor zaoberá optimálnym zladením funkcie ozubeného súkolia, pričom zvlášť analyzuje plošný a priestorový model.

6. kap. diela obsahuje ako základné princípy stratégie merania parametrov ozubení, tak aj údaje o metódach výpočtu odchýlok a o meraní a výpočtoch pre obecné prípady. Záverom je zaujímavá stať, venovaná kinematickým odchýlkam ozubenia.

V siedmej kap. autor prezentuje tri rôzne programy, ktoré sa dajú použiť pri meraní parametrov ozubení na SMS.

V rozsiahlej Prílohe 1 sú vysvetlené základné princípy súradnicovej meracej techniky (súradnicový systém, transformačné rovnice, definíčné vzťahy pre vyrovnávanie, odhady chybových zdrojov atď.). Príloha 2 obsahuje potrebný matematický aparát (diferencovanie, algoritmy).

Inšpirujúce čítanie pre každého strojárského metrológa!

I. Brezina

Dioptra, a. s. Turnov - Dioptra CZ a. s.

K 1. lednu 2007 začala působit na tuzemském trhu a na Slovensku nová obchodní společnost Dioptra CZ a.s., která se vyčlenila z Dioptry, a.s. Turnov a je její dceřinnou společností. Firma Dioptra CZ a.s. je zaměřena na prodej brýlových čoček optikům a na další služby, které s prodejem souvisí. Firma nakupuje silikátové brýlové čočky od mateřské firmy a plastové od firmy Hoya. Je výhradním distributorem sortimentu brýlových čoček společností Dioptra a Hoya. V prodeji firmy roste podíl plastových čoček, což souvisí s celosvětovým trendem nárůstu poptávky po plastových brýlových čočkách. Hlavním důvodem nárůstu je vynikající kvalita čoček od firmy Hoya, spojená s výrobovou strategií, zaměřenou na stále nové a kvalitnější výrobky. Dioptra CZ a.s. je rozvíjející se firma, která v současné době hledá pracovníky na funkce výrobního manažera, pracovníka marketingu a konsultanta očních optiků.



Výroba a prodej silikátových a obráběných plastových brýlových čoček již není hlavní činností firmy Dioptra, a.s. Turnov. Stále vyšší podíl má obrábění optických výrobků na zakázku pro různé průmyslové podniky a pro drobné podnikatele. Tuzemské firmy tak

nemusí hledat zahraniční dodavatele, protože dodávky z Dioptry a.s. jsou výhodnější. Do této oblasti spadá především opracování rovinných ploch asférických kondenzorů pro automobilový průmysl, obrábění optických prvků pro efektová a osvětlovací zařízení, krycí klínová a sférická skla do palubních přístrojů letadel, sférické čočky do kamer používaných např. v geologickém průmyslu, přesné obrábění vnitřních a vnějších skleněných trubek, skleněné pyramidy, krychle a další dárková optika. Významná je výroba a prodej různých sférických kondenzorů do průměru 250 mm, plankonvexních a bikonvexních čoček do průměru 180 mm. Kulové plochy jsou opracovávány s přesností $\pm 0,003$ mm měřeno na vrchlíku, opracovávají se přesné rovinné plochy apod. Na přání zákazníků se silikátové i plastové optické výrobky tvrdí a nanáší se na ně antireflexní vrstvy. Nanášení tenkých vrstev je jedním z rozvojových programů Dioptry a.s. V současné době jde o rozšíření sortimentu optických prvků, na které je možné vrstvy nanášet i z hlediska jejich průměrů. Usiluje se o možnost nanášení tenkých vrstev na optické prvky velmi malých průměrů a naopak i na prvky větších průměrů, a to až do 400 mm.

Dioptra, a.s. Turnov se zabývá dalšími oblastmi výroby a prodeje. Jde o široký sortiment lup s průměry čoček od 10 do 180 mm a se zvětšením 1,5x až 16,0x. Významná je výroba svítidel pro průmysl, zdravotnictví a domácí použití. Pro oční optiky byl zaveden zábrusný servis na zabrušování brýlových čoček. Součástí aktivit je pomoc nevidomým a slabozrakým spoluobčanům prostřednictvím společnosti Tyfloservis.

Dioptra hledá nové rozvojové programy. Nabízí dobrou perspektivu pro středoškoláky a vysokoškoláky, kteří mají zájem o samostatnou tvůrčí práci.

*Ing. Josef Karmášek
ředitel Dioptry, a.s. Turnov*

Kontrola – kvalita – výtěžnost

Mimořádná pozornost je v Dioptrě, a.s. Turnov věnována kvalitě výrobků. Počínaje od kontroly nakupovaných materiálů a surovin a konče vyhodnocováním vývoje kvality hotových výrobků. Cílem není pouze spokojenost zákazníků, ale také dosažení maximální výtěžnosti materiálů, surovin, strojů, pracovní síly v procesu výroby, a tím dosažení co nejvyšší hospodárnosti a efektivnosti.

Příkladem může být výrobní proces při opracování rovinných ploch asférických kondenzorů. Výrobní proces se skládá z operací frézování, fazetování, lapování a leštění. Z důvodu zajištění co nejlepší kvality a vysoké výtěžnosti se provádí kontrola již po první operaci frézování, a to měřením tloušťky a roviny kondenzorů u každého nafrézovaného kusu. Měření se provádí na speciálně upraveném měřicím stojánku s použitím ocejchovaného indikátoru s krokem 0,01 mm.

Ofazetování je namátkově rozměrově kontrolováno dle tolerancí uvedených ve výkresové dokumentaci. Kontrola po lapování je 100% a kontroluje se měřením tloušťky na upraveném stojánku s ocejchovaným indikátorem a nastavením tolerancí tloušťky asférických kondenzorů, jako v případě měření po frézování.

Při leštění se jedná o úběr materiálu v tisícinách milimetru, tudíž nedochází již ke změně rozměrů sledovaných veličin. Jednotlivé pracovníce po vyleštění a očištění kondenzory kontrolují vizuálně průhledem. Kusy se třídí na dobré a na opravitelné. Případné zmetky se ukládají do odděleného označeného prostoru.

Po této konečné operaci odebírá technická kontrola namátkově vzorky dle předepsané četnosti odběrů, provádí měření střední tloušťky a tloušťky lemu kondenzorů v šesti bodech po obvodu lemu. Měření je prováděno ocejchovaným digitálním posuvným měřítkem. Údaje se zaznamenávají do regulačních karet s grafickým vyhodnocením a uvedením pracovníka, který měření prováděl. Regulační karty se archivují po dobu 3 let. V případě zjištěných odchylek ve stanovených tolerancích, dává technická kontrola neprodleně pokyn k provedení nápravy.

Úspěšnost celého výrobního procesu je odvislá od vzájemné spolupráce jednotlivých pracovníků. Stejně je správné seřízení strojů a odpovědná kontrola.

*Josef Štastný
vedoucí kvality Dioptry, a.s. Turnov*

Fine Mechanics and Optics at Czech Technical University in Prague (J. Hošek)..... 171

An article gives a short overview of historical consequences and present of fine mechanics and optics education at Faculty of Mechanical Engineering of Czech Technical University in Prague. The volume and range of fine mechanics and optics education is presented with historical review of selected lecture notes published by authors of our branch. This review covers 56 years of existence fine mechanics and optics education at Czech Technical University in Prague.

Dynamical Superposition for Non-linearities Suppression in Actuator Position Control (I. Uhlíř, J. Chyský)..... 173

Position actuator with small DC motor, torque 1 Nm, range 210 grad, using dynamic superposition of vibrations for decreasing of friction effect and clearances in gear box.

Key words: actuator, DC motor, H bridge, potentiometer

Formal aid to the conceptual design – alternative approach

(J. Bíla, J. Jura) 176

The goal of the Conceptual Design Process is the representation and the explanation of the function for the designed system. The Conceptual Design Process, unfortunately, has no well founded formal means till nowadays and it uses various, however inappropriate formalisms. This paper deals besides with issue, why formalism of equations and in general formalism of quantitative mathematics (developed for physics) is no good for conceptual design and which are the consequences for the theory and practice. The analysis of formalisms based on explanation of four basic intentions and as a result two novel intentions are introduced: “Specifiers” and “Synthesisers”. The work with these intentions extends the Specification phase and comprehensively separates the phase of the Synthesis. The classical methodological approach that explains the world by means of properties (and their quantities) and the approach that explains the world with help of Conceptual constructions and Interpretation process, are compared.

Keywords: Conceptual Design, Emergent phenomena, ReDesign, ReDesign, intentions, interpretation, matroid

Optical quality capillary tip polishing

(K. Studenovský, J. Hošek)..... 182

An article presents technology of grinding and polishing of small glass areas down to 1 mm² with optical quality. This technology problem relates to grant project solution “Metastable water and water vapor” GAČR No. 101/05/2214, where the surface tension of supercooled water has to be measured. We present experimental results of three possible technology approach of capillary tip finishing of final dimension 0.98/0.32 mm. Special focus is attended to capillary mounting appropriate for both machining and later experimental application too.

Key word: small surfaces, grinding, polishing, cleaning.

A Scanning system for spectrometer

(Š. Němcová, J. Zicha)..... 185

This article describes a special scanning system associated to a spectrometer. The scanner consists of four cone mirrors. The device is used for the spectral analysis of low temperature plasma, studying a radiation at the various distances from the tube axis. A design of scanner, glowing and adjusting of mirrors is described, too.

Key words: scanner, cone mirrors, spectrometer

Laboratory model “Ball & Ellipse”

(M. Hofreiter, M. Plhoň)..... 188

In the Faculty of Mechanical Engineering at Czech Technical University in Prague there is a common course “Automatic control” for all students in their third year. This paper describes the new and original laboratory model called “Ball & Ellipse” which has been manufactured in the Department of Instrumentation and Control Technology for practical training the fundamentals of analog and digital control. The laboratory model “Ball & Ellipse” consists of an elliptical railway pivoted at its centre in a way that its tilt can be manipulated in two perpendicular directions. The basic control task is to control the position of the ball rolling on the elliptical railway. The apparatus is controlled by MATLAB environment.

Fringe Pattern Analysis Using the Fourier Transform Method for Electronic Speckle Pattern Interferometry (P. Dvořáková, V. Bajgar, J. Trnka) 190

The paper deals with fringe pattern analysis obtained by electronic speckle pattern interferometry (ESPI) used to measure deformation profile of a thin steel plate. To calculate deformation phase we introduced spatial-carrier fringes that allow the magnitude of the phase to be determined. The Fourier transform method was employed for phase extraction. Once the phase distribution is obtained, it can be converted to the desired parameters, in our case, out-of plane displacement.

A Simulator of the Sun Radiation for Optical Raster Testing Annotation (J. Zicha, J. Čáp, B. Šourek, V. Jirka, J. Červený, J. Korečko, Š. Němcová)..... 194

The raster based on Fresnel’s optics working as converging cylindrical optic are widely used in the range of utilization of the Sun energy as construction elements of translucent roofs and facades. The energetic balance of building’s interior equipped of these elements can be simulated mathematically and proved by experiment imitating precisely real conditions of an application. The described simulator was developed for such experiments. The angle between incoming radiation and the normal of a glass surface can be set by this simulator. This results present the functionality of the described device.

From technical library (I. Brezina) 198

Dioptra, a. s. Turnov - Dioptra CZ a. s. (J. Karmášek)..... 199

Control – quality – yield (J. Šťastný) 199

PRACOVNÍŠTĚ DIOPTRY a. s. TURNOV:



Výroba sférických brýlových čoček
na lince COMES



Výroba torických brýlových čoček
na lince LOH



Magnetické napařování antireflexních,
zrcadlových a hydrofobních vrstev
na zařízení BOC



Barvení čoček na zařízení BPI



Tvrzení čoček na zařízení BOC



Zábrusný servis brýlových čoček



Průmyslová optika



Montáž lup a světel



**Ústav přístrojové
a řídicí techniky
Fakulta strojní
ČVUT
Praha**

