

**9**  
**2006**

# JMO

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA FINE MECHANICS AND OPTICS



**Elektroprojekta Rožnov, a.s.**

Služby v investiční výstavbě  
Čisté a klimatizované prostory



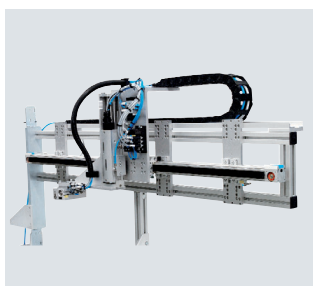
Elektroprojekta Rožnov, a.s.  
Boženy Němcové 1720  
756 61 Rožnov pod Radhoštěm  
tel.: +420 571 664 111  
e-mail: ep@elektroprojekta.cz  
www.elektroprojekta.cz

# Vítejte na našem stánku

# FESTO

## hala F, stánek 24

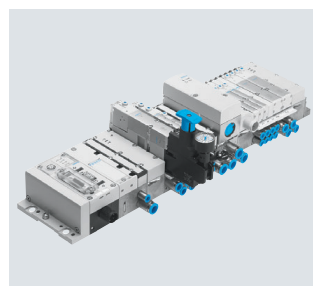
Rádi se s Vámi podělíme o novinky a know-how v oblasti, kterou ovládáme: pohyb.  
Elektricky či pneumaticky, od jednotlivých výrobků až po  
Kompletní řešení včetně souvisejících služeb: společně dokážeme víc.



systémy

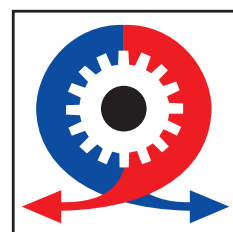


služby



novinky

ufi  
Approved  
Event



MSV 2006

hala F, stánek 24

## 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 BOUČHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, Ing. Jan DUPÁK, CSc., ÚPT AV ČR, Brno, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Karol KAROVIČ, DrSc., Předsednictvo SAV, Bratislava, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, RNDr. Josef KRÁSA, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, Ing. Jiří KRŠEK, VUT, Brno, doc. RNDr. Vojtěch KRĚSÁLEK, CSc., UTB, Zlín, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s.r.o., Brno, doc. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, PRAHA, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, RNDr. Zdeněk LOŠŤÁK, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, doc. Ing. Petr LOUDA, CSc., TU, Liberec, Ing. Monika MICHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, prof. Ing. Jaromír PIŠTORA, CSc., VŠB - TU, Ostrava, prof. RNDr. Ing. Jaroslav POSPÍŠIL, DrSc., UP, Olomouc, Jan ŘÍDKÝ, CSc., FZÚ AV ČR, Praha, RNDr. Dagmar SENDEŘÁKOVÁ, Ph.D., UK, Bratislava, prof. Ing. Karel STUDENOVSKÝ, DrSc., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava

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

## JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

**Odpovědný zástupce vydavatele:** Jan ŘÍDKÝ, CSc.

**Šéfredaktor:** dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

**Adresa redakce v Olomouci** (předplatné, nakladatelské služby):

SLO UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc,  
tel.: 585 631 576, fax: 585 631 531, e-mail: 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, Podniková prodejna Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Kabelíkova 1, 750 02 Přerov a KNIHKUPECTVÍ ACADEMIA, Václavské nám. 34, 110 00 Praha 1.

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

**V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:**

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

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

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

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2006

# JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS  
ROČNÍK 51 9/2006

## OBSAH

<b>Představení společnosti Elektroprojekta Rožnov, a.s.</b> (J. Gajda).....	231
<b>Čisté prostory</b> (J. Hlaváč).....	232
<b>Modernizace výrobních prostor</b> (V. Nohavica).....	236
<b>Jako z pohádky</b> .....	237
<b>Veletrh nových sklářských technologií</b> (jpe).....	238
<b>Vývoj zařízení k in situ stanovení rozložení tlouštěk vrstev pomocí UV-VIS zobrazovací reflektometrie</b> (J. Spousta, M. Urbánek, R. Chmelík, T. Běhounek, R. Plšek, K. Navrátil).....	239
<b>Automatizované transportní systémy REXROTH</b> (P. Žalud).....	245
<b>Úvahy o reflexní digitální zobrazovací kolorimetrii při lineárním přístupu</b> (J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.).....	247
<b>Strukturální tlumení materiálů</b> (M. Vašina, L. Lapčík, Jr.) ....	251
<b>Flexibilní lékařské endoskopy</b> (M. Křížek).....	253
<b>Univerzitní profesor Ing. Miroslav Kopřiva, CSc.</b> <b>30. 12. 1924, Brno – 19. 7. 2006, Přerov</b> (V. Malíšek).....	257
<b>SYSTEMS 2006</b> .....	258

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.), Jan DUPÁK - Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Science, Brno (Czech Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Karol KAROVIČ - Presidium of the Slovak Academy of Science, Bratislava (Slovak Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Josef KRÁSA - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KRÉSÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA - Czech Univ. of Agric. Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Petr LOUDA - Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Ing. Monika MICHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak 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 SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

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

## FINE MECHANICS AND OPTICS

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

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

**Editor:** Jan ŘÍDKÝ

**Managing Editor:** Jaroslav NEVŘALA

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

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

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

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

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

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

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

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2006

# FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL  
VOLUME 51 9/2006

## CONTENTS

<b>Presentation of company Elektroprojekta Rožnov, a.s.</b> (J. Gajda).....	231
<b>Clean rooms</b> (J. Hlaváč).....	232
<b>Modernization of production rooms</b> (V. Nohavica).....	236
<b>As from fairy-tale</b> .....	237
<b>New glass technology fair</b> (jpe).....	238
<b>Development of an optical apparatus for in situ monitoring of thicknesses by using of UV-VIS Imaging Reflectometry</b> (J. Spousta, M. Urbánek, R. Chmelík, T. Běhounek, R. Plšek, K. Navrátil).....	239
<b>Automated transport systems REXROTH</b> (P. Žalud).....	245
<b>Considerations about the light reflectance digital imaging colorimetry under linear approach</b> (J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.).....	247
<b>Structural damping of materials</b> (M. Vašina, L. Lapčík, Jr.).....	251
<b>Flexible Medical Endoscopes</b> (M. Křížek).....	253
<b>Professor Ing. Miroslav Kopřiva, CSc.</b> <b>30 Dec 1924, Brno – 19 July 2006, Přerov</b> (V. Malíšek).....	257
<b>SYSTEMS 2006</b> .....	258

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

## Představení společnosti Elektroprojekta Rožnov, a.s.

*Článek představuje akciovou společnost Elektroprojekta Rožnov jako projekční, inženýrskou a dodavatelskou firmu, specializovanou na projektování a realizaci čistých a klimatizovaných prostorů pro náročné technologie, zejména v mikroelektronice, farmacii, zdravotnictví, optice, výrobě zdravotnické techniky apod.. V oblasti čistých prostorů má tato firma nejdelší tradici v ČR.*

Tato **tradice** se datuje do roku 1968, kdy ještě jako projekční středisko Tesly Rožnov vyprojektovali jeho pracovníci první čistý prostor třídy 10.000. V roce 1982 bývalé Ministerstvo elektrotechniky ČSR zřídilo n.p. Elektroprojekta Praha, do kterého jako odštěpný závod Elektroprojekta Rožnov včlenilo i projekční středisko Tesly Rožnov. V roce 1992 se tento odštěpný závod transformoval na akciovou společnost.

Celková plocha vyprojektovaných a většinou Elektroprojektem i realizovaných čistých prostorů v České republice i v zahraničí od roku 1968 činí cca 125.000 m<sup>2</sup> všech tříd čistoty.

Problematikou **čistých prostorů** se zabývá samostatný článek v tomto čísle časopisu. Kromě čistoty prostředí má technologický proces **vysoké požadavky** i na další parametry prostředí, jako je například stabilita teploty až  $\pm 0,5$  °C, relativní vlhkost pod 30 %, chvění, hluk, elektrostatický náboj a další faktory. V oblasti infrastruktury výrobní technologie bývají na kapalná i plyná média kladeny z hlediska čistoty (úrovně heterogenních částic) stejné nároky jako na vzduch. Rozvody, filtrace, asanace a monitorování těchto látek stejně jako likvidace odpadů není vždy úkol snadný. Často jde totiž o látky agresivní, hořlavé, výbušné, toxické a to i v desítkách druhů. Řešení výše uvedených požadavků bývá technicky náročné, investičně a často i provozně nákladné.

Elektroprojekta Rožnov, a.s. řeší tuto náročnou problematiku komplexně. **Komplexnost činnosti** spočívá v zajištění všech profesí a odborností vlastními – u vysoce specializovaných požadavků externími pracovníky (např. vysokoškolský pedagogové a tuzemští i zahraniční odborníci z oboru farmacie, polovodičové techniky, vibrační, osvětlení apod.).

**Rozsah nabízených služeb** tak odráží úsilí firmy nabídnout všechny služby a činnosti potřebné ke kompletní realizaci investice od vzniku požadavku investora až po jeho uvedení do provozu a následný servis:

### Příprava

- poradenství v investiční výstavbě
- konzultace o plánovaném záměru investora
- vypracování investičních studií a studií proveditelnosti

### Realizace

- vypracování projektové dokumentace všech stupňů
- projednání projektové dokumentace u příslušných orgánů a institucí
- výkon autorského dozoru
- inženýrská činnost ve všech fázích výstavby
- realizace a řízení procesu výstavby
- dodavatelské činnosti
- uvedení do provozu a zkušební provoz

### Servis

- záruční a pozáruční servis
- pravidelné prohlídky a revize technologických zařízení staveb

### Specializace - čisté a klimatizované prostory

- poradenství a vypracování studií
- projektování a návrh technického řešení podle evropských norem

- konstrukce a výroba komponentů pro čisté prostory
- dodávky a montáž čistých prostorů a klimatizace
- zpracování provozních předpisů pro čisté prostory
- školení personálu
- testování, měření a kvalifikace čistých prostorů

V současné době má společnost 105 zaměstnanců. Většina z nich pracuje v úseku projekce a inženýringu, ve kterých jsou zastoupeny všechny potřebné profese a odbornosti pro poskytování komplexních služeb. 19 osob má státní autorizaci ve svém oboru.

Dalšími úseky společnosti jsou marketing, ekonomický a provozní úsek a úsek rozpočtů.

Prostřednictvím společností ve skupině má EP zajištěny výrobní a dodavatelské činnosti:

- EPAGON spol. s r.o. – výroba komponentů pro čisté prostory (kovové příčky, kovové dveře, materiálové a personální propusti, podhledy, vzduchové sprchy, svítidla, filtrační nástavce a ostatní distribuční elementy, laminární stropy, oběhové jednotky, nábytek pro čisté šatny, laminární i chemické boxy, výrobky z nerez, Corianu, atd.).
- E.P.I., s.r.o. – montážní a dodavatelská činnost se specializací na čisté prostory.
- Pipe SYSTEMS spol. s r.o. – trubní systémy pro čistá média, ručně nebo orbitálně automaticky svařované, včetně koaxiálního provedení.
- Elektroprojekta Slovakia spol. s r.o. – investiční činnost ve Slovenské republice.
- O.O.O. EPROS – projekční a dodavatelská činnost v Rusku.

Od roku 1999 je ve společnosti zavedený systém managementu jakosti, který je certifikován společností Lloyd's Register Quality Assurance dle ČSN EN ISO 9001:2001. Systém managementu jakosti zahrnuje projekční a inženýrskou činnost, zajišťování a dodávky zařízení a celých staveb pro průmysl elektrotechnický, potravinářský, farmaceutický a zdravotnictví včetně servisu. Dodávky čistých prostorů a souvisejících komponentů.

### Naši významní obchodní partneři:

ON Semiconductor Czech Republic, s.r.o.,  
ON Semiconductor Slovakia, a.s.  
Meopta – optika, a.s., Pulsar (Rusko), Fermentas (Vilnius),  
Pliva – Lachema a.s.  
Hoechst - Biotika, spol. s r.o., Noventis s.r.o.,  
MPH Medical Devices s. r. o.  
Siemens Automobilové systémy s.r.o., SCHOTT Solar CR, s.r.o.  
Výzkumný ústav veterinárního lékařství Brno, Nemocnice v Karviné,  
Opavě, Znojmo

### Zahraniční aktivity:

Slovensko, Rusko, Švýcarsko, Litva, Lotyšsko, Německo, Moldávie  
Jaromír Gajda  
ředitel a předseda představenstva

## Čisté prostory

*Technika čistých prostorů v dnešním moderním pojetí je v České republice používána více než čtyři desetiletí. Patří ke špičkovým technologiím a uplatňuje se zejména v elektrotechnice, farmacii, zdravotnictví, jemné mechanice a optice, ve výrobě čistých chemikálií a potravin. V technice čistých prostorů je za čistou místnost považována taková místnost, ve které je koncentrace částic ve vzduchu regulována a kontrolována. Čistá místnost je konstruována a používána takovým způsobem, který minimalizuje vstup, vytváření a usazování částic uvnitř místnosti. V této místnosti mohou být podle požadavků technologie regulovány další parametry jako teplota, vlhkost a tlak vzduchu.*

S rozvojem tohoto technicky náročného oboru se vyvíjely současně i normy a předpisy nezbytné pro vymezení kvality čistých prostorů. K nejpoužívanějším normám patřil US FED STD 209 „Požadavky na čisté prostory a čistá pracovní místa“, který byl poprvé vydán v roce 1963. Tato norma uvedla základní názvosloví a stanovila požadavky na čisté prostory, jejichž klasifikace byla zavedena na základě maximálního počtu přípustných částic velikosti 0,5 μm a větších, nebo 5 μm a větších na krychlovou stopu. Ve standardu byly definovány třídy čistoty 100, 10 000 a 100 000. FED STD 209 A z roku 1966 uvádí již mimo jiné nejen klasifikaci třídy čistých prostorů na krychlovou stopu, ale také třídy čistých prostorů podle počtu částic na litr. FED STD 209 C „Třídy čistoty vzduchu v čistých prostorách a čistých zónách“ z roku 1987 definoval také třídy čistoty 1 a 10 a na rozdíl od předcházejících STD 209 až do třídy 100 také pro velikost částic 0,1, 0,2 a 0,3 μm. Podle stavu obsazení zavedl rozdělení čistého prostoru na:

- stavebně připravený (as built),
- technologicky připravený (at rest),
- za provozu (operational).

Rovněž zavedl definici jednosměrného a nejednosměrného proudění vzduchu, místo do té doby používaných méně přesných názvů laminární a nelaminární (turbulentní) proudění vzduchu. V roce 1992 vstoupil v platnost FED STD 209 E, jehož používání bylo do nedávné doby nejrozšířenější.

Na území České republiky byly v Tesle Rožnov v roce 1965 vyrobeny první čisté boxy a následně tam byly budovány klimatizované čisté prostory pro pracoviště fotolitografie a výroby expozičních masek. Současně s výstavbou čistých prostorů vznikal návrh podnikového standardu, který definoval a klasifikoval čisté prostory a stanovil požadavky na prostředí pro jednotlivé technologické operace výroby křemíkových tranzistorů a integrovaných

obvodů. V roce 1985 byla vydána ČSN 125310 „Čisté místnosti a čistá pracovní místa s kontrolovaným a bezprašným prostředím; Názvosloví a definice; Klasifikace tříd čistoty“. Elektroprojekta PIO odštěpný závod Rožnov vypracovala v roce 1985 typizační směrnici „Čisté prostory pro elektroniku“ ve spolupráci, formou technické pomoci, s ČVUT Praha – FS, VUV Praha a projekcí podniku Janka Praha. Mimo uvedené standardy, doznaly ve specializovaných oborech značného používání i národní normy některých zemí (VDI, BS a další).

S ohledem na potřebu harmonizace norem v celosvětovém měřítku vytvořila Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO) „Technický výbor ISO/TC 209 Čisté prostory a přidružená řízená prostředí“. Návrhy standardů vztahující se k řízení kontaminace a biokontaminace jsou po vypracování oponovány. Po schválení návrhu standardu CEN (Evropský výbor pro standardizaci) jej musí členské státy zařadit jako Evropskou normu. Všechny národní normy odporující Evropské normě musí být staženy. V současné době je část těchto standardů již ISO a CEN schválena a vydána. Pro úplnost je následně uveden přehled norem z této oblasti i když jsou možné ještě dílčí změny, protože některé části jsou zatím uvedeny v pracovní verzi.

ČSN EN ISO 14644 Čisté prostory a přidružená řízená prostředí

- ISO 14644 část 1: Klasifikace čistoty vzduchu
- 2: Specifikace pro zkoušení a sledování za účelem prokazování nepřetržité shody s ISO 14644-1
  - 3: Metrologie a zkušební metody
  - 4: Návrh, stavba a uvedení do provozu
  - 5: Provoz
  - 6: Terminologie a definice
  - 7: Čistá zařízení speciální

Třída čistoty podle ISO	Maximální limity koncentrací (č/m <sup>3</sup> ) pro částice rovné a větší než velikost částic uvedené níže					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
Třída 1	10	2				
Třída 2	100	24	10	<b>4</b>		
Třída 3	1 000	237	102	<b>35</b>	8	
Třída 4	10 000	2 370	1 020	<b>352</b>	83	
Třída 5	100 000	23 700	10 200	<b>3 520</b>	832	29
Třída 6	1 000 000	237 000	102 000	<b>35 200</b>	8 320	293
Třída 7				<b>352 000</b>	83 200	2 930
Třída 8				<b>3 520 000</b>	832 000	29 300
Třída 9				<b>35 200 000</b>	8 320 000	2 930 000

Obr. 1 Třídy čistoty čistých prostorů podle ČSN EN ISO 14644-1

ČSN EN ISO 14698 Čisté prostory a přidružená řízená prostředí – Kontrola biologické kontaminace

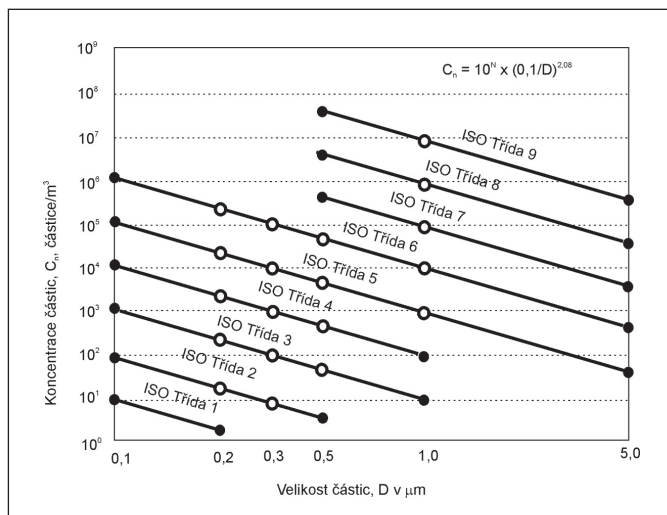
Uvedené normy, zpracované týmy odborníků několika vyspělých zemí řeší problematiku čistých prostorů komplexně. Mají však všeobecný rozsah použití, platný pro více oborů. Jejich používání jako vodítka je však užitečné i v konkrétních specializovaných oblastech například využitím podrobně vypracovaných příloh těchto norem.

Úroveň znečištění vzduchu částicemi je klasifikována do tříd, které představují maximální povolené koncentrace v jednom krychlovém metru vzduchu pro uvažovanou velikost částic. V tabulce na obrázku č.1 je uvedeno podrobné číselné vymezení tříd čistoty podle ČSN EN ISO 14644-1 „Čisté prostory a přidružená řízená prostředí“. Nové schéma pro klasifikaci čistoty vzduchu spočívá na následujícím vzorci:

$$C_N = 10^N(0,1/D)^{2,08}$$

Kde C je maximální počet částic na m<sup>3</sup> o průměru rovném nebo větším než je předpokládaný průměr částic, N je číslo klasifikace ISO, D je předpokládaný průměr částice v μm a 0,1 je konstanta s rozměrem v μm.

Na obrázku č. 2 je grafické znázornění mezních koncentrací částic pro vybrané třídy čistoty. Porovnání tříd čistoty podle ČSN EN ISO14644-1 a FS 209E je uvedeno na obrázku č. 3.



Obr. 2 Grafické znázornění mezních koncentrací částic pro vybrané třídy čistoty

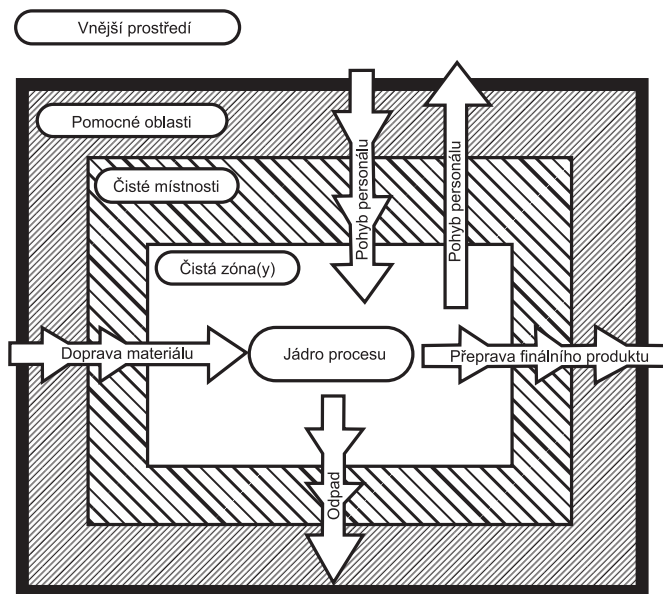
ISO 14644	FED-STD	209E
1		
2		
3	1	M 1,5
4	10	M 2,5
5	100	M 3,5
6	1 000	M 4,5
7	10 000	M 5,5
8	100 000	M 6,5

Obr. 3 Porovnání tříd čistoty podle ČSN EN ISO 14644 a FS 209 E

**Koncepce řešení čistých prostorů**

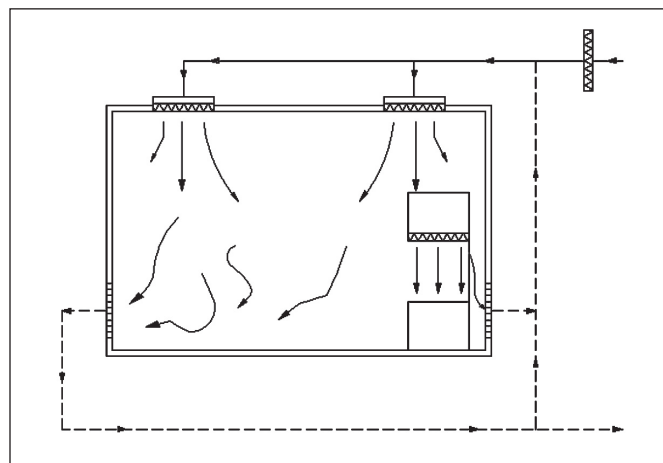
Rozhodujícím faktorem pro zvolení koncepce čistého prostoru je technologie výroby nebo činnosti pro kterou je čistý prostor zřizován. Významným kritériem jsou také energetické nároky na provoz čistých prostorů. Čisté prostory jsou zřizovány pro ochranu

procesu, produktu nebo obsluhy před kontaminací. Aby se zajistila ochrana čistých místností před kontaminací ze sousedních méně čistých prostorů, nebo vnějšího prostředí, musí být čistá místnost pod vyšším statickým tlakem vzduchu než sousední prostory, nebo musí být v netěsnosti (otvoru) mezi prostory zajištěna regulace rychlosti vzduchu, který může proudit jen z čistšího prostoru do prostoru méně čistého. Vhodným řešením k zamezení kontaminace je použití těsných oddělovacích konstrukčních prvků – fyzických bariér. Čisté prostory a čisté zóny jsou často obklopeny dalšími prostory a zónami s nižším stupněm čistoty. To umožňuje snížit plochy s nejvyššími nároky na čistotu a další parametry prostředí na minimum. Pohyb obsluhujícího personálu a materiálu mezi sousedními čistými prostory nebo zónami zvyšuje nebezpečí přenosu kontaminace, proto musí být věnována velká pozornost řešení těchto záležitostí. Obrázek č. 4 představuje příklad řešení koncepce kontroly kontaminace.



Obr. 4 Koncepce kontroly kontaminace

Pro třídy čistoty 1 až 5 podle ISO14644 je nutné jednosměrné proudění vzduchu, které může být buď vertikální nebo horizontální. Oba typy jednosměrného proudění vzduchu jsou založeny na přívodu filtrovaného vzduchu a odvodu vratného vzduchu v plochách, které se nacházejí naproti sobě. Vzduch, zpravidla filtrovaný ve třech stupních filtrace vstupuje do čistého prostoru stropem nebo



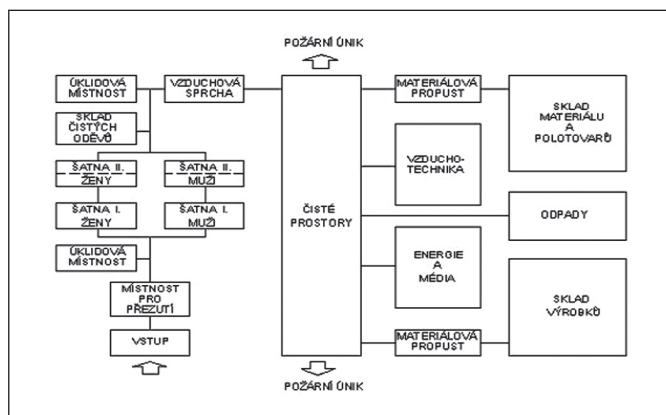
Obr. 5 Čistý prostor s nejdosměrným prouděním vzduchu s vestavěným čistým boxem

stěnou a vystupuje podlahou nebo protilehlou stěnou, případně velkoplošnými odsávacími otvory. Rozhodujícím činitelem je rychlost proudění vzduchu  $v = 0,45\text{m}$ . Při nižších rychlostech se toto proudění jakýmkoliv zásahem, tedy i pracovní činností, vychyluje nebo i rozbíjí. Tím se potlačuje základní princip čistého prostoru s jednosměrným prouděním, rychlý odvod všech částic z čistého pracovního místa, jádra procesu.

Pro třídy čistoty 7 až 9 podle ISO 14644 se používá proudění nejednosměrné, vzdušina s obsahem aerosolových částic se v čistém prostoru ředí vzdušinou filtrovanou.

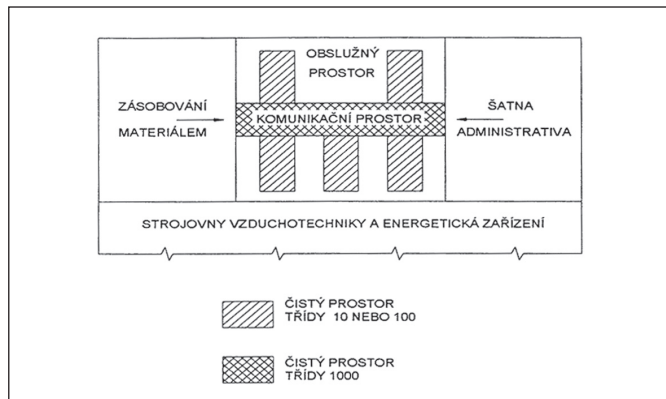
Třídu čistoty 6 podle uvedené normy lze zajistit pomocí proudění jednosměrného, za určitých podmínek také nejednosměrného. Kombinací jednosměrného a nejednosměrného proudění vzduchu vznikne proudění smíšené. Například k dosažení vyšších tříd čistoty, pro operace náročné na čistotu, lze vestavět do čistých místností s nejednosměrným prouděním čisté boxy s prouděním jednosměrným podle obrázku č. 5.

Čistým prostorem, do něhož z technologických důvodů pracovníci vstupují, je čistá místnost, zóna nebo kabina. Pro tyto čisté prostory musí být řešeny odpovídající šatny, vstupy, chodby, denní místnost, hygienická zařízení, materiálové a personální propusti a obslužné prostory. Schéma uspořádání takového provozu je na obrázku č. 6.

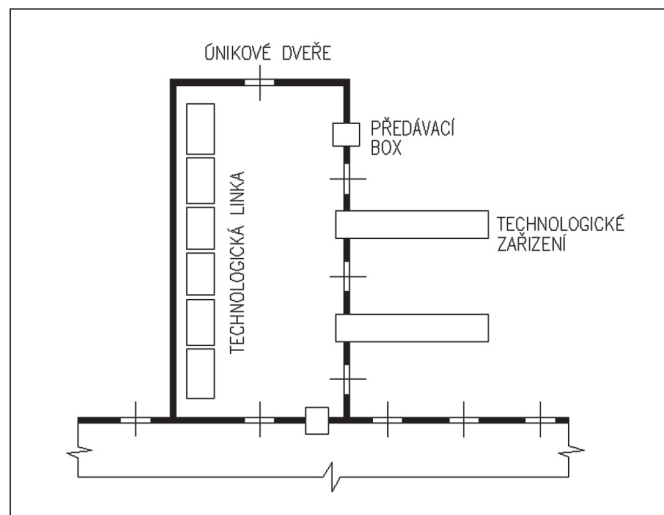


Obr. 6 Schéma uspořádání provozu s čistým prostorem

Velkoplošné čisté místnosti univerzálního typu, jsou zřizovány zpravidla pro vývojové laboratoře a poloprovozy u nichž se předpokládá častá inovace s obměnou technologického vybavení. Tato koncepce umožňuje regulovat výstupní rychlost vzduchu buď samostatně přes jednotlivé filtrační nástavce nebo po určitých zónách. Je-li znám druh prováděné činnosti a technologie, která se nebude po několik let měnit, budují se čisté prostory z čistých modulů, které omezují plochu čistých prostorů na nejnižší míru. Při tomto řešení se ta část zařízení, která nevyžaduje čisté prostředí umísťuje do obslužných prostorů. Příklad takového řešení je uveden na obrázcích č. 7 a 8.



Obr. 7 Čisté prostory sestavené z modulů



Obr. 8 Příklad umístění zařízení v čistém modulu a obslužném prostoru

### Technologie a stavba

Základní podmínkou pro vybudování kvalitních a spolehlivě provozovaných čistých prostor je definování a odsouhlasení všech důležitých parametrů mezi uživatelem, projektantem a dodavatelem. Pro všechny zúčastněné je výhodné používat při této činnosti přílohy uvedené v ČSN EN ISO 14644-4. V příloze H této normy jsou v podrobném a přehledném uspořádání uvedeny následující specifikace:

1. Požadavky na proces
2. Látky kontaminující proces
3. Specifikace technologických zařízení procesu
4. Vnější faktory
5. Požadavky na prostředí
6. Požadavky na bezpečnost
7. Požadavky na pohotovostní režim a zálohování
8. Faktory provozu a údržby
9. Personální faktory ovlivňující lidi a produktivitu
10. Budoucí vývoj
11. Požadavky na náklady
12. Harmonogram.

Zdrojem znečištění čistého prostoru mohou být:

- konstrukční prvky použité pro vytvoření čistého prostoru
- vstupující vzdušina
- člověk
- materiál
- stroje a zařízení
- technologický proces
- doprava a manipulace s materiálem.

Činnost	Počet částic rovných nebo větších 0,5 $\mu\text{m}/\text{min}$ .
Sezení nebo stání bez pohybu	$1 \cdot 10^5$
Sezení nebo stání s omezeným pohybem	$5 \cdot 10^5$
Sezení nebo stání s pohyby těla a paží	$1 \cdot 10^6$
Střídavě sed a stání	$2,5 \cdot 10^6$
Chůze asi 3,5 km/hod	$5 \cdot 10^6$
Běh 8 - 9 km/hod nebo chůze do schodů	$5 \cdot 10^7$
Různé rychlé pohyby - cvičení	$1,5 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$

Obr. 9 Závislost výskytu částic na činnosti člověka



Při zřizování čistých prostorů musí být použity jen takové materiály a prvky, které mají hladký povrch bez výstupků a spár a které samy neuvolňují prachové částice. Musí umožňovat snadné čištění, popřípadě desinfekci. Tyto požadavky musí splňovat nejen podlahy, příčky a stropní podhledy, ale také osvětlovací tělesa, instalační rozvody, technologická zařízení a nábytek tak, aby neznikla obtížně čistitelná místa.

Mezi faktory trvale ovlivňující čistotu pracoviště patří pracovníci. Pracovník sám je zdrojem částic, například částiček kůže, vlasů, bakterií a podobně. Emise částic je úměrná fyzické aktivitě pracovníka. Číselné hodnoty v závislosti na činnosti člověka jsou uvedeny na obrázku č. 9.

Tuto emisi částic lze snížit volbou vhodného pracovního oděvu pro čisté prostory. Provoz na pracovišti se řídí pracovním řádem, který vypracuje uživatel na základě projektové dokumentace a konkrétních technologických podmínek. Vstup do čistého prostoru mají povolen pouze osoby povolání, pracovní návštěvy je nutno minimalizovat. Pracovníci servisu vstupují na pracoviště přes personální propusti. Údržbu strojů je nutno provádět v době přerušení provozu. Všichni pracovníci vstupují na pracoviště příslušnou personální propustí v předepsaném pracovním oděvu a obuvi. Pracovníci v čistém prostoru jsou vystaveni mnohostranným vlivům pracovního prostředí. Zejména se jedná o negativní působení bezokenných prostor s umělým osvětlením, omezenou možností pohybu, omezenou možností verbální a společenské komunikace. Proudění vzduchu způsobuje místní ochlazování částí těla, které jsou mu vystaveny. Při projektování a provozu čistých prostorů musí být tyto vlivy zohledněny zabezpečením vhodného pracovního prostředí. V souladu s hygienickými předpisy musí být čistá pracoviště vybavena denní místností pro oddech a relaxaci. Za nezbytné lze považovat vhodné barevné sládní povrchů čistých místností, kulturní vybavení denních místností vhodnými prostředky relaxace a zabezpečení potřebných pracovních přestávek.

Konstrukce strojů a technologických zařízení musí vyhovovat zvláštním požadavkům místa a účelu použití. Z hlediska údržby se doporučuje jednoduchý hladký povrch s minimem výčnělků a hran, zakrytovaná vnitřní instalace, případně i pracovní prostor

a možnost výměny funkčních bloků při opravách a údržbě. Škodliviny, mezi něž se počítají zdroje prašnosti, plyny, páry, aerosoly, teplo apod. musí být odsávány bezprostředně v blízkosti místa jejich vzniku. V kapacitních propočtech při návrhu technologie se musí počítat s přiměřeným časovým fondem na provádění údržby a oprav strojů a zařízení.

Velká pozornost musí být věnována čistotě plynů, vod a chemikálií a to mnohdy až do submikronových rozměrů nežádoucích částic.

Materiál, externě zpracované polotovary, zkušební a měřicí přístroje a ostatní provozní prostředky vstupují do čistých prostorů přes materiálové propusti, ve kterých musí být předepsaným způsobem čištěny. Podle potřeby může být materiálovou propustí:

- předávací skříň
- předávací kabina
- místnost.

Materiálová propust je čistý prostor. Pracovník, který vstoupí do propusti z vnějšího prostředí nesmí v žádném případě proniknout do následujícího čistého prostoru. Rovněž žádný manipulační prostředek, paleta a vrchní přepravní obal nesmí být přemístěn do čistého prostoru.

### Závěr

Dobrých výsledků při projektování, realizaci a provozu čistých prostorů lze dosáhnout jen koordinovanou součinností týmů zkušených odborníků řady profesí: technologie, stavba, vzduchotechnika, vytápění, chlazení, měření, regulace a řízení, elektro, potrubní instalace a dalších. Specifické podmínky montáže, zkoušení a přejímání čistých prostorů je nutno předem uvést do projektové dokumentace a do smluvních vztahů s dodavatelskými a montážními organizacemi. Kvalita čistých prostorů se ověřuje kvalifikačním měřením, kterým se prokazuje, že čisté prostory odpovídají projektovaným parametřům. O kvalifikaci čistých prostorů vypracuje provozovatelem pověřená odborná firma protokol.

*Ing. Josef Hlaváč,  
specialista pro čisté prostory*

Elektroprojekta Rožnov, a.s., Boženy Němcové 1720, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm, e-mail: ep@elektroprojekta.cz

## Technické pokyny pro autory

### Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

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

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

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

grafiku jako \*.EPS nebo \*.AI soubory, bitmapovou grafiku jako \*.TIF nebo \*.JPG soubory). V žádném případě nedodávejte 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 résumé 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 médium 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, Kabeříkova 1, 750 02 Přerov.

## Modernizace výrobních prostor realizovaných Elektroprojektem Rožnov, a.s. v areálu Meopta – optiky, a.s. Přerov

*Tento článek přibližuje dlouholetou spolupráci firem Elektroprojekta Rožnov, a.s. a Meopta – optika, a.s. při rekonstrukci a modernizaci výrobních prostor akciové společnosti Meopta – optika v Přerově.*

První kontakt v oblasti kontrolovaných parametrů pracovního prostředí se uskutečnil v květnu 1990, kdy Elektroprojekta ještě jako státní podnik vypracovala pro Meoptu Přerov národní podnik studii „*Buňka s čistým prostředím*“. K její realizaci však nedošlo.

Prvním realizovaným projektem a začátkem dlouhodobé spolupráce mezi těmito společnostmi, byla „*Modernizace vakuového napařování*“ – viz foto na titulní straně. Projektová dokumentace byla zpracována koncem roku 1997, vlastní realizace proběhla během 6ti týdnů na přelomu let 1997-98. Důsledným uspořádáním výrobních zařízení a flow boxů do linek tak, že v čistém prostoru jsou situovány pouze jejich vstupní části, ostatní části pak v prostorech servisních, byly náročné čisté prostory minimalizovány. Z celkové rekonstruované plochy I. etapy cca 400 m<sup>2</sup> tvoří tyto jen 100 m<sup>2</sup> a to ve třídě čistoty 10.000 dle US FS 209D. Dalších 100 m<sup>2</sup> tříd čistoty 10.000 a 100.000 patří k zázemí výroby (čisté šatny, materiálové propusti, prádelna čistých oděvů).

Na tuto první etapu navazovala v roce 2001 II. etapa zahrnující rozšíření vakuového napařování a zřízení pracoviště kontroly. Tak byl na celkové ploše cca 700 m<sup>2</sup> (z toho 250 m<sup>2</sup> čistých prostor) v objektu M4 vybudován na svoji dobu moderní estetický provoz respektující podmínky správné výrobní praxe a zároveň chránící zdraví pracovníků i životní prostředí.

„*Čistící linky na optiku*“ byl další projekt, na kterém EP Rožnov participovala. V roce 1999 byla instalována linka fy Naicotec jako uzavřené zařízení složené z čistících modulů s automatickou manipulací. Čistící média recyklují a čistí se destilací. Účinnost čištění je zvyšována ultrazvukem i ohřevem. Součástí modulu sušení je i laminární box zajišťující na výstupu čištění třídu čistoty 100. V roce 2000 byl proces doplněn o „předmyčku“, která je v technologickém procesu předřazena čistému mytí Naicotec. Jde o ultrazvukovou čistící linku fy Kraintek se systémem čistých lázní a automatickou manipulací, situovanou v sousedství čistého mytí. Na relativně malé ploše 210 m<sup>2</sup> tak vznikl komplex hrubého a jemného čištění s pozitivním dopadem (kvalitativním i kvantitativním) na čistící proces, na hygienu a bezpečnost práce a v neposlední řadě i na životní prostředí. V průběhu projektu musela být řešena řada náročných problémů z hlediska techniky prostředí i energeticko-mediální infrastruktury. Zejména šlo o zabezpečení proti požáru, výbuchu hořlavých plynů a par i ochranu životního prostředí. EP Rožnov, a.s. byla i odborným garantem v procesu harmonizace

dovážených čistících linek s náročnými předpisy a při atestačním řízení v autorizované zkušebně.

V roce 2003 rozšířila Meopta – optika, a.s. svůj sortiment o „*Montáž RTG převaděčů*“ - viz foto na titulní straně. Protože vnitřní vakuová část převaděče musí být velmi čistá, probíhá první část montáže v čistém a klimatizovaném prostoru. Teprve po uzavření tělesa převaděče se závěrečné operace dějí v „šedé“ – z hlediska čistoty nedefinované zóně. Montáž a následné zkoušení převaděčů jsou náročné nejen na prostředí, ale i na energie, procesní plyny a další média. Výrobní prostory včetně technického, servisního a personálního zázemí byly vybudovány ve 2. a 3. nadzemním podlaží objektu M3, na ploše cca 900 m<sup>2</sup>. Z této plochy je 160 m<sup>2</sup> ve třídě čistoty 100.000 dle US FS 209E (8 dle ISO 14644-1) se vzduchovými zónami o nízké vlhkosti.

Všechny výše uvedené projekty byly realizovány formou dodávky „na klíč“, tj. od vypracování projektové dokumentace v různých stupních, přes vlastní dodávky a montáže (kromě včleněných dodávek investora jako zařízení výrobní technologie, hlavní přírůdky energií a médií), start-up (vyzkoušení, uvedení do provozu, zaškolení) až po kvalifikace čistých prostor.

Příkladem systémového přístupu k modernizaci výrobních prostor je studie „*Rekonstrukce vzduchotechniky v objektu M4*“ z roku 2003. Ta řeší postupnou rekonstrukci objektu s ohledem na rozvoj firmy v dalším období. Konceptně je zpracována pro cílový stav tak, aby celý objekt po rekonstrukci a modernizaci odpovídal požadavkům správné výrobní praxe na řešení a provoz čistých prostorů. Využívá v maximální možné míře stávající strojnoven a centrální vzduchovody. Velká pozornost je věnována energetické hospodárnosti provozu klimatizace a to systémem zpětného získávání tepla, tlumeným provozem prostorů v době, kdy se v nich nevyrábí a moderním systémem měření a regulace.

Spolupráce dvou uvedených společností, z nichž každá je ve svém oboru významná, by měla pokračovat ku prospěchu obou i v budoucnu. V současné době probíhají realizace nebo se připravují projekty „*Rozšíření výrobních prostor HIDEQ*“, „*Rekonstrukce 2.NP obj. M4*“, „*Čistá buňka obj. M5*“, „*Budova MIC – vestavba dialyzačních setů*“, „*Rekonstrukce a klimatizace obj. M1, M1a*“.

*Ing. Vladimír Nohavica  
hlavní inženýr projektu*

# Jako z pohádky

Jestliže jste v pátek 23. června v podvečer opouštěli po Modřanské ulici rozpálenou Prahu, mohli jste se na křižovatce s ulicí Československého exilu stát svědky doslova pohádkové podívané: Tři sudičky v hedvábných šatech stály u kolébky a žehnaly novorozenci. Toho byste ale v samotné kolébce nenašli, předmětem křtu bylo totiž „právě narozené“ nové sídlo společnosti Festo Česká republika.



Hlavní průčelí s prosklenou fasádou

Otevřením tohoto reprezentativního sídla se rozbíhá nová etapa působení společnosti na českém trhu, jejíž historie se začala psát už v roce 1968. Od tohoto období až do roku 1990 se výrobky a služby Festo dostávaly na trh prostřednictvím obchodních zastoupení. Hned rok po revoluci však vznikla společnost Festo, spol. s r. o. a jejím útočištěm se stal areál v ulici Pod Beláří v Modřanech. Společnost prošla velmi úspěšným vývojem a během svého působení se vyprofilovala v lídra trhu v oblasti průmyslové pneumatiky

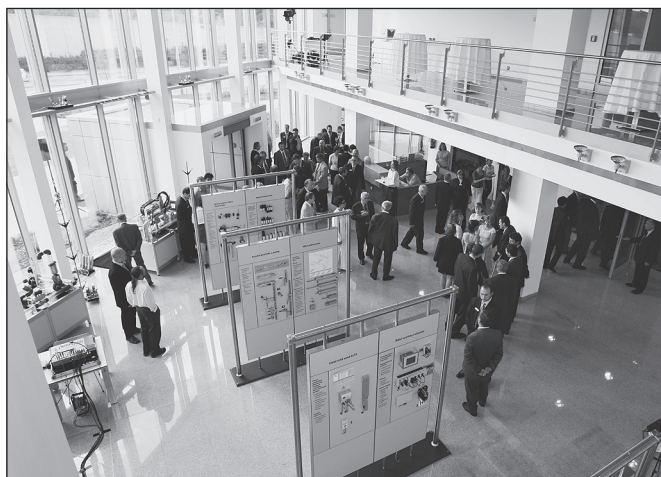


přestřižení pásky,  
zleva: Ing. Vladimír Brož (jednatel), Dr. Wilfried Stoll (předseda představenstva a majitel Festo AG & Co. KG), Marek Vašut (moderátor)

a automatizace. Svědčí o tom několik údajů: v roce 2005 obsluhovala společnost na 3000 aktivních zákazníků a jejími 70 školicími programy prošlo ve čtyřech školicích pracovištích přibližně 780 frekventantů. Dostatečně výmluvný je i údaj o počtu zaměstnanců. Zatímco v roce 1990 jich bylo 21, dnes společnost zaměstnává 56 lidí. Vybudování vlastního sídla je proto logickým milníkem na cestě jejího vývoje, odpovídajícím postavení i prestiži společnosti Festo na českém trhu.

Festo je rodinná firma, dodnes stoprocentně vlastněná a rovněž řízená německou rodinou Stollů. Všechny 56 zastoupení v 176 zemích světa však funguje jako samostatné ekonomické jednotky a na investice, jakou je například právě vybudování vlastního sídla, si musí samostatně vydělat a tím ji ekonomicky zdůvodnit. To platí i pro české zastoupení, které je v rámci regionu bývalé východní Evropy hodnoceno jako nejlepší. I proto se první krok směřující k vybudování vlastního sídla uskutečnil již v roce 2002 nákupem pozemku o rozloze přesahující 20 000 m<sup>2</sup> na místě dnešní stavby. O tři roky později se věci daly fyzicky do pohybu a poté, co 16. června loňského rohu každý z 54 zaměstnanců položil do ručně vykopané jámy svůj základní kámen, rozběhl se stavební maratón trvající pouhých 47 týdnů, během nichž vyrostla moderní třípodlažní budova s podlahovou plochou 3224 m<sup>2</sup>.

Jen pro zajímavost – během stavby bylo přemístěno 23 000 tun zeminy, budovu „oživuje“ přes 47 kilometrů kabeláže a okolí zdobí na 17 000 sazenic nejrůznějších květin a dřevin.



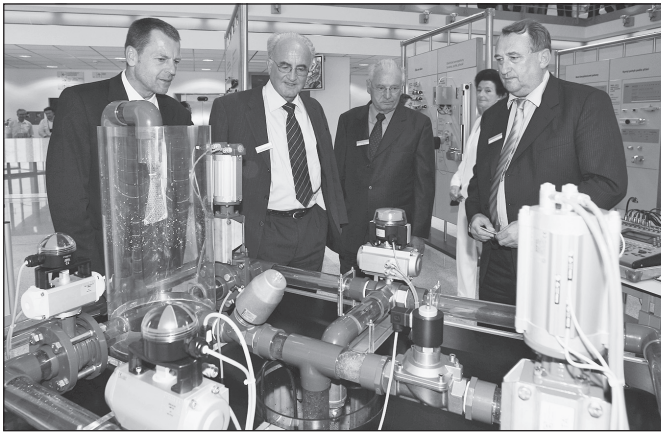
Vstupní hala, foceno z ochozu

## Zákazníkům nablízku

Údaj o počtu sazenic je jistě zajímavý, to nejdůležitější se však nachází uvnitř nového sídla. Jestliže jsme v úvodu článku zmínili, že jste se při pohledu na sudičky stali svědky pohádkové podívané, pak lze stejný příměr použít znovu poté, co do nové budovy vstoupíte. Její dispoziční i technické řešení je nejen na špičkové technické úrovni, ale zároveň vám navodí pocit, že jste hosty v dobré rodině, že jste tu vítáni a bude o vás patřičně postaráno. Sídlo společnosti totiž není zachmuřenou pevností, do které mají přístup pouze obchodní partneři – je místem setkání otevřeným pro kohokoliv. Můžete sem klidně přijít jen tak pro inspiraci nebo se svými dětmi nechat je nahlédnout do zajímavého světa automatizace. A věřte, že se jim to bude líbit. Přízemí, kde nejdříve vstoupíte do prostorného vestibulu, je koncipováno jako zóna bezprostředního kontaktu s návštěvníky. Právě zde najdete interaktivní prezentační panely a automatizační modely, kde si malí i velcí mohou pohrát se systémy osvětlujícími funkce snímačů a čidel. V určitém věku je totiž manipulační automat, který vám podá balíček bonbónů Lipo, tím nejlepším prostředkem probouzejícím lásku k technice.

Přicházíte-li jako zákazník, pak rovněž na tomto poschodí najdete technické poradenství, nabídky - dodávky – fakturace, sklad, prodejnu a dílnu pro výrobu automatizačních celků a sestav.

První patro patří kromě kanceláří z velké části oddělení vzdělávání a seminářů. Několik učeben vybavených nejmodernější projekční a výukovou technikou nabízí lektorům vzdělávacích



Dynamický model regulace tekutin

programů vynikající podmínky pro jejich práci. I zde se totiž pamatuje na myšlenky J. A. Komenského, takže na teoretickou výuku bezprostředně navazuje praktická práce na výukových panelech. Ostatně to není nic nového, takto jsou organizovány všechny výukové moduly společnosti ve všech jejich vzdělávacích zařízeních.

V posledním poschodí se nachází jídelna, která slouží jak zaměstnancům, tak i účastníkům vzdělávacích programů. Nejvyšší patro ukrývá také jednu zajímavost, která potěší oko každého technika. Je jím – lékařskou terminologií vyjádřeno – cévní a oběhový systém celé budovy. V tomto případě to znamená vytápění a klimatizaci. „Mozkem“ celého systému je počítač, napojený na miniaturní meteorologickou stanicí na střeše budovy, která snímá nejen množství srážek, ale i intenzitu slunečního osvětlení a směr a rychlost větru. Z druhé strany dostává počítač požadavky na teplotu v jednotlivých místnostech (pokud systém neběží v automatickém režimu a pak počítač sám teplotu v místnostech hlídá) a následně ovládá jednotky výměníků voda vzduch, které slouží pro klimatizování objektu. Počítač má rovněž „pod palcem“ žaluzie celé prosklené budovy, takže nejen, že nedovolí sluníčku nepříjemně rozpálit velká okna, ale v případě silného větru zabrání jejich poničení a automaticky je vytáhne.

### Brzy na viděnou

Na tomto místě naši virtuální exkurzi nového sídla společnosti Festo ukončíme a zveme vás k jeho skutečné návštěvě. Ať už přijedete na návštěvu, pro inspiraci či radu, jako zákazníci nebo účastníci školení, jste srdečně vítáni!

Festo, spol. s r. o. marketing, Modřanská 76/543, 147 00 Praha 4, tel.: +420 261 099 611, fax: +420 241 773 384, <http://www.festo.cz>

## Veletrh nových sklářských technologií

Ve dnech 24. až 28. října se bude na výstavišti v Düsseldorfu konat 19. mezinárodní veletrh zařízení pro sklářský průmysl GLASSTEC 2006 spolu se speciální přehlídkou a sympóziem „Glass technology live“. Na tomto největším odborném veletrhu, pořádaném jednou za dva roky, se letos zúčastní přes 1000 vystavovatelů z více než 40 zemí včetně ČR.

Ve výstavních halách s užitnou plochou přes 60 000 m<sup>2</sup> se představí především novinky pro výrobu, zpracování, zušlechťení a použití skla, sklářské stroje, přístroje a pomůcky, měřicí, řídicí a regulační technika. Veletrh nabídne obsáhlý přehled nejrůznějších sklářských výrobků, sklářské stroje a zařízení i možnosti použití skla nejen v domácnostech, ve stavebnictví a architektuře, ale i v jemné mechanice a optice, elektrotechnice, elektronice, energetice, komunikační technice a v mnohých jiných i nových oborech. Například skleněná vlákna jsou použitelná nejen v dekoračních svítidlech a různých elektronických přístrojích, ale zejména pro světlovodné kabely v přenosové informační a telekomunikační technice.

Pro stále plošší a lehčí zobrazovací výrobky existují již skla o tloušťce pouhých 0,03 mm. Jejich zpracování je již nemyšlitelné bez laserové technologie, která s velkou přesností umožňuje tavení, řezání, odebrání vrstev a značení skla. Laser jako inteligentní nástroj pro výrobní technologie doplňuje nebo zcela nahrazuje běžné metody, zajišťuje při zpracování materiálu špičkovou kvalitu, je flexibilní a v mnoha případech také ekonomicky výhodný. Je to technika budoucnosti.

U zobrazovacích jednotek roste trh technologií zpracování tenkého skla celosvětově, neboť pro moderní elektronické měřicí přístroje a komunikační techniku s notebooky, mobilními telefony aj. jsou mikroskopicky tenká skla neodmyslitelnou věcí. Podobně jako fólie jsou přizpůsobitelné k danému poloměru zakřivení, což

# glasstec®

umožňuje jejich využití i v komplikovaných případech. Tenké a flexibilní podložky jsou mj. předpokladem, aby mohly vzniknout další nové typy LCD (Liquid Crystal Displays) a OLED (Organic Light Emitting Diodes).

Na veletrhu však nejsou středem pozornosti finální výrobky, ale technologie zobrazování, založené na skle jako základním materiálu. GLASSTEC ukáže výrobní procesy a uplatnění skla jako funkčního nosiče. Neméně zajímavým je využívání zobrazovacích jednotek v architektuře, kde se do fasád budov stále více montují obří obrazovky.

Solární technologie pro ekologické získávání elektrické energie dosáhly již celosvětového rozmachu. Na specializované výstavě „Glass technology live“ na ploše 2000 m<sup>2</sup> v pavilonu 11 lze najít nové náměty na nejrůznější způsoby instalace úsporných solárních systémů na budovách i jako prostředek designu. Estetické a zároveň funkční solární komponenty pro celé opláštění budov jsou vhodné i jako střešní vrstva vzdorující povětrnosti stejně dobře jako vysoce výkonná fasáda ze slunečních kolektorů. Využití je možné od solárního systému rodinného domu až po velký výkon 1 až 2 MW. Solární systémy se hodí také pro pohon malých elektrických přístrojů bez možnosti připojení na síť, např. meteorologických stanic, světelných návštěvnických dopravních značek, měřicích přístrojů apod.

Podrobnější informace o připravovaném veletržním dění lze najít na internetu [www.glasstec.de](http://www.glasstec.de). Zájemci o návštěvu si mohou v předprodeji zakoupit vstupenky a katalogy s patnáctiprocentní slevou v korunách u výhradního zástupce Messe Düsseldorf pro Českou republiku a Slovensko, kterým je BVV a.s., odbor zahraničního zastoupení, Mgr. Romana Šilhánková, Výstaviště 1, 647 00 Brno, tel.: 541 152 940, fax: 541 153 051. Se zakoupenými vstupenkami lze v průběhu konání veletrhu bezplatně používat MHD pro cesty na výstaviště a zpět.

(jpe)

# Vývoj zařízení k in situ stanovení rozložení tloušťek vrstev pomocí UV-VIS zobrazovací reflektometrie

*Zobrazovací reflektometrie vyvinutá v posledních letech ve skupině prof. T. Šikoly na ÚFI FSI VUT v Brně představuje nový vhodný nástroj k in situ charakterizaci optických vlastností tenkých vrstev rostoucích na podložce známých optických vlastností. Využívá kombinace CCD kamery a osvětlovače s monochromátorem k měření spektrální odrazivosti v UV-VIS kvazispojité oblasti (300-900 nm), která je plošně zaznamenána v každém bodě povrchu vzorku (o rozměrech cca  $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$ ) zobrazeného pomocí kulového zrcadla na čip CCD kamery v různých časech vzniku, případně leptání vrstvy. Z naměřených spekter jsou poté pomocí vlastního softwaru určeny optické vlastnosti (index lomu, koeficient absorpce a tloušťka vrstvy) podél celého povrchu vzorku. V rámci řešení této problematiky bylo vyvinuto několik původních zařízení - jak pro in situ, tak i ex situ stanovení optických parametrů tenkých vrstev. V článku je prezentován vývoj zmíněného zařízení - od verze měřící v jednom bodě vzorku ex situ (zařízení **XyStage**), přes verzi vyvinutou k in situ měření (**InSitu-SpotSampler**), až k popisu finálního prototypu zařízení **InSitu-AreaSampler**. Jsou rovněž diskutovány některé výsledky dosažené jak při ex situ měření, tak například při in situ vyhodnocování plošné homogenity leptání vrstev  $\text{SiO}_2$  na Si pomocí kyseliny fluorovodíkové.*

## 1. ÚVOD

V posledních desetiletí lze vývoj technologie výroby tenkých vrstev charakterizovat stále se zvyšujícími nároky na kvalitu přípravy a reprodukovatelnosti postupů, které vedou ke vzniku speciálních vrstev požadovaných fyzikálních vlastností. Pokud jsme schopni stanovit některé z důležitých parametrů vrstvy přímo v průběhu jejího růstu - tedy in situ - může nám tento parametr sloužit jako efektivní zpětná vazba, umožňující nastavení technologického procesu reprodukovatelným způsobem. V Odboru povrchů a fyziky pevných látek na ÚFI FSI VUT v Brně se k výrobě a modifikaci tenkých vrstev (mimo jiných metod) používají např. iontové svazky generované zdroji Kaufmanova typu ve vysoko-vakuové aparatuře [1]. Souběžně s vývojem technologie výroby vrstev byly v rámci úspěšně vyřešených projektů GAČR ([2] a [3]) zahájeny rovněž práce na vývoji in situ monitorovacích technik, které by depoziční proces učinily více efektivním a reprodukovatelným. Hlavním záměrem bylo především vyvinout zařízení, které by umožňovalo vyhodnotit optické parametry ne pouze v jediném bodě zkoumané rostoucí vrstvy, ale například v oblasti přesahující  $1 \text{ cm}^2$ . K tomuto účelu byla postupně (vývoj patrný např. v [4], [5] a [6]) vyvinuta metoda UV-VIS in situ zobrazovací reflektometrie, na jejíž principech je založena funkce optických zařízení **InSitu-SpotSampler** a **InSitu-AreaSampler**. Těchto měřících přístrojů lze použít k in situ stanovení tloušťky v jednom bodě vzorku, respektive jejího rozložení na ploše až  $1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$ . Kromě těchto zařízení byly rovněž navrženy a vyrobeny prototypy přístrojů, umožňující kontrolní ex situ měření optických vlastností - přístroj **XyStage**, jenž je podrobně popsán např. v [6], a **ExSitu-MicroSpot**, umožňující v některých případech měření odrazivosti z plochy vzorku o průměru menším než  $10 \mu\text{m}$ . Všechna tato zařízení jsou vybavena obslužným a vyhodnocovacím softwarem, takže např. měření přístroji **InSitu-AreaSampler** a **XyStage** jsou automatizovaná a řízená počítačem.

## 2. PRINCIP STANOVENÍ OPTICKÝCH PARAMETRŮ VRSTEV

Popisovaná zařízení využívají ke stanovování optických parametrů neznámé vrstvy měření spektrální odrazivosti systému tenká vrstva - substrát (povětšinou jde o Si), jehož optické vlastnosti známe. K určení této závislosti je třeba porovnat na-

měřená data s referenčním měřením na známém vzorku, kterým bývá zpravidla opticky leštěný povrch Si. Z důsledku toho je ex situ měření zatíženo větší systematickou chybou, neboť není zcela jednoduché a samozřejmě zajistit při komparativním měření stejnou geometrii (především kolmost dopadajícího svazku) po opakované výměně měřeného vzorku za referenční především v případě větších pracovních vzdáleností vzorek - detektor. Tento významný problém při in situ měření odpadá, poněvadž vrstva roste na substrátu, který nám z hlediska optického měření slouží jako reference, v nezměněné konfiguraci po celou dobu depozice. Rovněž v případě modifikace tenké vrstvy (např. při leptání vrstvy iontovými svazky ve vakuové komoře nebo chemicky na optické lavičce) lze za referenční (známé) hodnoty odrazivosti, vůči kterým jsou změny vztahovány, považovat buď počáteční optické parametry systému vrstva - substrát, které stanovíme jinou metodou, např. elipsometrickým měřením, nebo naopak po odleptání celé vrstvy lze provést závěrečné měření odrazivosti na referenčním vzorku - známém substrátu. Oba postupy lze s úspěchem využít za předpokladu, že nedochází k významné fluktuaci výkonu zdroje světla v průběhu procesu leptání či depozice vrstev, poněvadž v námi zvoleném uspořádání nelze současně měřit stejným detektorem intenzitu světla dopadajícího na vzorek a zároveň od vzorku odraženého.

Princip metody tedy tkví v experimentálním stanovení spektrální odrazivosti  $R_{\text{exp}}(\lambda)$ , tj. poměru intenzity světla od vzorku odraženého ku intenzitě světla na vzorek dopadající v závislosti na vlnové délce užitého světla. Z teorie elektromagnetického pole a Maxwellových rovnic plyne, že tato veličina je kvadrátem modulu tzv. úplného reflexního koeficientu  $r$  [7], [8]. Ten v sobě obsahuje optické parametry systému tenká vrstva - substrát ve formě Fresnelových koeficientů, které odpovídají poměru amplitud světla odraženého ku amplitudě světla dopadajícího. Pro nejjednodušší případ jednoho rovinného rozhraní mezi prostředím 1 o indexu lomu  $n_1$  a prostředím 2 o indexu lomu  $n_2$  (která mohou být v případě vodivých médií komplexními čísly) a kolmý dopad, lze Fresnelův koeficient  $r^{\perp}$  psát ve tvaru

$$r^{\perp} = r_{1,2}^{\perp} = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}, \quad (1)$$

kde  $r_{1,2}$  je zmiňovaný poměr amplitud, tedy Fresnelův koeficient pro odraz od jednoho rozhraní.

Obdobně můžeme v případě odrazu světla od systému tenká vrstva - substrát pro odpovídající obecně komplexní Fresnelův koeficient  $r^{II}$  (poměr amplitud světelné vlny odražené od systému ku amplitudě světla dopadající na dvě rozhraní) psát

$$r^{II} = \frac{r_{1,2} + r_{2,3} \exp(-i2\beta)}{1 + r_{1,2} r_{2,3} \exp(-i2\beta)}, \quad (2)$$

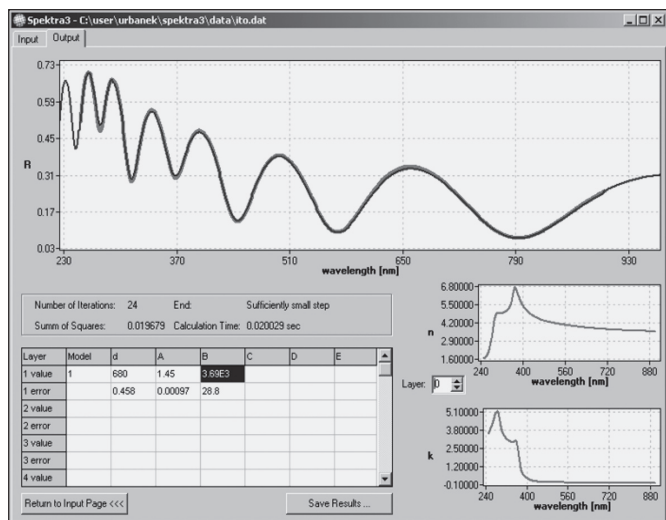
kde veličina  $r_{2,3}$  představuje Fresnelův koeficient pro odraz světla na druhém rozhraní, obsahující analogicky závislost na obecně komplexním indexu lomu vrstvy a polonekonečného substrátu jako v případě rovnice (1), což lze zajistit jednoduchou záměnou indexů 1 za 2 a 2 za 3 v rovnici (1), a symbolem  $n_1$  pak označíme index lomu okolí, což bývá zpravidla vzduch. Ve fázovém posuvu  $\beta$  je obsažena závislost na tloušťce vrstvy  $d$  ve tvaru součinu s indexem lomu vrstvy  $n_2$

$$\beta = 2\pi \frac{d}{\lambda} n_2. \quad (3)$$

Vzhledem k tomu, že experimentálně dostupnou veličinou je intenzita světla, která je rovna kvadrátu amplitudy světelné vlny, měříme tedy spektrální odrazivost  $R(\lambda)$  související se shora definovaným Fresnelovým reflexním koeficientem - viz rovnice (2):

$$R = |r^{II}|^2. \quad (4)$$

Z uvedených vztahů je patrné, že zmiňované transcendentní rovnice (2) a (4) nelze řešit analyticky. K určení optických parametrů se tedy užívají počítače, které v současné době dosahovaným výkonem zaručují rychlý průběh simulačních výpočtů teoretických hodnot odrazivosti  $R_{\text{teor}}$ . Tyto hodnoty jsou porovnány s experimentálně získanými daty  $R_{\text{exp}}$  a pokud je dosaženo požadované minimální hodnoty sumy čtverců odchylek teoretických a experimentálních hodnot, je model vrstevnatého systému (přesněji jeho optické parametry  $n$ ,  $k$  a  $d$ ) prohlášen za platný. Na tomto místě je třeba poznamenat, že použitý postup v sobě skrývá i nejedno úskalí – může se totiž lehce stát, že dosáhneme velmi dobré shody (posuzováno sumou čtverců odchylek) fitovaných dat s experimentálními, které ovšem nemusí být nutně správné, jak se může potvrdit jiným nezávislým měřením. Za zmínku rovněž stojí i to, že tloušťka a index lomu vrstvy se v řešených rovnicích vyskytují v součinu,



Obr. 1 Ukázka dialogového okna vyhodnocovacího programu **Spektra3**, vyvinutém na ÚFI FSI ke srovnávání teoretického modelu odrazivosti simulovaného systému vrstvy – substrát s odrazivostí změřenou experimentálně

můžeme tedy správně předpokládat, že souladu fitovaných dat s experimentálními lze dosáhnout jen za cenu jisté korelace těchto dvou veličin. Pro účely vyhodnocování naměřených spektrálních odrazivosti  $R_{\text{exp}}(\lambda)$  bylo vyvinuto na ÚFI FSI několik programů - k nejčastěji používaným patří program **Spektra3**, jehož dialogové okno je na obr. 1. Umožňuje uživatelsky přívětivým způsobem stanovovat teoretické závislosti odrazivosti  $R_{\text{teor}}(\lambda)$  vícevrstevnatých systémů na různých typech substrátů, volit různý počet volných a fixních parametrů a dává rychlý a snadný přehled úspěšnosti fitování grafickým srovnáním křivek závislostí teoretických (modelových) a experimentálních. Výchozí měřitelnou veličinou je relativní odrazivost  $R_{\text{rel}}^{\text{vz}}$  vzorku s vrstvou. Jeho absolutní odrazivost určíme pomocí referenčního měření známého vzorku (zpravidla se jedná o křemíkový substrát)  $R_{\text{rel}}^{\text{Si}}$  podle vztahu

$$R = \frac{R^{\text{Si}} R_{\text{rel}}^{\text{vz}}}{R_{\text{rel}}^{\text{Si}}}, \quad (5)$$

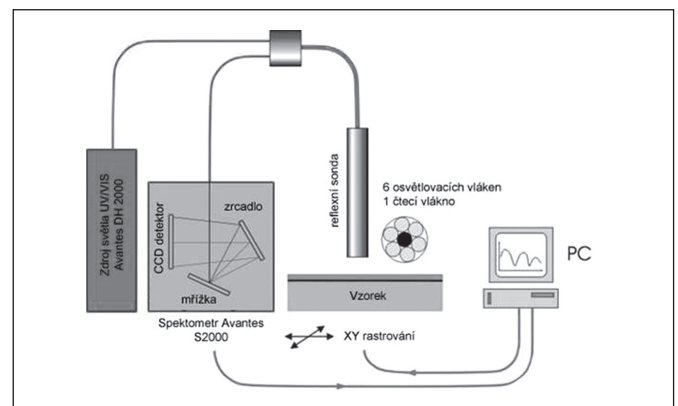
kde  $R^{\text{Si}}$  je tabelovaná absolutní odrazivost čistého křemíku (viz např. [9]).

Jádrem programu **Spektra3** bylo využito pro tvorbu softwaru **ArealSoft** určenému k vyhodnocování plošných závislostí map odrazivosti naměřených in situ. Bylo nutno provádět srovnávací výpočty modelových struktur odrazivosti v jednotlivých bodech plochy vzorku tak, jak jej zaznamenaly jednotlivé samostatné pixely černobílé CCD kamery SBIG ST-7XT (Santa Barbara), pracující jako nezávislé detektory zaznamenávající intenzitu dopadajícího světla odražených z malých podoblastí (o velikosti cca  $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ ) vzorku. Samostatným problémem bylo nalezení vhodných startovacích hodnot optických parametrů ve fitovací proceduře, neboť úspěšnost či neúspěšnost nalezení minima sumy čtverců odchylek je těmito hodnotami přímo podmíněna, a tyto vstupní parametry se mohly bod od bodu po povrchu vzorku značně lišit. Tento problém se podařilo úspěšně vyřešit tvorbou tzv. „knihoven“ teoretických křivek spektrální závislosti odrazivosti pro dané  $n$  případně  $k$  a proměnnou tloušťku  $d$  vrstvy, zvyšující se po nějakém předem zvoleném ekvidistantním kroku. Pak stačí před začátkem simulace porovnat naměřenou experimentální závislost odrazivosti s křivkami závislostí z takto vyrobené „knihovny křivek“ a za startovací vektor parametrů zvolit  $n$ ,  $k$  a tloušťku takovou, jejíž křivka odpovídá v prvním přiblížení nejlépe teoretické závislosti. Tím je zaručeno, že modelové simulace odrazivosti budou začínat z hodnot, které se iteračním procesem ke „správným“ hodnotám přiblížit mohou.

### 3. EX SITU MĚŘENÍ SPEKTRÁLNÍ ODRAZIVOSTI

#### 3.1 Měření v jednom bodě vzorku

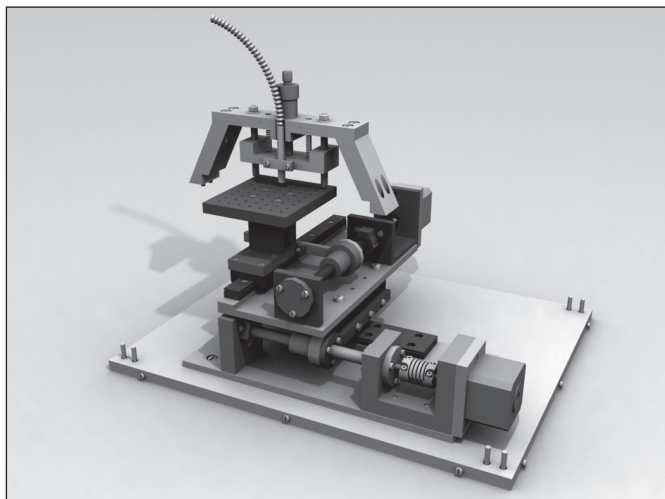
K prvním měřením spektrální odrazivosti systému tenká vrstva – substrát bylo na ÚFI FSI vyrobeno zařízení, jehož základ tvořila komerčně vyráběná reflexní sonda (Avantes FCR-7-UV-200-2)



Obr. 2 Schematický popis funkce optického ex situ měřicího zařízení

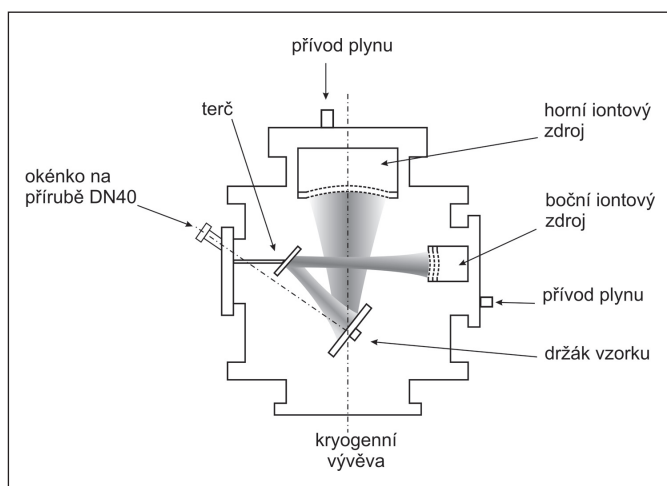
ve spojení se spektrometrem Avantes S2000. Tímto zařízením je možno jednoduše stanovovat spektrální závislost odrazivosti neznámé vrstvy porovnáním s odrazivostí referenčního etalonu, neboť vzdálenost sondy od měřeného povrchu se pohybuje v řádech jednotek milimetrů, takže po stanovení vhodné pracovní vzdálenosti (rozběr tohoto problému je např. v [10]) lze snadno měřený vzorek s referenčním zaměnit.

Další konstrukční vývoj této sondy byl zaměřen na její širší využití především k charakterizaci velkoplošných vzorků, což vedlo ke konstrukci zařízení **XyStage**, tvořeným počítačem řízeným xy posuvným stolem se vzorkem a nehybnou sondou, jejíž výšku z nad měřeným povrchem lze nastavovat mikrometrickým šroubem (schéma viz obr. 2). Rastrování lze v rovině xy provádět po krocích v řádu desítek mikronů. Na obr. 3 je 3D model tohoto zařízení.



Obr. 3 Schematický 3D model optického ex situ měřicího zařízení **XyStage**

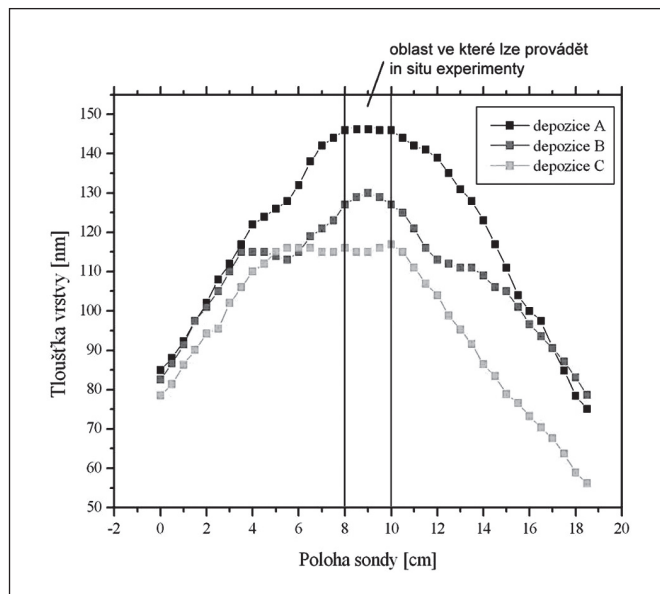
K testování funkce tohoto zařízení byla uskutečněna série měření a vyhodnocení odrazivosti tenkých vrstev SiN na Si substrátech o průměru cca 100 mm. Vzorky byly připraveny v IBAD aparatuře na obr. 4 ([11]) rozprašováním křemíkového terče ionty Ar<sup>+</sup> o energii 600 eV a současnou modifikací vlastností rostoucí vrstvy asistujícím svazkem iontů N<sup>+</sup> o energii 50 eV.



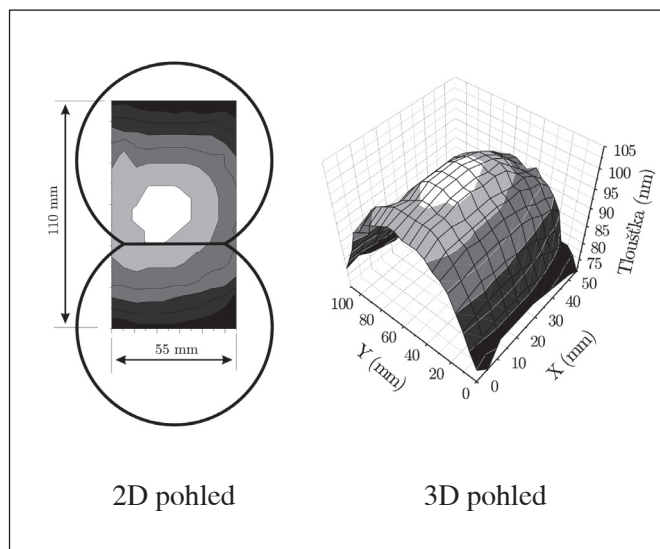
Obr. 4 Schematické znázornění depoziční aparatury IBAD. V použitém experimentálním uspořádání slouží boční (sekundární) zdroj iontů Ar<sup>+</sup> k rozprašování terče (Si), zatímco horní (primární) zdroj produkuje ionty N<sup>+</sup> modifikující vlastnosti vrstvy SiN na substrátu Si, umístěném na držáku vzorků. Polohu terče lze vůči dopadajícímu svazku iontů měnit

### 3.1 Měření ve více bodech vzorku

Deponované vrstvy byly následně analyzovány ex situ optickým měřicím zařízením **XyStage**, jehož schematické znázornění je uvedeno na obr. 2. Samotné měření je řízeno počítačem - načítání a vyhodnocování získaných dat umožňuje pro tento účel speciálně vyvinutý program **XySCANsoft**, jehož výstupem jsou optické parametry podél povrchu vzorku (maximální plocha 75 × 75 mm<sup>2</sup>) - více podrobností o tomto zařízení lze nalézt např. v [6]. Výsledky těchto měření, (viz obr. 5 a prezentované rovněž v [10]), posloužily ke stanovení optimálních depozičních parametrů používané metody IBAD. Pouhou změnou vzájemného natočení držáku vzorků vůči terči tak lze volit různé módy deposic - s malým, případně větším gradientem tloušťky podél daného směru povrchu vzorku.



Obr. 5 Výsledky stanovení ex situ tlouštěk SiN na Si pro různé úhly natočení terče. V grafu je rovněž vyznačena oblast vzorku, která je dostupná pro in situ měření. (Data byla naměřena zařízením **XyStage** a vyhodnocena programem **Spektra3**)



Obr. 6 Mapa tlouštěk SiN vrstvy získaná ex situ měřením pomocí zařízení **XyStage** v cca 55 × 110 bodech povrchu dvou Si desek. Pravá část obrázku - 3D mapa tlouštěk z plochy vzorku na levé části, kde je rovněž schematicky znázorněna vzájemná poloha obou substrátů Si. Kóty jsou uvedeny v mm (řízení načítání dat bylo provedeno pomocí programu **XySCANsoft**, vyhodnocení pomocí **Spektra3**)

Další možnosti využití zařízení **XyStage** jsou patrné z *obr. 6*, kde je znázorněna celková mapa tlouštěk SiN vrstvy získaná ex situ měření v *xy* ploše povrchu (na dvou dotýkajících se Si deskách o průměrech 100mm).

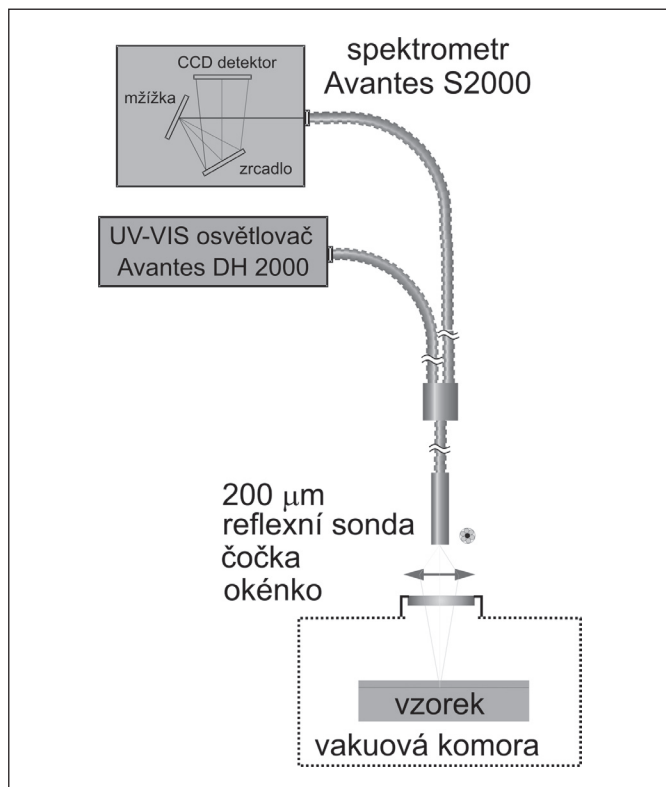
Vzhledem k modulárnímu způsobu konstrukčního řešení optického měřicího zařízení **XyStage** bylo možno relativně jednoduchými konstrukčními úpravami vytvořit verzi nového přístroje **ExSitu-MicroSpot**, který ve spojení s komerčně dostupným mikroskopem (v našem případě NICON Eclipse F150) umožňuje v některých případech určit ex situ spektrální odrazivost v jednom „mikro“bodě povrchu vrstvy (průměr stopy cca 10  $\mu\text{m}$ ). Toto zařízení bylo například použito při vyhodnocování výsledku leptání mikromotivu ve fotorezistu PMMA, který kryl povrch Si. Na základě těchto měření bylo možno stanovit podmínky leptání (energie iontů, dobu leptání) v aparatuře IBAD tak, aby došlo k odstranění požadovaného množství fotorezistu a omezilo se nežádoucí podleptání mikrostruktur.

#### 4. IN SITU MĚŘENÍ SPEKTRÁLNÍ ODRAZIVOSTI

##### 4.1 Měření v jednom bodě vzorku

Série depozic tenkých vrstev SiN a následná měření optických parametrů ex situ prokázala, že uspořádání depoziční aparatury IBAD je pro další vývoj optické in situ měřicí techniky vhodné. Proto byl navržen a vyroben prototyp měřicího optického zařízení **InSitu-SpotSampler**, který představuje vhodný nástroj k určení optických parametrů  $n$ ,  $k$  (indexu lomu a koeficientu absorpce) a tloušťky  $d$  rostoucích vrstev (v jednom bodě na povrchu) již v průběhu její tvorby.

Jádrem zařízení je osvědčená reflexní sonda ve spojení s duálním spektrofotometrem OceanOptics. Vhodnou optickou soustavou je osvětlen vzorek UV-VIS světlem (spojitý rozsah použitých vlnových délek 250 – 800 nm je definován použitým deuteriovo-halogenovým světelným zdrojem Avantes DH-2000) ze šesti osvětlovacích vláken reflexní sondy (Avantes FCR-7-UV-200-2), zatímco centrálním



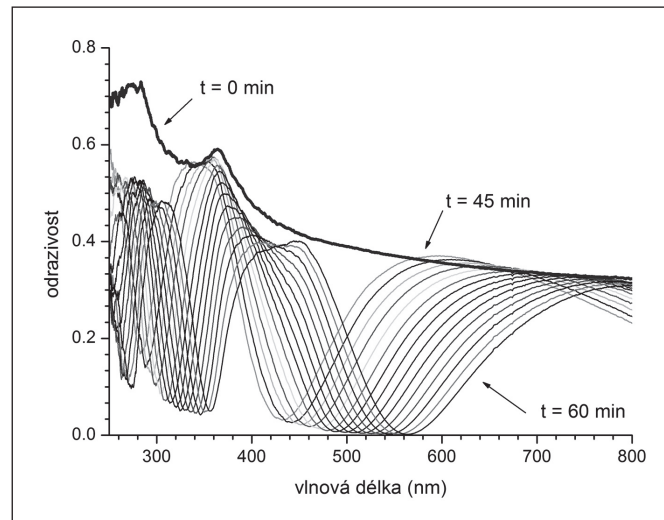
Obr. 7 Schematické znázornění prototypu in situ měřicího optického přístroje **InSitu-SpotSampler** stanovující odrazivost v jednom bodě vzorku (vlevo) včetně konfigurace jeho připojení k depoziční komoře (vpravo)

vláknem je světlo odražené systémem snímáno. Tak lze získat in situ spektrální odrazivost systému tenká vrstva – substrát v závislosti na čase (tj. na tloušťce vrstvy) v průběhu depozice v jednom „makro“bodě (o průměru cca 2 - 3 mm) povrchu vzorku.

Pomocí tohoto zařízení byly stanoveny in situ optické parametry SiN vrstev na Si v průběhu několika 60 minutových depozic, lišících se depozičními podmínkami (např. energiemi iontů ze sekundárního (rozprašujícího terče) zdroje ( $E_s = 600$  eV, 400 eV) a asistujícího (v naší konfiguraci horního) zdroje ( $E_u = 100$  eV, 50 eV)).

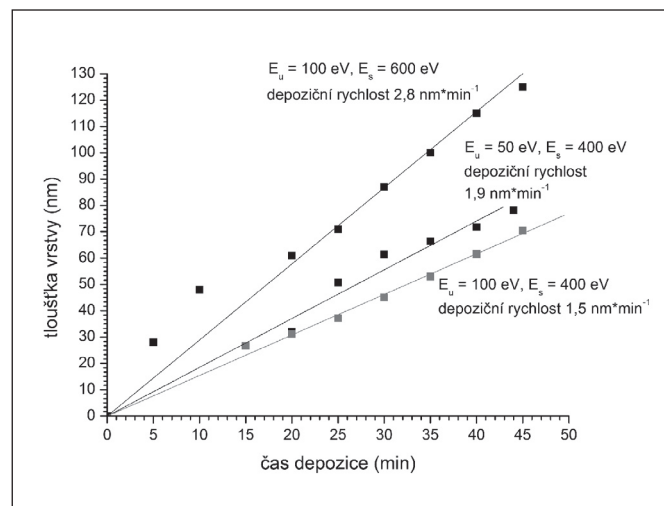
Schéma tohoto unikátního zařízení s konfigurací připojení k aparatuře IBAD je na *obr. 7*.

Na *obr. 8* jsou uvedeny příklady in situ naměřených spektrálních odrazivostí systému rostoucí tenká vrstva (SiN na Si) pro různé tloušťky vrstvy (tj. v různých časech depozice).



Obr. 8 In situ odrazivosti tenké vrstvy SiN na Si v závislosti na vlnové délce v různých momentech 60 minutové depozice metodou IBAD. Závislosti byly naměřeny pomocí zařízení **InSitu-SpotSampler**

Z naměřených křivek je pak následným fitováním v programu **Spektra3** možno získat hodnoty jednotlivých tlouštěk vrstvy (v jednom bodě) a v různých časech depozice. Pomocí těchto dat lze stanovit závislost depoziční rychlosti na čase, což odpovídá směrnicí



Obr. 9 Závislost tloušťky vrstev (SiN na Si) v průběhu času depozice pro různé parametry IBAD depozičního procesu. Data byla získána pomocí in situ měření odrazivosti v průběhu depozic lišících se pracovními podmínkami



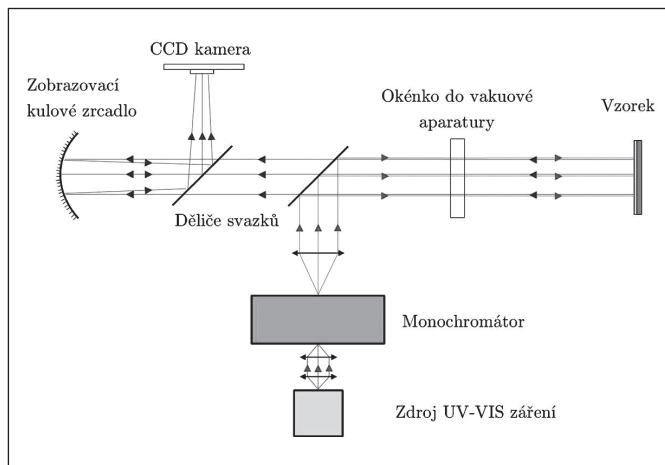
přímky, kterou proložíme odpovídajícími body. Z údajů v grafu na obr. 9 je patrné, že rychlost růstu vrstvy SiN není konstantní a podle předpokladu silně závisí na parametrech depozice.

Při počítačové vyhodnocování experimentálních dat odrazivosti jsou optické parametry  $n$  a  $d$  více či méně korelovány, neboť v rovnicích (2) až (4), které tvoří základ fitovací procedury, vystupují tyto parametry v součinu. Lze tedy obdržet různé závislosti deponičních rychlostí v závislosti na počtu volných (fitovacích) parametrů. Podrobnější diskuse zmiňovaného problému je nad rámec obsahové náplně tohoto článku, lze ji však najít např. v [12], kde se rovněž nachází originální návrh, za jakých podmínek by bylo možné tuto korelaci parametrů  $n$  a  $d$  zcela obejít.

#### 4.2 In Situ měření na ploše vzorku

Vzhledem k výsledkům dosažených při vývoji a testování optických zařízení popsaných výše (**InSitu-SpotSampler**, **XyStage**, **ExSitu-MicroSpot**) byla při vzniku konstrukčního návrhu optického měřicího zařízení **InSitu-AreaSampler**, jehož funkce je založena na nově vyvíjené metodě zobrazovací reflektometrie, přijata varianta, která obsahuje následující základní komponenty (viz obr. 10):

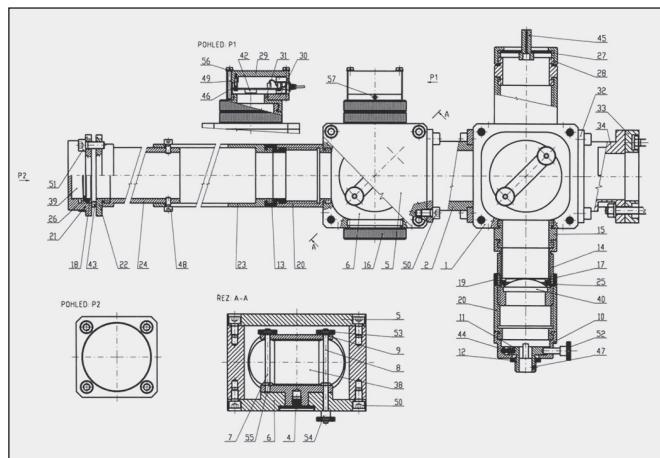
Ze zdroje (halogenová výbojka) je světlo fokusováno v kondenzoru na vstupní štěrbinu monochromátoru (firma Oriol, typ Cornerstone 150 - počítačem lze vybrat požadovanou vlnovou délku světla). Z monochromátoru je pak světlo o různých vlnových délkách (zpravidla se jedná o 25 vlnových délek v rozsahu:  $350 \pm 5$  nm,  $360 \pm 5$  nm až  $600 \pm 5$  nm) vyvedeno pomocí speciálního svazku optických vláken k osvětlovacímu prvku, který umožňuje rovnoměrně osvětlit vzorek v deponiční komoře po odrazu svazku prvním děličem a následným průchodem vakuovým okénkem do komory. Na povrch vzorku je nasměrováno kulové odrazné zrcadlo (vyrobene ve Vývojové optické dílně AV ČR Turnov), které odražené světlo z povrchu vzorku (prošle opět prvním a následně i druhým děličem) odrazí a po odrazu od druhého děliče zobrazí povrch vzorku na čip CCD kamery (černobilá SBIG ST-7XE, Santa Barbara).



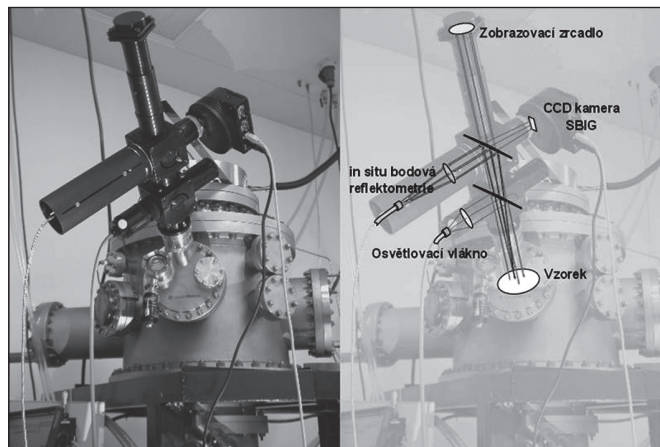
Obr. 10 Schéma principu zobrazovací reflektometrie, která tvoří základ funkce přístroje **InSitu-AreaSampler**. Vzorek je osvětlen rovnoběžným svazkem kvazimonochromatického světla monochromátorem vybraných vlnových délek. Povrch vzorku je zobrazen na čip CCD kamery, jejíž jednotlivé pixely slouží jako nezávislé pracující detektory intenzit odraženého světla z „mikro“ plošky vzorku o rozměrech cca  $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ . Celkově je tak naráz zkoumána plocha vzorku cca  $1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$

Naproti CCD kameře se nachází vstupní otvor, ke kterému lze připojit kompletní měřicí optické zařízení **InSitu-SpotSampler**, které může měřit relativní spektrální odrazivost vzorku s vrstvou vůči původně čistému substrátu Si způsobem, který byl popsán výše. Změnou oproti zmiňovaným experimentům (viz obr. 7) je jiná konfigurace připojení tohoto zařízení – světlo ze svazku šesti

osvětlovacích vláken reflexní sondy je po průchodu fokusační čočkou odraženo děličem směrem k povrchu vzorku (po průchodu prvním děličem a vakuovým okénkem dopadá na vzorek a osvětluje jej bílým světlem). Odezva systému vrstva-substrát je pak snímána ve vyčítacím vlákně. Tak lze získat in situ odrazivost systému v jednom bodě povrchu a po vyhodnocení programem **Spektra3** stanovit hodnoty optických parametrů (viz např. výsledky prezentované v obr. 8). Konstrukční výkres sestavy zařízení je na obr. 11 a kompletní výkresová dokumentace je součástí diplomového úkolu [13].



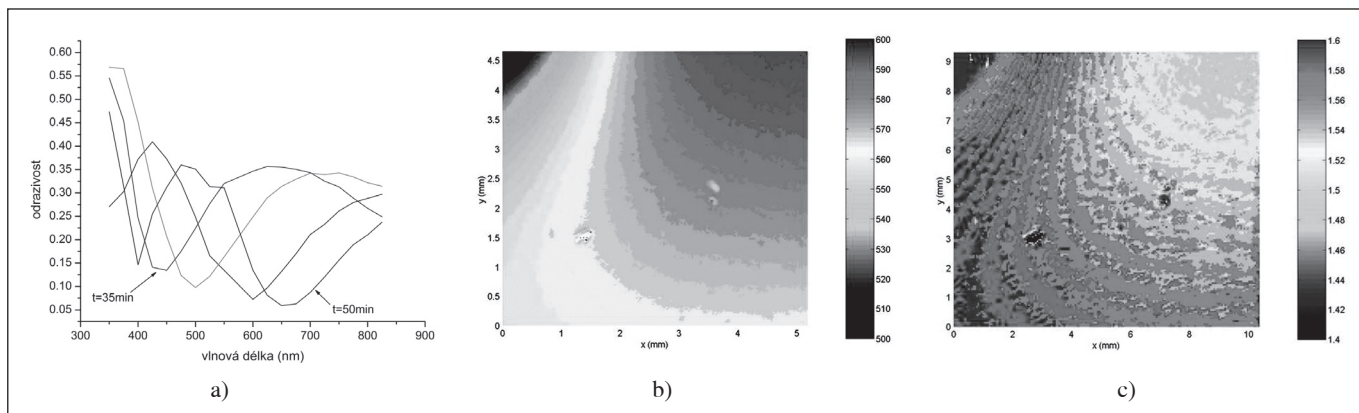
Obr. 11 Výkres sestavy optického měřicího zařízení **InSitu-AreaSampler**



Obr. 12 Fotografie a schematické znázornění chodu jednotlivých paprsků optickými měřicími zařízeními **InSitu-AreaSampler** a **InSitu-SpotSampler** připojených k deponiční komoře IBAD

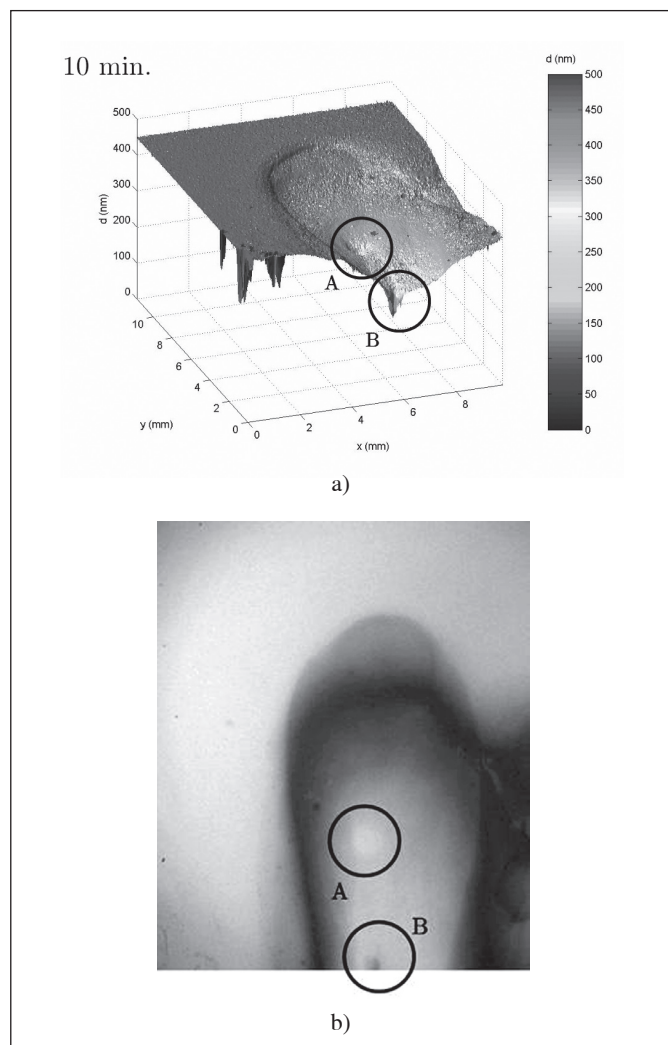
Na obr. 12 se pak nachází fotografie i se schematickým znázorněním chodu jednotlivých paprsků zařízením **InSitu-AreaSampler** a **InSitu-SpotSampler** připojených k deponiční komoře IBAD.

Při testování funkce nového přístroje byla provedena řada in situ měření spektrální odrazivosti plošných vzorků např. při depozici či leptání vrstev v IBAD aparatuře, případně na optické lavici. Opět byla použita výše popsaná metoda sledování relativních změn intenzit odraženého monochromatického světla od referenčního (tj. původního substrátu či systému vrstva – substrát) vzorku o známých optických parametrech a intenzit světla odraženého od vzorku v průběhu jeho modifikace. Na obr. 13 je jako příklad uvedeno vyhodnocení mapy tlouštěk vrstvy  $\text{SiO}_2$  na Si deponované v IBAD aparatuře. V části a) je uveden záznam vývoje odrazivosti v jednom z pixelů CCD kamery v různých časech depozice pro deset různých vlnových délek z intervalu 350 nm až 800 nm. Je z něj patrná podobnost s obr. 8, který je ovšem zaznamenaný pro spojitou oblast vlnových délek použitého světla. V částech b) a c) jsou pak vyobrazeny in situ



Obr. 13 Záznam vývoje odrazivosti v jednom z pixelů CCD kamery v různých časech depozice vrstvy  $\text{SiO}_2$  na Si v aparatuře IBAD (a). Mapa tloušťky (b) a indexu lomu vrstvy (c) určené in situ v 90. minutě depozice

získané mapy tlouštěk a indexu lomu vrstvy v 90. minutě depozice vrstvy  $\text{SiO}_2$  na Si. Je z nich patrná korelace výsledků, neboť charakter změn v chování obou optických parametrů  $n$  a  $d$  nápadně kopíruje odpovídající si geometrická místa na povrchu vzorku.



Obr. 14 Výsledek in situ měření tloušťky vrstvy  $\text{SiO}_2$  na Si v 10. minutě nehomogenního leptání pětiprocentní kyselinou HF. V části (a) je znázorněna mapa tlouštěk, v části (b) pak odpovídající mapa odrazivosti z plochy vzorku cca  $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$  pro dopadající světlo o vlnové délce 450 nm

Vzhledem k tomu, že zařízení je přenosné, lze jej s úspěchem použít rovněž i při měření plošné odrazivosti systémů modifikovaných i mimo aparaturu IBAD. Na obr. 14 je uvedeno rozložení tloušťky po povrchu původně homogenního vzorku  $\text{SiO}_2$  na Si leptaného pětiprocentní kyselinou HF (obr. 14 a). Z obrázku je patrný tvar hlavního kráteru, včetně dalších dvou menších uvnitř zapříčiněné pravděpodobně delším působením kyseliny v těchto místech po nedostatečném oplachu vzorku deionizovanou vodou. V pravé části obrázku je pak jako příklad uvedena mapa odrazivosti povrchu vzorku (o rozměrech cca  $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$ ) pro dopadající světlo o vlnové délce 450 nm (obr. 14 b). Na obou obrázcích jsou pro názornost označeny odpovídající si oblasti (kolem bodů A a B) na povrchu vzorku.

## 5. ZÁVĚR

V optické skupině Odboru povrchů a fyziky pevných látek na ÚFI FSI VUT v Brně se v posledních patnácti letech vyvíjí unikátní analytická zařízení, která by byla schopna in situ charakterizovat deponované, či modifikované vrstvy. Mezi tato zařízení patří i prototyp měřicího optického přístroje **InSitu-AreaSampler**, který se dosaženými výsledky úspěšně podílí na zdokonalování technologických procesů výroby a modifikace tenkých vrstev speciálních fyzikálních vlastností. Při jeho návrhu a vývoji souběžně vznikala celá řada optických měřicích zařízení, které napomohly rozvoji nové unikátní metody pracovně nazvané „zobrazovací reflektometrie“.

## Poděkování

Práce na tomto projektu byla finančně podporována Centrem základního výzkumu MŠMT LC06040: *Struktury pro nanofotoniku a nanoelektroniku* a granty GAČR 101/98/0772 a 101/98/0772.

## Literatura

- [1] KAUFMAN, H. R., CUOMO, J. J., HARPER, J. M. E.: Technology and applications of broad-beam ion sources used in sputtering. *J. Vac. Sci. Technol.*, 21 (1982) s. 725.
- [2] Projekt GAČR 101/98/0772: Návrh a konstrukce zařízení pro in situ měření plošné homogenity tenkých vrstev.
- [3] Projekt GAČR 102/02/0506: Návrh a konstrukce UV optického měřicího zařízení k in situ monitorování plošné homogenity růstu tenkých vrstev deponovaných metodou IBAD.
- [4] SPOUSTA, J., ŠIKOLA, T., CHMELÍK, R., HARNA, Z., JÁKL, M., ZLÁMAL, J., JIRUŠE, J., URBÁNEK, M., KOLLARČÍK, K., NEBOJSA, A.: Zařízení pro in situ monitorování plošné homogenity tenkých neabsorbujících vrstev. *Jemná mechanika a optika*, 11–12 (1999), ss. 355 – 358.

- [5] URBÁNEK, M., SPOUSTA, J., ŠIKOLA, T., ZLÁMAL, J., CHMELÍK, R., HARNA, Z., JIRUŠE, J., JÁKL, M.: In situ plošné monitorování optických parametrů tenkých vrstev, *Jemná mechanika a optika*, 4 (2001), ss. 143 – 145.
- [6] URBÁNEK, M., SPOUSTA, J., MATĚJKA, F., BUČEK, M., NEUGEBAUER, P., ŠIKOLA, T.: Systém pro měření homogenity optických vlastností tenkých vrstev, *Jemná mechanika a optika* 48, 6 (2003), s. 163.
- [7] VAŠÍČEK, A.: Optika tenkých vrstev, NČSAV, Praha 1956.
- [8] HANKA, L.: Teorie elektromagnetického pole, SNTL, Praha 1975
- [9] PALIK, E. D.: Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press, New York, 1991.
- [10] SZOTKOWSKI, R.: Vývoj zařízení na principu spektroskopické reflektometrie v oblasti UV/VIS záření, diplomová práce ÚFI FSI VUT v Brně, 2004
- [11] ŠIKOLA, T., SPOUSTA, J., DITTRICHOVÁ, L.: Equipment for Modification, Etching and Deposition of Thin Films Based on Broad Beam Ion Source, Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun. - Physics, Vol.22, Brno 1992, pp. 119-137
- [12] URBÁNEK, M.: Spektrální reflektometrie, doktorská disertační práce ÚFI FSI VUT v Brně, leden 2007
- [13] NEUGEBAUER, P.: Vývoj zařízení na principu spektroskopické reflektometrie v oblasti UV/VIS záření, diplomová práce ÚFI FSI VUT v Brně, 2005

doc. RNDr. Jiří Spousta, Ph.D., Ing. Michal Urbánek, doc. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D., Radek Plšek a prof. RNDr. Tomáš Šíkola, CSc., Ústav fyzikálního inženýrství, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno; tel.: +420 541 142 848, e-mail: spousta@fme.vutbr.cz

Ing. Tomáš Běhounek, Ústav matematiky FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno;

doc. RNDr. Karel Navrátil, CSc., Ústav fyziky kondenzovaných látek, Přírodovědecká fakulta MU Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, e-mail: kaja@physics.muni.cz

## Automatizované transportní systémy REXROTH

V roce 1963 byl firmou BOSCH poprvé uveden do provozu dnes již legendární dvoustopý montážní pás „Dogumoba“, předchůdce úspěšného dopravníkového systému TS 2. Více než 40leté zkušenosti s konstrukcí, vývojem a výrobou paletových dopravníkových systémů (dále jen transfer-systémů) vynesly koncern BOSCH REXROTH AG mezi světovou špičku výrobců flexibilních montážních a výrobních systémů.

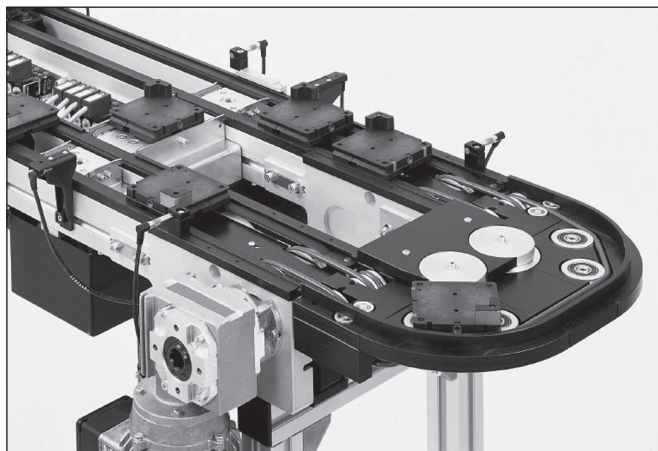
Dopravníkové paletové systémy REXROTH se vyznačují modulárním stavebnicovým uspořádáním, vysokou provozní spolehlivostí, kvalitou zpracování a širokým spektrem použití pro nejrůznější průmyslové aplikace.

Flexibilita transfer-systémů umožňuje propojením manuálních a automatizovaných pracovišť vytvořit investičně výhodné produkční systémy s ohledem na požadovaný počet a variabilitu produktů.

Předností horizontálních transfer-systémů je, že palety s polotovarem (obrobky) jsou během oběhu na dopravníkové trase přístupné ze všech stran pro požadované technologické operace. Jednotlivé palety mohou být opatřeny datovým nosičem, což umožňuje sledovat (číst a zapisovat) např. stav rozpracovanosti výroby, řídit směr pohybu palet v rozvětvených systémech v závislosti na technologických požadavcích apod.

Transfer systémy REXROTH lze použít i pro EPA prostředí (ESD Protected Area), tzn. všude tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na ochranu přepravovaných produktů před elektrostatickým výbojem (ESD-Electro Static Discharge).

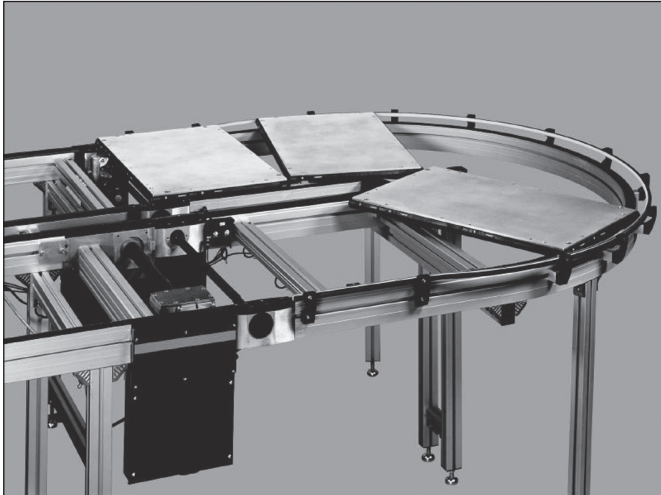
Pro racionální produkci menších výrobků nebo montážních skupin lze s výhodou použít transfer-systém řady TS 1. Systém TS 1 nabízí vše, co je důležité pro precizní a rychlou výrobu. Vysoký výkon díky krátkým dobám cyklů, kompaktní rozměry palet od 80 x 80 až 160 x 160 mm s celkovou nosností až 3 kg/paletu, vysokou přesnost polohování +/- 0,015 mm. Značnou výhodou jsou malé zástavbové rozměry a snadné začlenění dopravníkového systému do již zaběhnuté technologie. Mezi typické aplikace transfer-systémů TS 1 patří např. oblast jemné mechaniky (malé motorky, spínače), elektroniky (pevné disky pro PC, regulátory, senzory), lékařské techniky (sluchadla, kardiostimulátory), optiky (kontaktní čočky) a jiné.



Kompaktní, rychlý a precizní systém TS 1

Všestranným transfer-systémem pro hospodárnou výrobu je systém TS 2plus. Jako jedny z mála transfer-systémů jsou také certifikovány Fraunhoferovým institutem IPA pro použití v prostředích se zvýšenými nároky na čistotu (tzv. Clean Room). Podle typu komponentů lze garantovat použití systému TS 2plus pro třídu čistoty od 100 do 10000. Díky množství stavebnicových prvků lze bez problémů přizpůsobit speciálním požadavkům na uspořádání výrobních linek. Nosič polotovarů, tedy transportní paleta, je k dispozici ve velikostech od 160 x 160 až po 1040 x 800 mm s celkovou nosností až 70 (100) kg/paletu. Vedle různých přepravních médií (paleta je unášena buďto polyamidovým pásem, ozubeným řemenem, plochým destičkovým nebo válečkovým řetězem) nabízí systém TS 2plus celou škálu specifických stavebních celků jako např. příčných posuvů, zatáčkových modulů, polohovacích jednotek (přesnost polohování až +/- 0,05 mm) a pohonů. Variabilní stavebnicový systém umožňuje realizaci dopravníkových tras téměř libovolných tvarů. Náročnost projektování a plánování

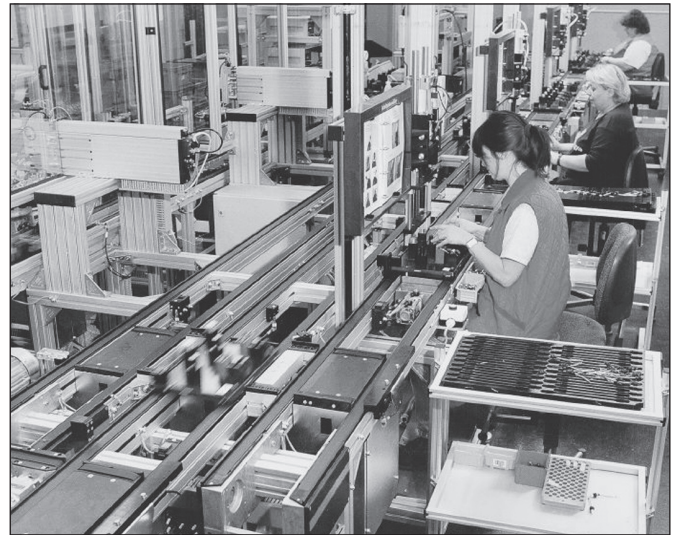
transfer-systémů lze pomocí předdefinovaných makromodulů snížit na minimum. Široké pole působnosti nachází transfer-systém TS 2plus mezi dodavateli automobilového průmyslu (řídící jednotky motorů, autorádia, světlomety, střešní okna), výrobci elektroniky (počítače, monitory, tiskárny, dekodéry), výrobci kuchyňských spotřebičů (kávovary, žehličky), elektronářadí (ruční vrtačky, brusky) a jiné.



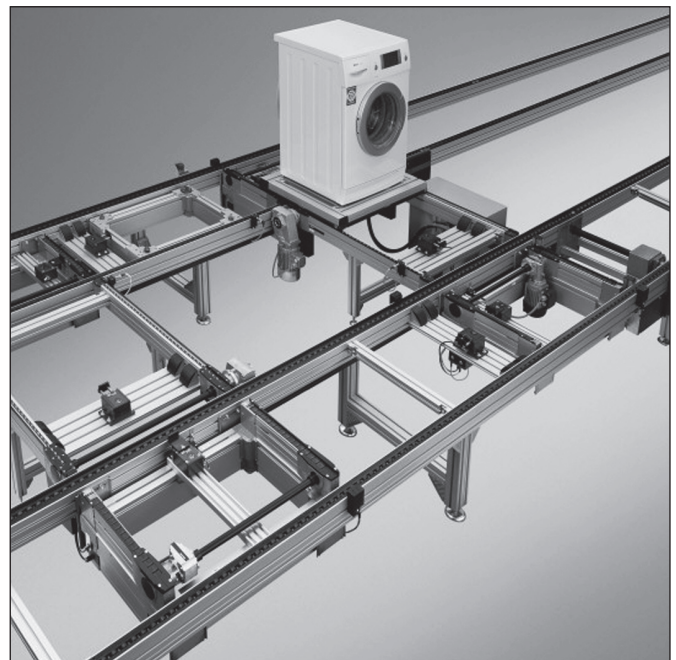
TS 2plus pro zatížení až 100kg

Převrta těžkých polotovárů až do 250 kg je doménou robustního transfer-systému TS 4plus. Pomocí stavebnicového systému TS 4plus lze snadno realizovat jak jednoduché systémy přímého nebo obdélníkového uspořádání, tak také složitě větvené, komplexní topologie transportních systémů. Paleta, která je vyráběna ve 30 standardních provedeních o rozměrech od 443 x 4443 do 1243 x 1243 mm a dvou různých tloušťkách je unášena velmi odolnými válečkovými řetězy s nízkým třením. Bezpečný transport palety je tak zajištěn i ve ztížených výrobních podmínkách. Podobně jako u menšího systému TS 2plus je paleta na dopravníku bočně vedena a může být také nasazena na klasické válečkové dráze. Typickým příkladem použití systému TS4plus je oblast bílé techniky (pračky, ledničky), zahradní techniky, větší domácí techniky, automobilový průmysl (sedadla, montážní celky) a jiné.

*Ing. Petr Žalud*



Poloautomatizovaná výroba napínačů bezpečnostních pásů pro osobní automobily, ESD provedení pracoviště



Uplatnění paletových dopravníkových systémů při montáži bílé techniky

Ing. Petr Žalud, e-mail: petr.zalud@boschrextoth.cz, tel.: 548 126 363, fa: 548 126 354

# Considerations about the light reflectance digital imaging colorimetry under linear approach

*The principle, relevant theory and properties of the considered actual light reflectance digital imaging colorimetry by means of a suitable three-channel (3CCD) digital color camera are described in the present article. These aspects relate to the chosen commonly acceptable idealized linear model of camera color operations with respect to the standard observer and camera spectral response functions, spectral power density of the illuminant and spectral reflectance of the color sample surface at each pixel location in the camera image plane. The introduced optimal mathematical expressions of analytical and matrix forms relate to the CIE tristimulus color coordinates (X, Y, Z), the camera (R, G, B) digital output color data and the spectral reflectance of a color sample. Their useful relationships are ensured by exploitation of a suitable mean-squares approximation. The linearly combined solutions, proposed in this article, are a useful extension of other approaches in branches dealing with light reflectance color samples.*

**Keywords:** Light reflectance digital imaging colorimetry, digital color camera, tristimulus color coordinates, camera digital output color data

## 1. INTRODUCTION

The digital imaging colorimetry, also called the pixel-resolution digital imaging colorimetry, is a modern discipline for measurement and evaluation of colors. It was originally proposed above all by [1-4] and it is based standardly on exploitation of a digital color (trichromatic, three-channel) camera for applications in which knowledge of the sample surface color content is needed. Such a camera also benefits from color pattern recognition with improvement of the color and shape discrimination capabilities (see e.g. [5-14]). The digital imaging colorimetry represents a higher evolutionary step of its analog alternatives described, for example, in [15-19].

The following sections contain the considerations about the light reflectance digital imaging colorimetry under commonly acceptable idealized linear model of a three-channel (3CCD) digital camera color operations with respect to the standard observer and camera spectral response functions, spectral power density of the light illumination source (illuminant) and spectral reflectance of the color sample surface at each pixel location in the camera image plane. Such a model provides the pixel-resolution color evaluation, or determination of the average color content over the whole camera image plane. After short explanation of the principle of the digital imaging colorimetry, the optimal relations between the CIE tristimulus components (X, Y, Z) and the corresponding digital output components (R, G, B)<sub>CCD</sub> in color measurement of a light reflectance sample, partially motivated and also verified by other authors, are formulated in analytical and matrix forms in regard of the necessary application of a suitable mean-squares approximation. In addition, the next section of this article contains the consideration about an optimal possibility of recovering the spectral reflectance of a color sample from the known (R, G, B)<sub>CCD</sub> digital output values.

The obtained solutions are restricted by assumption that the product of camera illumination spectrum and camera spectral response curve can be expressed as a linear combination of the product of illumination and standard observer spectral curves. Nevertheless, such solutions seem to be a profitable enriching of other contemporary approaches in the digital colorimetric practice.

## 2. PRINCIPLE OF THE DIGITAL IMAGING COLORIMETRY

Digital color cameras, commonly with dichroic mirrors and elementary photodetectors (sensors, cells) in the discrete plane array of CCD (charge-coupled device) distinctive chip substances, are often used to capture high-quality color images. A PC controls and evaluates the processes of camera image gathering, digitizing, adapting, interpolation, conversion (recovering) and displaying subsystems [12, 13]. The analog (continuous) resultant output color video signal of the camera is digitized (divided) by PC into three image matrices, i. e. red [R<sub>CCD</sub>], green [G<sub>CCD</sub>], and blue [B<sub>CCD</sub>]. Thus, each pixel in the camera image plane is characterized by three values of chosen common abbreviation (R, G, B)<sub>CCD</sub>. The (R, G, B)<sub>CCD</sub> values basically depend not only on the reflectance  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  of the opaque sample under measurement, or on the transmittance  $\mathcal{T}(\lambda; n_1, n_2)$  or absorbance  $\mathcal{A}(\lambda; n_1, n_2)$  of a sufficiently thin measured sample, but also on the spectral response curves  $\mathcal{H}_i(\lambda; n_1, n_2)$  of the camera and on the spectral power density (spectral radiant power distribution) of the illuminant  $\mathcal{E}(\lambda; n_1, n_2)$ . The integer values  $n_1 = 1, 2, \dots, N_1$  and  $n_2 = 1, 2, \dots, N_2$  express the order (relative spatial coordinates) of pixels in the two-dimensional camera image plane, i. e. their locations in the horizontal (row) and vertical (column) directions, while  $i = 1, 2, 3$  represents the  $i$ -th CCD sensor color sensitive component at pixel location  $(n_1, n_2)$ , i.e. the R, G and B color components. High-quality color cameras have a control device called the white balance which is intended for compensation of variations in the (R, G, B)<sub>CCD</sub> values by a change of the light source. This compensation mechanism is related to the property of color constancy of the human visual system. The changes of the (R, G, B)<sub>CCD</sub> values are less when the white balance is applied [2, 19].

## 3. RELATIONS BETWEEN THE CIE TRISTIMULUS AND DIGITAL COMPONENTS IN COLOR MEASUREMENT OF A LIGHT REFLECTANCE SAMPLE

Let us consider a usual opaque sample, generally of nonuniform color distribution and of characteristic reflectance spectral composition function  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$ , which is captured by a digital 3CCD color camera under illumination  $\mathcal{E}(\lambda; n_1, n_2)$ . In accordance with

[2, 3], the corresponding  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$  digital values that represent the sensor outputs of a 3CCD color camera (i.e. the color signals, or the so-called sensor quantum catches) are proportional to the compact general expression

$$e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) = \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{H}_i(\lambda; n_1, n_2) d\lambda \quad (1)$$

for the pixel locations  $(n_1, n_2)$ , light wavelength range  $\Delta\lambda$  and  $i$ -th color component ( $i = 1, 2, 3$ ). On the other hand, the outputs of an analog (ordinary, common) colorimeter for a standard observer (SO) and camera pixel points  $(n_1, n_2)$  are

$$e_{i,\text{SO}}(n_1, n_2) = \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}_s(\lambda) h_i(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

They are proportional to the  $(X, Y, Z)_{\text{SO}}$  values of the tristimulus color coordinates of Eqs. (1) in [20] relating to a pixel position  $(n_1, n_2)$ . The function  $h_i(\lambda)$  represents the spatially uniform (isotropic) standard observer spectral curves  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  and  $\bar{z}(\lambda)$ , averaged over the whole eye retina area (see also the section 3 in [20]), and  $\mathcal{E}_s(\lambda)$  is a standard uniform illumination by, for example, the standard illuminant of type C (its CIE 1931 relative coordinates are  $x = 0.3101$ ,  $y = 0.316$  and its equivalent color temperature  $T_{\text{eq}} = 6774$  K) or by the illuminant  $D_{65}$  ( $x = 0.3127$ ,  $y = 0.3290$ ,  $T_{\text{eq}} = 6504$  K). Of course, also other suitable standard illuminants exist [17,19,21], including the illuminant E (already mentioned in section 3 of [20]) or the direct sunlight ( $x = 0.336$ ,  $y = 0.350$ ,  $T_{\text{eq}} = 5335$  K).

The aim of further considerations is to present an algorithm to obtain the tristimulus values  $(X, Y, Z)_{\text{SO}}$  from the  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$  values of a color sample ascertained by a digital 3CCD camera. Such algorithm, motivated by [3, 4], is a preliminary step to calculation of other color components introduced, for example, in [16,17,20]. To solve successfully the problem mentioned above, it is suitable to ensure that the camera measurement illumination is uniform over the image and the camera can be calibrated such that the spectral response of each CCD element is the same (isotropic) over the entire camera sensor array. Thus, the obtainable following equalities can be accepted:

$$\mathcal{E}(\lambda; n_1, n_2) = \mathcal{E}(\lambda), \quad (3)$$

$$\mathcal{H}_i(\lambda; n_1, n_2) = \mathcal{H}_i(\lambda). \quad (4)$$

Also may be assumed the linear dependence

$$\mathcal{E}(\lambda) = K \mathcal{E}_s(\lambda), \quad (5)$$

where  $K$  is a suitable proportional constant, which follows from the previous knowledge of  $\mathcal{E}_s(\lambda)$  and  $\mathcal{E}(\lambda)$ . This condition can be met by using camera illuminants that are spectrally matched with those of the analog colorimeter.

Although the conditions of Eqs. (3) – (5) can be achieved, the color camera response curves  $\mathcal{H}_i(\lambda)$  are not exactly proportional to the standard human eye spectral curves  $h_i(\lambda)$ . In addition, these spectra are band-limited. Therefore, the product  $\mathcal{E}(\lambda)\mathcal{H}_i(\lambda)$  for a color digital camera can be mapped into the product  $\mathcal{E}_s(\lambda)h_i(\lambda)$  for an analog colorimeter using a linear model. In accordance with [2-4], we can accept the linear model equation which chosen acceptable form is

$$\mathcal{E}(\lambda)\mathcal{H}_i(\lambda) = K \sum_{j=1}^3 a_{ij} \mathcal{E}_s(\lambda) h_j(\lambda), \quad (6a)$$

or equivalently

$$\mathcal{E}_s(\lambda)\mathcal{H}_i(\lambda) = \sum_{j=1}^3 a_{ij} \mathcal{E}_s(\lambda) h_j(\lambda). \quad (6b)$$

The values of the optimal scaling factors  $a_{ij}$ , derived afterwards, follow from the known spectral products of Eqs. (6) by the mean-squares approximation. Using this approximation, the function  $f_i(\lambda)$  defined as

$$f_i(\lambda) = \left[ \mathcal{E}(\lambda)\mathcal{H}_i(\lambda) - K \sum_{j=1}^3 a_{ij} \mathcal{E}_s(\lambda) h_j(\lambda) \right]^2, \quad (7)$$

must be minimized. In such a case, Eq. (1) becomes

$$e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) = \sum_{j=1}^3 a_{ij} K \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}_s(\lambda) h_j(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

for  $i = 1, 2, 3$ .

For sufficiently dense pixels array, the dependence of Eq. (8) on  $(n_1, n_2)$  can be ignored, practically. If this dependence must be considered, the relevant independence on  $(n_1, n_2)$  represents the averaged form of Eq. (8), i. e.

$$e_{i,\text{CCD}} \hat{=} \bar{e}_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{N_2} e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2). \quad (9)$$

Such a form represents the average color content over the whole CCD camera image. Moreover, the choice  $\mathcal{E}_s(\lambda) = 1$  in Eq. (8) relates to an equienergetic white light illuminant or to the first (rough) approximation of any ordinary white illumination.

The relations of Eq. (8) for all values  $i = 1, 2, 3$  can be advantageously represented by the  $3 \times 1$  (column) matrix by means of the extended relation

$$e_{\text{CCD}}(n_1, n_2) = \sum_{i=1}^3 e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} K \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}_s(\lambda) h_j(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

and by rules for matrix products. Thus

$$\left[ e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) \right] = \left[ a_{ij} \right] \left[ K e_{i,\text{SO}}(n_1, n_2) \right], \quad (11)$$

if need be

$$\left[ e_{i,\text{SO}}(n_1, n_2) \right] = K^{-1} \left[ a_{ij} \right]^{-1} \left[ e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) \right], \quad (12a)$$

or

$$\begin{bmatrix} X(n_1, n_2) \\ Y(n_1, n_2) \\ Z(n_1, n_2) \end{bmatrix} = K^{-1} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} R_{\text{CCD}}(n_1, n_2) \\ G_{\text{CCD}}(n_1, n_2) \\ B_{\text{CCD}}(n_1, n_2) \end{bmatrix}, \quad (12b)$$

where the regular existence of the presented inverse matrix is assumed.

In accordance with Eqs. (1) of [20] and (2), the matrices of Eqs. (12) contain the following tristimulus (normalized) colorimetric values:

$$\begin{aligned} X(n_1, n_2) &= k e_{1,\text{SO}}(n_1, n_2), \\ Y(n_1, n_2) &= k e_{2,\text{SO}}(n_1, n_2), \\ Z(n_1, n_2) &= k e_{3,\text{SO}}(n_1, n_2). \end{aligned} \quad (13)$$

They represent the elements of  $3 \times 1$  matrix

$$k \left[ e_{i,\text{SO}}(n_1, n_2) \right] = \left[ (X, Y, Z)_{\text{SO}}(n_1, n_2) \right]. \quad (14)$$

On analogy, Eqs. (12) include also the corresponding color camera digital values of the chosen normalized forms

$$\begin{aligned}
R_{\text{CCD}}(n_1, n_2) &= ke_{1,\text{CCD}}(n_1, n_2), \\
G_{\text{CCD}}(n_1, n_2) &= ke_{2,\text{CCD}}(n_1, n_2), \quad B_{\text{CCD}}(n_1, n_2) = ke_{3,\text{CCD}}(n_1, n_2)
\end{aligned} \quad (15)$$

representing the elements of 3 x 1 matrix

$$k[e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2)] = [(R, G, B)_{\text{CCD}}(n_1, n_2)]. \quad (16)$$

Solving the linear matrix transformations (12), one obtains the three tristimulus values  $(X, Y, Z)_{\text{SO}}$  from the digital values  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$ , both related to the CCD array and pixel position  $(n_1, n_2)$ . The normalizing coefficient  $k$  is given by its definition of Eq. (2) in [20] for  $\bar{y}(\lambda) = h_2(\lambda)$ . If the matrix  $[(R, G, B)_{\text{CCD}}(n_1, n_2)]$  is found by a 3CCD color camera measurement and the matrix  $[(X, Y, Z)_{\text{SO}}(n_1, n_2)]$  is determined by a suitable comparative classical analog colorimeter for the same color sample, Eqs. (11) and (12) make possible the determination of the products  $K[a_{ij}]$  and  $-K^{-1}[a_{ij}]^{-1}$ , or of the partial matrices  $[a_{ij}]$  and  $[a_{ij}]^{-1}$  for the known proportional constant  $K$ , which is ascertainable by Eq. (5). The constant  $K$  also follows from Eqs. (11) and (12) when, beforehand, their all matrices are known.

Commonly, the 3 x 3 optimal characteristic matrix  $[a_{ij}]$  for the linear model of Eq. (8) can be derived independently. Such derivation for a given illuminant of radiant spectrum  $\mathcal{E}(\lambda)$  and the known standard observer eye responses  $h_i(\lambda)$  is ensured by the similar procedure of [3, 4]. The procedure exploited in this section is based acceptably on estimation of the generalized real response vectors

$$\mathbf{p}_i = \{\mathcal{E}(\lambda_1)\mathcal{H}_i(\lambda_1), \dots, \mathcal{E}(\lambda_M)\mathcal{H}_i(\lambda_M)\}, \quad (17)$$

$$\mathbf{q}_i = \{\mathcal{E}(\lambda_1)h_i(\lambda_1), \dots, \mathcal{E}(\lambda_M)h_i(\lambda_M)\}, \quad (18)$$

$$\mathbf{r}_i = \sum_{j=1}^3 a_{ij}\mathbf{q}_j \triangleq \sum_{j=1}^3 a_j\mathbf{q}_j, \quad (19)$$

which components are calculated for equidistant wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$  in the visible range  $\Delta\lambda$  of the illuminant electromagnetic radiation. For instance, the calculations for every 5 nm are sufficient. By means of these vectors, the scalar function  $f_i(\lambda)$  of Eq. (7) can be replaced by an inner product of possible expressions:

$$\begin{aligned}
f &= (\mathbf{p}_i - \mathbf{r}_i)(\mathbf{p}_i - \mathbf{r}_i)^T = \mathbf{p}_i(\mathbf{p}_i)^T - \mathbf{r}_i(\mathbf{p}_i)^T - \mathbf{p}_i(\mathbf{r}_i)^T + \mathbf{r}_i(\mathbf{r}_i)^T = \\
&= \mathbf{p}_i\mathbf{p}_j - \mathbf{r}_i\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i\mathbf{r}_j + \mathbf{r}_i\mathbf{r}_j = \\
&= \mathbf{p}_i\mathbf{p}_j - \sum_{j=1}^3 a_j(\mathbf{q}_j\mathbf{p}_j) - \sum_{i=1}^3 a_i(\mathbf{p}_i\mathbf{q}_i) + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 a_j a_i(\mathbf{q}_j\mathbf{q}_i).
\end{aligned} \quad (20)$$

The superscript T in Eqs. (20) denotes the permitted suitable transpose operations of the considered  $M$ -dimensional vectors which inner products are commutative. Moreover, the introduced simpler coefficients are:  $a_j = a_{ij}$  for  $i = \text{constant}$ ,  $a_i = a_{ij}$  for  $j = \text{constant}$ . Because the values of determinants of the square matrices introduced afterwards do not change with their transposing, we can accept the equality  $a_{ij} = a_{ji}$ .

If the 3 x 3 matrix  $[\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j]$  is defined with elements  $(\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j)$  (commonly treated as the symmetrical matrix), the 3 x 1 (column) matrix  $[\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j]$  with elements  $(\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j)$ , the 1 x 3 (row) matrix  $[\mathbf{p}_j\mathbf{q}_i]$  with elements  $(\mathbf{p}_j\mathbf{q}_i)$ , the vector (1 x 3 matrix)  $\mathbf{a}_j \triangleq [a_j]$  with components (elements)  $a_j$  and the vector (3 x 1 matrix)  $\mathbf{a}_i \triangleq [a_i]$  with components (elements)  $a_i$ , Eqs. (20) can be rewritten into the possible vector-matrix form as

$$f = \mathbf{p}_i\mathbf{p}_j - \mathbf{a}_j[\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j] - \mathbf{a}_i[\mathbf{p}_j\mathbf{q}_i] + \mathbf{a}_j\mathbf{a}_i[\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j]. \quad (21)$$

Such a form is an advantage for determination of the required minimum relating to the optimal structure of the whole matrix  $[a_{ij}]$ .

To find a minimum of Eq. (21), the partial derivatives  $\partial f / \partial \mathbf{a}_j$  and  $\partial f / \partial \mathbf{a}_i$  equated to zero are sufficient [3-5,22]. Their simple forms are

$$\frac{\partial f}{\partial \mathbf{a}_j} = -[\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j] + \mathbf{a}_i[\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j] = 0, \quad (22a)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \mathbf{a}_i} = -[\mathbf{q}_j\mathbf{p}_j] + \mathbf{a}_j[\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j] = 0. \quad (22b)$$

The corresponding solutions become

$$\mathbf{a}_i \triangleq [\mathbf{a}_i] = [\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j]^{-1}[\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j], \quad (23a)$$

$$\mathbf{a}_j \triangleq [\mathbf{a}_j] = [\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j]^{-1}[\mathbf{q}_j\mathbf{p}_j]. \quad (23b)$$

Simultaneously, the regular existence of the previous inverse matrix is assumed. Combining Eqs. (23) for all values  $i = 1, 2, 3$  and  $j = 1, 2, 3$ , we obtain the resultant matrix relation of the form

$$[\mathbf{a}_{ij}] = [\mathbf{q}_i\mathbf{q}_j]^{-1}[\mathbf{q}_i\mathbf{p}_j\mathbf{q}_j\mathbf{p}_j]. \quad (24)$$

Using the considered least-squares approximation of the factors  $a_{ij}$ , we obtain the matrix result of Eq. (24). Once such result is achieved for the given illumination  $\mathcal{E}(\lambda)$  and a digital 3CCD color camera, the relevant matrix digital transformation of Eqs. (12) for the  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$  values of the camera to the corresponding  $(X, Y, Z)_{\text{SO}}$  tristimulus color coordinates is established, generally in dependence on the pixel locations  $(n_1, n_2)$ . Such dependence can be overcome by averaging the results in accordance with Eq. (9).

#### 4. RECOVERING THE SPECTRAL REFLECTANCE OF A COLOR SAMPLE FROM THE KNOWN $(R, G, B)_{\text{CCD}}$ DIGITAL VALUES

An important problem in the colorimetric practice is whether the sample surface reflectance spectrum  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  can be determined from the knowledge of the digital camera output of Eq. (1) or (8). Such a problem is solved in this section under acceptable assumption of validity of Eqs. (3) – (6).

For the purpose mentioned above, we express advantageously the sought spectrum  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  as the weighted sum of basis spectral reflectance functions  $\mathcal{R}_v(\lambda)$ , i.e.

$$\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) = \sum_{v=1}^{\kappa} \rho_v(n_1, n_2)\mathcal{R}_v(\lambda). \quad (25)$$

In this finite linear model of  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$ , it is assumed that the basis functions  $\mathcal{R}_v(\lambda)$  do not vary with pixel location  $(n_1, n_2)$  in the digital CCD camera image plane and they are known. There are obtainable by separate averaged spectrophotometric measurements and their total number  $\kappa$  represents the number of degrees of freedom in the model. Because the functions  $\mathcal{R}_v(\lambda)$  and  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  can be treated as spectrally band-limited, the total number  $\kappa$  in Eq. (25) can be considered as proportional to the band limit [2, 23-25]. The knowledge of the weights  $\rho_v(n_1, n_2)$  relating to  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  amounts to complete knowledge of  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$ . Thus it is enough the assessment of these weights. The experience shows that the models of Eq. (25) provide excellent approximations to many naturally occurring spectral reflectances with only a few basis functions  $\mathcal{R}_v(\lambda)$ .

The substitution of Eq. (25) into the considered Eq. (1) for accepted assumptions of Eqs. (3) – (6) permits us to express the sought relationship between the functions  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  and  $e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2)$  for the  $i$ -th digital camera color channel as

$$\begin{aligned}
e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) &= \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}(\lambda) \mathcal{H}_i(\lambda) d\lambda = \\
&= \sum_{j=1}^3 a_{ij} \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}(\lambda) h_j(\lambda) d\lambda = \\
&= \sum_{v=1}^{\kappa} \rho_v(n_1, n_2) \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda) \mathcal{E}(\lambda) \mathcal{H}_i(\lambda) d\lambda = \\
&= \sum_{j=1}^3 a_{ij} \sum_{v=1}^{\kappa} \rho_v(n_1, n_2) \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda) \mathcal{E}(\lambda) h_j(\lambda) d\lambda, \quad (26)
\end{aligned}$$

where  $\mathcal{E}(\lambda)$  represents the given (known) sample uniform illumination which is already introduced by Eq. (5) in the section 3, together with interpretation of the remaining functions included in Eqs. (26).

At first, let be considered separately the more complex last approximate term of Eqs. (26) which suitably reformulated form is

$$\begin{aligned}
e_{\text{CCD}}(n_1, n_2) &= \\
&= \sum_{i=1}^3 e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \sum_{v=1}^{\kappa} \rho_v(n_1, n_2) \\
&\quad \times \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}(\lambda) h_j(\lambda) d\lambda. \quad (27)
\end{aligned}$$

Such a form enables namely to introduce the corresponding matrix form as

$$\begin{bmatrix} e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_v(n_1, n_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_{iv,\text{SO}} \end{bmatrix}, \quad (28)$$

whose more useful alternative for our aim is

$$\begin{bmatrix} \rho_v(n_1, n_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ij} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \eta_{iv,\text{SO}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) \end{bmatrix}. \quad (29a)$$

This alternative expresses explicitly the representative reflectance weights  $\rho_v(n_1, n_2)$  of a suitable total number  $\kappa$  contributing sufficiently to the reflectance  $\mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2)$  under recovering. These weights form the required  $3 \times 1$  matrix  $[\rho_v(n_1, n_2)]$ ,  $[a_{ij}]$  is the  $3 \times 3$  matrix of scaling factors which were introduced by Eqs. (6) and (24),  $[e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2)]$  denotes the  $3 \times 1$  matrix of the considered 3CCD camera sensors outputs of Eqs. (26) and  $[\eta_{iv,\text{SO}}]$  is the  $\kappa \times 3$  lighting matrix which  $iv$ -th element is of the form

$$\eta_{iv,\text{SO}} = \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda) \mathcal{E}(\lambda) h_i(\lambda) d\lambda. \quad (30)$$

From Eq. (29a) follows that the recovery of  $\kappa$  weights of forms  $\rho_v(n_1, n_2)$  consists in solving the set of  $\kappa$  linear equations. The unique solution of Eq. (29a) relates to the equality  $\kappa = 3$ . For such a solution, the following transcribed matrix form of Eq. (29a) is suitable:

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \rho_1(n_1, n_2) \\ \rho_2(n_1, n_2) \\ \rho_3(n_1, n_2) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^{-1} \\
&\times \begin{bmatrix} \eta_{11,\text{SO}} & \eta_{12,\text{SO}} & \eta_{13,\text{SO}} \\ \eta_{21,\text{SO}} & \eta_{22,\text{SO}} & \eta_{23,\text{SO}} \\ \eta_{31,\text{SO}} & \eta_{32,\text{SO}} & \eta_{33,\text{SO}} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} e_{1,\text{CCD}}(n_1, n_2) \\ e_{2,\text{CCD}}(n_1, n_2) \\ e_{3,\text{CCD}}(n_1, n_2) \end{bmatrix}. \quad (29b)
\end{aligned}$$

We can summarize that the described spectral reflectance recovery consists in spectrophotometric determination of  $\mathcal{R}_v(\lambda)$ , then in calculation of  $\eta_{iv,\text{SO}}$  by Eq. (30) and  $a_{ij}$  by Eq. (24). The also needed

digital output values  $e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2)$  of Eqs. (8) and (12), relating to Eq. (16), are produced by the color camera utilized. Finally, Eqs. (29) must be used.

The previous recovery procedure becomes simpler for the camera spectral responses  $\mathcal{H}_i(\lambda)$  known beforehand. In this case, the relevant starting equations are of forms

$$\begin{aligned}
e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) &= \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}(\lambda; n_1, n_2) \mathcal{E}(\lambda) \mathcal{H}_i(\lambda) d\lambda = \\
&= \sum_{v=1}^{\kappa} \rho_v(n_1, n_2) \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda) \mathcal{E}(\lambda) \mathcal{H}_i(\lambda) d\lambda. \quad (31)
\end{aligned}$$

The relevant resultant expression, needed for recovering the spectral reflectance, is

$$\begin{bmatrix} \rho_v(n_1, n_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{iv,\text{CCD}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} e_{i,\text{CCD}}(n_1, n_2) \end{bmatrix}, \quad (32)$$

where

$$\eta_{iv,\text{CCD}} = \int_{\Delta\lambda} \mathcal{R}_v(\lambda) \mathcal{E}(\lambda) \mathcal{H}_i(\lambda) d\lambda. \quad (33)$$

## 5. CONCLUSION

The contribution of the present article consists in coherent considerations about the possibility of a digital 3CCD color camera to operate as a light reflectance colorimeter in view of the investigation results existing so far. These considerations relate to the acceptable linear model of the camera image operations with respect to the standard observer and camera spectral response curves, spectral power density of the illuminant and the color sample surface light spectral reflectance at each pixel location in the two-dimensional camera image plane. Such a model provides the pixel-resolution color identification and evaluation, or the determination of the average color content over the whole camera image plane.

The theoretical background and the proposed measuring procedure by the considered digital imaging colorimetry relate to the derived comparative compact linear mathematical expressions for both the camera and the common colorimeter outputs and to their main relationship arranged by the mean-squares approximation. This relationship is then represented in a more objective matrix form, which makes possible to determine the classical tristimulus color coordinates  $(X, Y, Z)$  from the  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$  digital values obtained by the 3CCD color camera measurements. An additional possible way of calculation of the also needed matrix of optimal scaling factors, included in the basic matrix relationships, is also presented.

The introduced theoretical results are completed by the useful finite linear matrix model of color sample surface spectral reflectance recovering from the known  $(R, G, B)_{\text{CCD}}$  digital values. Such recovering is considered for spatially uniform sample illumination and either for the known standard observer spectral curves or the known camera spectral response functions.

The expressions introduced in this article relate largely to the given pixel locations and it is also emphasized that their dependence on these locations can be advantageously overcome by suitable values averaged over the whole image plane of a considered digital color camera.

The already published results and our experience show that the digital camera color specification and identification way of presented specific features is a useful actual extension of the classical analog manners. It provides acceptable results by suitably arranged devices. Such results can be exploited in many branches dealing with the reflectance colors and color samples.

## References

- [1] P. L. P. Dillon, D. M. Lewis, F. G. Kaspar: "Color imaging system using a single CCD area camera". *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. **ED-25** (1978), No. 2, pp. 102-107.



- [2] L. T. Maloney, B. A. Wandell: "Color constancy: a method for recovering surface spectral reflectance". *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. **76** (1986), No. 1, pp. 29-33.
- [3] M. L. Simpson, J. F. Jansen: "Imaging colorimetry: a new approach". *Appl. Opt.*, Vol. **30** (1991), No. 32, pp. 4666-4671.
- [4] M. Corbolán, M. S. Millán, M. J. Yzuel: "Color measurement in standard CIELAB coordinates using a 3CCD camera: correction for the influence of the light source". *Opt. Eng.*, Vol. **39** (2000), No. 6, pp. 1470-1476.
- [5] B. K. P. Horn: "Exact reproduction of colored images". *Comput. Vision, Graph. and Image Processing*, Vol. **26** (1984), pp. 135-167.
- [6] C. J. Dalton: "The measurement of the colorimetric fidelity of television cameras". In: *IERE Conf. on TV Measurements*. Montreux, No. 74 (1987).
- [7] N. J. Strachan, P. Nesvadba, A. R. Allen: "Calibration of a video camera digitising systems in the CIE L\*,u\*,v\* color space". *Pattern Recogn. Lett.*, Vol. **11** (1990), pp. 771-777.
- [8] C. Ferreira, M. S. Millán, M. J. Yzuel, J. Campos: "Experimental results in color pattern recognition by multichannel matched filtering". *Opt. Eng.*, Vol. **31** (1992), No. 10, pp. 2231-2237.
- [9] M. Corbolán, M. S. Millán, M. J. Yzuel: "Color image acquisition by charge-coupled device cameras in polychromatic pattern recognition." *Opt. Eng.*, Vol. **35** (1996), No. 3, pp. 754-760.
- [10] M. Corbolán, M. S. Millán, M. J. Yzuel: "Analysis of the compensating mechanism of a color CCD camera for changes of light". *Proc. SPIE*, Vol. **3409**, (1998), pp. 456-466.
- [11] D. Ng, J. P. Allebach, M. Analoui, Z. Pizlo: "Noncontact imaging colorimeter for human tooth color assessment using a digital camera". *J. Imaging Sci. and Technology*, Vol. **47** (2003), pp. 531-542.
- [12] A. K. Jain: *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [13] R. C. Gonzales, R. E. Wood: *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1992.
- [14] R. S. Hunter, R. W. Harold: *The Measurement of Appearance*. J. Wiley, New York, 1987, pp. 145-146.
- [15] R. H. Evans: *An Introduction to Color*. J. Wiley, New York, 1948.
- [16] D. B. Jud, G. Wyszecki: *Color in Business, Science and Industry*. J. Wiley, New York, 1975.
- [17] G. Wyszecki, W. S. Stiles: *Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. J. Wiley, New York, 1982.
- [18] J. Torrent, V. Barrón: "Laboratory measurement of soil color. Theory and practice". *Soil Sci. Soc. Am.*, Spec. Publ. **31** (1993), pp. 21-33.
- [19] D. Malacara: *Color Vision and Colorimetry. Theory and Applications*. SPIE Press, Bellington, 2002.
- [20] J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.: "Fundamental color classifications systems for the digital imaging colorimetry." *Fine Mechanics and Optics (Jemná mechanika a optika)*, Vol. **51** (2006), No. 6, pp. 145 - 148.
- [21] Norm ISO 31-6: *Quantities and Units, Part 6: Light and Related Electromagnetic Radiations*. Internat. Org. for Standardization, Geneva, 1992.
- [22] S. M. Selby: *CRC Standart Mathematical Tables*. Chemical Rubber Comp., Cleveland, Ohio, 1972.
- [23] J. Cohen: "Dependency of the spectral reflectance curves of the Munsell color chips". *Psychonic Sci.*, Vol. **1** (1964), p. 369.
- [24] W. S. Stiles, G. Wyszecki, N. Ohta: "Counting metameric object - color stimuli using frequency - limited spectral reflectance functions". *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. **67** (1977), p. 779.
- [25] G. Buchsbaum, A. Gottschalk: "Chromaticity coordinates of frequency - limited functions". *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. **74** (1984), p. 885.

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav Pospíšil, DrSc., RNDr. Jan Hrdý, Ph.D. and Jan Hrdý, jr.,  
Department of Experimental Physics of Palacký University and Joint Laboratory of Optics of Palacký University and Institute of Physics of Academy of Sciences, 17. listopadu 50, 772 09 Olomouc, Czech Republic. Tel.: +420 585 634 283, E-mail: pospis@prfnw.upol.cz

Martin VAŠINA, Lubomír LAPČÍK, Jr.,  
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika

## Strukturální tlumení materiálů

*Při dynamickém namáhání materiálů dochází v důsledku strukturálního tlumení materiálů k transformaci mechanické energie na jiný druh energie (především tepelnou energii). Tento proces je nevratný. Tlumičí vlastnosti materiálů jsou vyjádřeny činitelem vnitřního tlumení.*

**Klíčová slova:** napětí, deformace, fázový úhel, komplexní modul pružnosti, činitel vnitřního tlumení, frekvenční závislost

### 1. ÚVOD

Mechanické vibrace patří v mnoha případech k negativním jevům našeho života (např. u domácích spotřebičů nebo v dopravních prostředcích). Z důvodu zvýšení komfortu a bezpečnosti je nutno eliminovat mechanické vibrace. Jednou z možností eliminace vibrací je použití vhodných materiálů s dobrými tlumičími vlastnostmi. Pórovité materiály (např. polyuretanové pěny a skelná vata) patří všeobecně k materiálům, které jsou vhodné pro tlumení mechanických vibrací.

### 2. STRUKTURÁLNÍ TLUMENÍ MATERIÁLŮ

Chování materiálů při statickém namáhání je v oblasti elastických deformací popsáno Hookeovým zákonem [2]:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

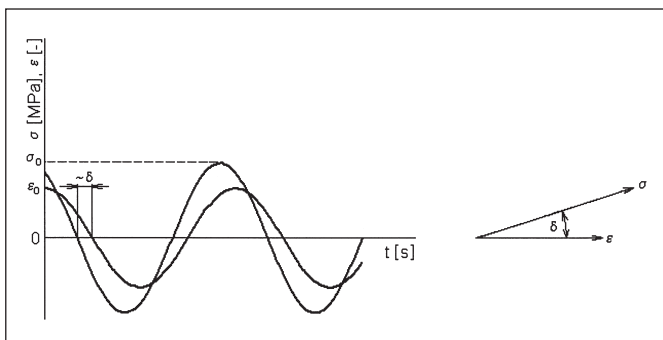
kde:  $\sigma$  - napětí,  
 $E$  - modul pružnosti v tahu (Youngův modul pružnosti),  
 $\varepsilon$  - poměrná deformace.

Ze vztahu (1) je zřejmé, že závislost mezi napětím a poměrnou deformací je lineární v oblasti elastických deformací při statickém namáhání. Hookeův zákon ale neplatí při dynamickém namáhání [1]. Napětí  $\sigma$  a poměrná deformace  $\varepsilon$  při dynamickém namáhání materiálů (obr. 1) jsou vyjádřeny následujícími rovnicemi:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \delta) = \sigma_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \delta) \quad (2)$$

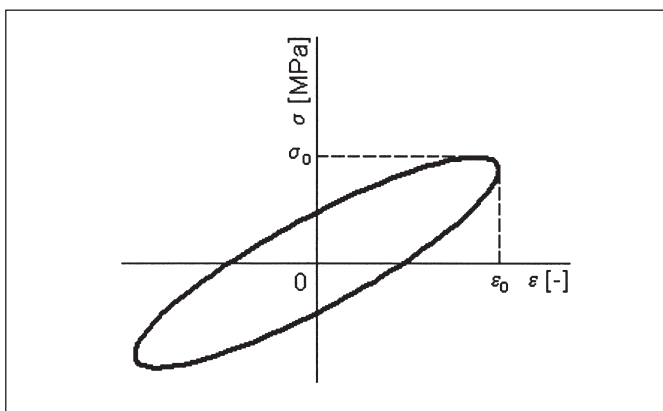
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) = \varepsilon_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (3)$$

kde:  $\sigma_0$  - amplituda napětí,  
 $\varepsilon_0$  - amplituda poměrné deformace,  
 $\delta$  - fázový úhel,  
 $\omega$  - kruhová frekvence,  
 $f$  - frekvence kmitání,  
 $t$  - čas.



Obr. 1 Časová závislost napětí a poměrné deformace

Z důvodu strukturálního tlumení materiálů existuje fázový posun mezi napětím a poměrnou deformací (viz obr. 1), tzn. napětí předbíhá poměrnou deformaci. Závislost mezi napětím a poměrnou deformací je potom nelineární v oblasti elastických deformací. Je vyjádřena hysterézní křivkou (viz obr. 2). Velikost plochy hysterézní křivky je úměrná části energie kmitání, která se přemění na teplo v průběhu jednoho cyklu dynamického namáhání.



Obr. 2 Hysterézní křivka

Nyní lze provést matematickou úpravu rovnice (2):

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \delta) = \sigma_0 \cdot \cos \delta \cdot \cos(\omega \cdot t) + \\ &+ \sigma_0 \cdot \sin \delta \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= E'(\omega) \cdot \varepsilon_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) + E''(\omega) \cdot \varepsilon_0 \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

kde:  $E'(\omega)$  – reálná složka komplexního modulu pružnosti (tzn. Youngův modul pružnosti),

$E''(\omega)$  – imaginární složka komplexního modulu pružnosti (tzv. ztrátový modul).

Reálné a imaginární složky komplexního modulu pružnosti jsou dány následujícími rovnicemi:

$$E'(\omega) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cdot \cos \delta \quad (5)$$

$$E''(\omega) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \cdot \sin \delta \quad (6)$$

Potom pro komplexní modul pružnosti platí:

$$E^*(i\omega) = E'(\omega) + iE''(\omega) \quad (7)$$

Činitel vnitřního tlumení  $\eta$  je dán poměrem imaginární a reálné složky komplexního modulu pružnosti:

$$\eta = \frac{E''(\omega)}{E'(\omega)} = \operatorname{tg} \delta \quad (8)$$

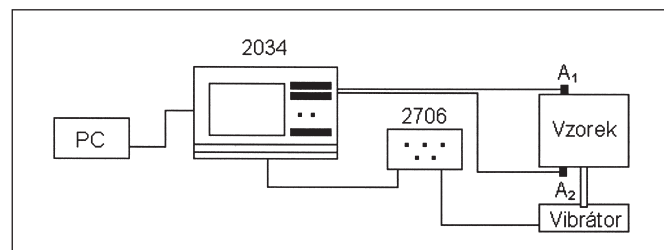
Tab. 1 Činitel vnitřního tlumení různých materiálů

Materiál	Činitel vnitřního tlumení $\eta$ [-]
Sklo	0,004
Beton	0,007
Korek	0,1
Polyester	0,14
Pryž	0,02 ÷ 1
Hliník	$7 \cdot 10^{-5}$
Ocel	$1 \cdot 10^{-4}$
Zinek	$3 \cdot 10^{-4}$
Mosaz	$(3 \div 8) \cdot 10^{-4}$

Činitel vnitřního tlumení reprezentuje tlumicí vlastnosti materiálů při dynamickém namáhání. Jeho hodnota závisí na mnoha faktorech, např. na druhu materiálu, tloušťce, měrné hmotnosti a pórovitosti materiálů, frekvenci kmitání apod. Hodnoty činitele vnitřního tlumení u některých materiálů [3] jsou uvedeny v tab. 1. Z tohoto srovnání je zřejmé, že nižší hodnoty činitele vnitřního tlumení jsou dosaženy u klasických konstrukčních materiálů ( $\eta \cong 10^{-4}$ ). Vyšších tlumicích vlastností lze dosáhnout u pryžových materiálů ( $\eta \rightarrow 1$ ).

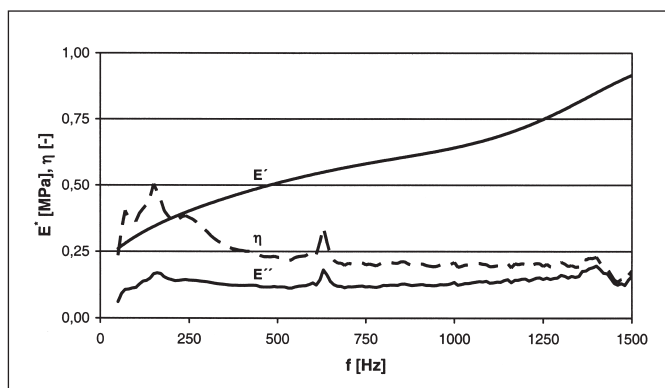
### 3. MĚŘENÍ KOMPLEXNÍHO MODULU PRUŽNOSTI A ČI-NITELE VNITŘNÍHO TLUMENÍ

Tato kapitola se zabývá experimentálním měřením reálné a imaginární složky komplexního modulu pružnosti a činitele vnitřního tlumení. Měření bylo provedeno metodou nucených kmitů



Obr. 3 Schéma měření komplexního modulu pružnosti a činitele vnitřního tlumení

na dvoukanálovém signálním analyzátoru typu Brüel & Kjar 2034 s vibrátorem typu Brüel & Kjar 4810, zesilovačem typu Brüel & Kjar 2706 a snímači zrychlení (tzn.  $A_1$  a  $A_2$ ) ve frekvenčním rozsahu od 50 Hz do 1500 Hz (viz obr. 3). Naměřená data byla uložena do počítače (PC) pro další vyhodnocení.



Obr. 4 Frekvenční závislosti komplexního modulu pružnosti a činitele vnitřního tlumení polymerního materiálu

Měření bylo realizováno na polymerním materiálu s tloušťkou  $t = 12$  mm a měrnou hmotností  $\rho = 0,04$  g/cm<sup>3</sup>. Naměřené frekvenční závislosti komplexního modulu pružnosti a činitele vnitřního tlumení jsou znázorněny na obr. 4.

Z naměřených frekvenčních závislostí je zřejmé, že nejlepší tlumicí vlastnosti ( $\eta \approx 0,5$ ) jsou dosaženy při frekvenci  $f \approx 150$  Hz u testovaného polymerního materiálu (viz obr. 4). Činitel vnitřního tlumení a imaginární složka komplexního modulu pružnosti jsou prakticky neměnné při vyšších frekvencích (tzn. při  $f > 700$  Hz). Reálná složka komplexního modulu pružnosti všeobecně vzrůstá s rostoucí frekvencí.

#### 4. ZÁVĚR

Přeměna mechanické energie v teplo se uskutečňuje při dynamickém namáhání materiálů a oblasti pružných deformací. Je to způsobeno strukturálním tlumením materiálů, které je popsáno činitelem vnitřního tlumení. Velikost tohoto činitele je přitom ovlivněna mnoha parametry, např. druhem materiálu, frekvencí kmitání, tloušťkou, měrnou hmotností a pórovitostí materiálů apod.

#### Poděkování:

Tento příspěvek vznikl za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (Grant VZ MSM7088352101).

#### L i t e r a t u r a

- [1] Beranek, L. L.: Noise reduction. Mc Graw – Hill Book Company, London, 1960. 752 s.
- [2] Lenert, J.: Pružnost a pevnost I. Skriptum VŠB Ostrava, 2002. 142 s.
- [3] Nový, R.: Hluk a chvění. Skriptum ČVUT Praha, 2000. 165 s.

Ing. Martin Vašina, Ph.D., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035101, e-mail: vasina@ft.utb.cz  
 Prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D., Jr., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Česká republika, Nad Stráněmi 4511, 760 05 Zlín, tel.: +420 576035110, e-mail: lapcik@ft.utb.cz

Miloslav KRÍŽEK, Praha

## Flexibilní lékařské endoskopy

*Článek pojednává o flexibilních lékařských endoskopech, které za použití optických vláken a CCD čipů umožňují lékařům neinvazivní cestou nahlédnout do různých částí lidského těla, provést dokumentaci zjištěného stavu a stanovit diagnózu. Současně je možné touto cestou i zavedení mikrochirurgických nástrojů k provedení terapeutického zákroku.*

### 1. ÚVOD

Endoskop je zařízení umožňující zvnějšku nahlížet do jednoduše nepřístupných vnitřních prostor. Název endoskop vznikl složením řeckých slov endo – uvnitř a skopein – pozorovat. Můžeme rozlišit dvě základní skupiny endoskopů podle toho, kde se používají. Jsou to endoskopy průmyslové a lékařské. V tomto článku se zaměříme na lékařské endoskopy. I když se to nezdá, mají lékařské endoskopy za sebou již více jak dvě století existence.

### 2. HISTORIE

Na přelomu 18. a 19. st. použil jako první Bozzin v Německu na vyšetření hrtanu trubici osvětlenou zevnitř plamenem svíčky. R. 1853 zkonstruoval Desormeux ve Francii zařízení na vyšetření močového ústrojí za pomoci trubice, která vedla světlo z lampy na směs alkoholu a terpentinu a přitom poprvé použil termín „endo-

skop“. První vyšetření žaludku provedl Dr. Kussmaul v Německu r. 1868. Nitze a Leiter v r.1879 konstruují gastroskop s optikou a osvětlením pomocí žárovky. V r. 1938 Henning poprvé vyfotil vnitřek žaludku. V r. 1950 Dr. Uji předvádí první gastrokameru. Fotilo se s ní však naslepo bez možnosti zvolit předem, co má přesně být snímáno. R. 1957 Hirshowitz ohlašuje první flexibilní fibroskop. Revolučnost jeho myšlenky je v zavedení optických vláken do konstrukce endoskopu a tím umožnění jeho flexibility. V r. 1963 firma Machida Seisakusho vyrábí první japonský fibroskop. R. 1968 firma Fuji Photo Optical vyrábí první fibrogastroskop. R. 1983 přichází americká firma Walsh Allin na trh s prvním videoendoskopem. R.1984 uvádí na trh videoendoskop i firma Fuji Photo Optical. V současné době se mezi významné výrobce flexibilních endoskopů počítají firmy Fujinon, Olympus a Pentax.

### 3. TYPY ENDOSKOPŮ

Endoskopy můžeme rozdělit podle typu zaváděcí části na dvě základní skupiny.

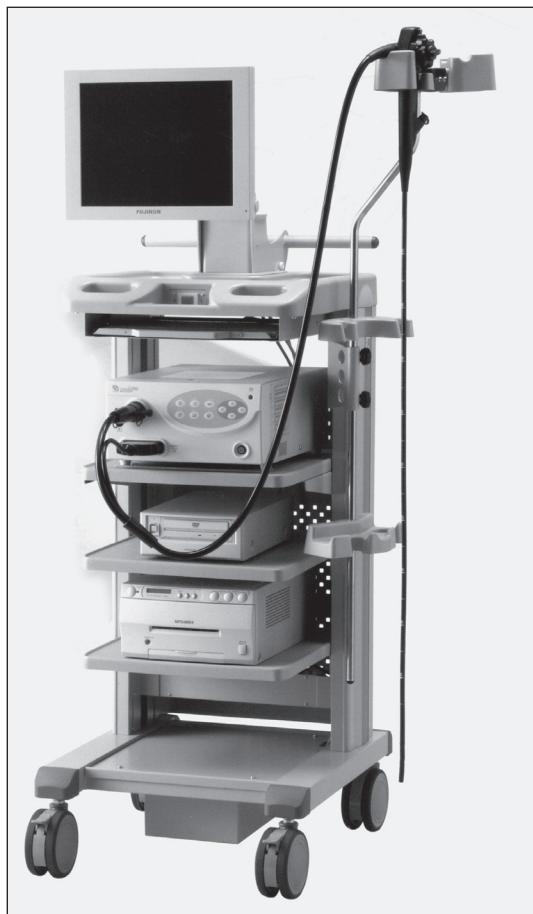
- 1) **Rigidní** – mají pevnou zaváděcí část  
(dále se jimi v tomto článku nebudeme zabývat)
- 2) **Flexibilní** – mají ohebnou zaváděcí část

Flexibilní endoskopy můžeme dále podle způsobu přenosu a pozorování obrazu rozdělit také do dvou základních skupin.

- A) **Fibroskopy** – obraz se přenáší optickým vláknem a lékař ho sleduje v okuláru
- B) **Videoendoskopy** – obraz se přenáší elektronicky a lékař ho sleduje na monitoru

Dále můžeme flexibilní endoskopy rozdělit podle jejich použití v různých lékařských oborech.

- 1) **bronchoskop** – k vyšetření dýchacích cest
- 2) **cystoskop** – k urologickému vyšetření
- 3) **duodenoskop** – k vyšetření dvanáctníku, žlučových a pankreatických cest
- 4) **ezofagoskop** – k vyšetření jícnu
- 5) **gastroskop** – k vyšetření žaludku
- 6) **hysteroskop** – k vyšetření dělohy
- 7) **cholelithoskop** – k vyšetření žlučových cest
- 8) **kolonoskop** – k vyšetření tlustého střeva
- 9) **ORL endoskop** – k vyšetření dutiny nosní, hrtanu aj.
- 10) **sigmoidoskop** – k vyšetření části tračnicku
- 11) **speciální endoskopy**  
(enteroskop, DBE, ultrazvukový, ZOOM aj.)

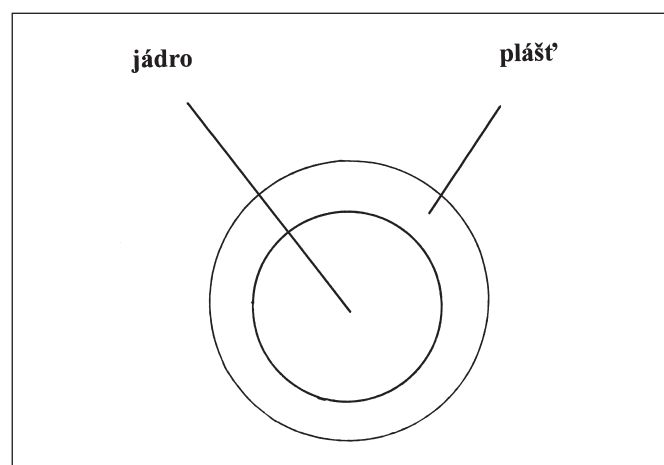


Obr. 1 Flexibilní videogastroskop Fujinon EG-250WR5 na endoskopickém vozíku

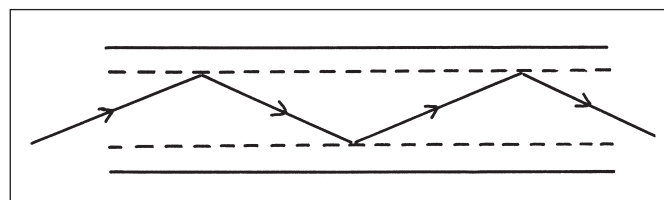
Endoskopy se liší svými parametry podle požadavků jednotlivých oborů. Zatímco bronchoskopy mají průměr distálního konce 3 - 5 mm a délku cca 600 mm, u gastroskopu je průměr distálního konce 9 - 11 mm a délka až 1 100 mm, viz. obr. 1. V případě kolonoskopu je pak průměr distálního konce dokonce 11 - 13 mm a délka až 1 700 mm. Duodenoskop se pak od ostatních endoskopů odlišuje tím, že jeho objektiv je zabudován na distálním konci laterálně. Při jeho použití je totiž potřeba se dívat nikoliv dopředu ve směru hlavního pohybu, ale do strany.

### 4. FLEXIBILNÍ FIBROSKOPY

Flexibilní fibroskopy používají svazky optických vláken tvořené oxidem křemičitým ( $\text{SiO}_2$ ). Průměr jednoho vlákna je pouhých několik mikrometrů. Optické vlákno se skládá ze dvou vrstev. Uvnitř je jádro s vyšším indexem lomu a to je obklopeno pláštěm z materiálu s nižším indexem lomu, viz. obr. 2. Vedení světla využívá fyzikálního jevu na rozhraní jádra a pláště – úplného odrazu záření, viz. obr. 3. Další výhodou optických vláken s průměrem menším než 10 mikrometrů je, že jsou velmi dobře ohebná. Vlákna se spojují do větších celků zvaných svazky.

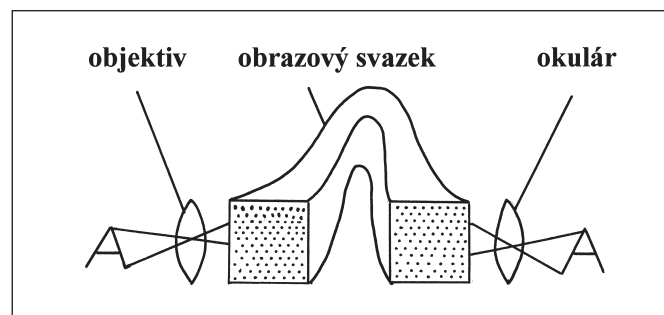


Obr. 2 Řez optickým vláknem



Obr. 3 Odras paprsků uvnitř optického vlákna

Ve flexibilních fibroskopech se používají dva druhy svazků. První, zvaný světlovod (Light Guide), přivádí světlo ze světelného zdroje na distální konec endoskopu a osvětluje pozorovaný prostor. Druhý se nazývá obrazový svazek (Image Guide) a slouží

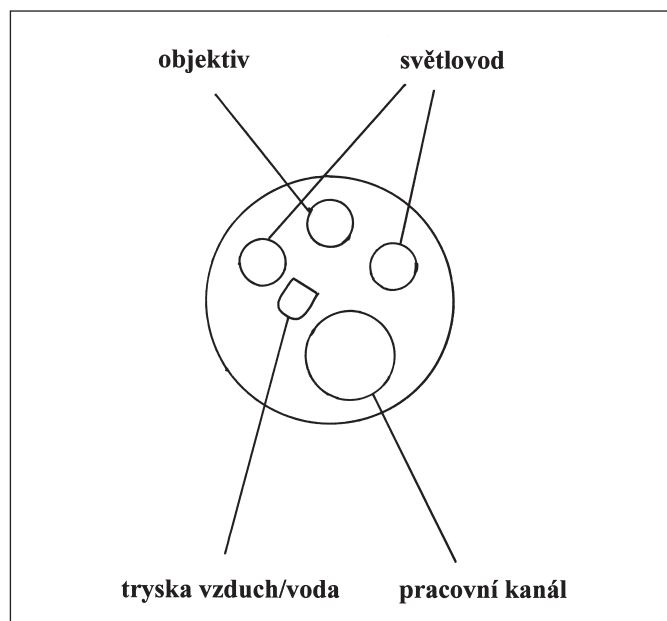


Obr. 4 Přenos obrazu optickým vláknem

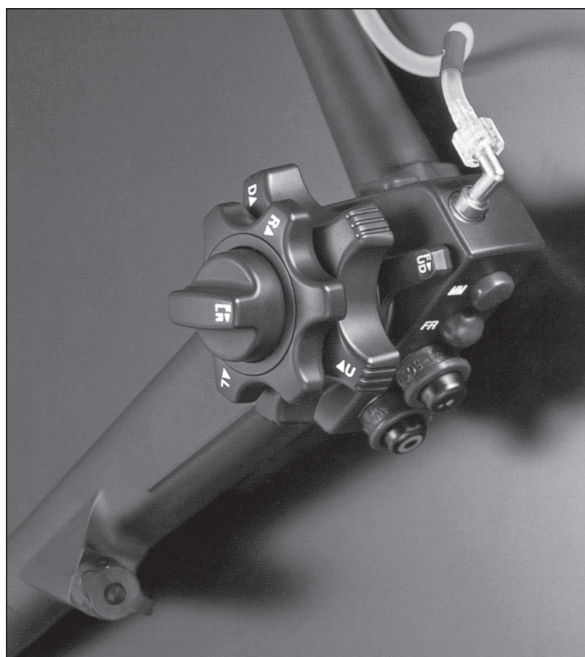
k přenosu pozorovaného obrazu od distálního konce k okuláru. Oba svazky se liší vnitřním uspořádáním jednotlivých optických vláken. Světlovod má náhodné uspořádání vláken, zatímco obrazový svazek má vlákna uspořádaná koherentně. Na distálním konci je obrazovému svazku předřazena čočka objektivu a na druhém konci je pak okulár, viz. obr. 4.

## 5. FLEXIBILNÍ VIDEOENDOSKOPY

Současné videoendoskopy jsou na distálním konci osazeny CCD (Charge Coupled Device) čipem, který má vysoké rozlišení. To se dnes pohybuje v rozmezí od 400 kpixelů po 1,3 Mpixelů. Tento čip, podobně jako v digitálním fotoaparátu, snímá obrazovou informaci a ta se přenáší formou elektrického signálu do obrazového procesoru, který ji zpracuje a umožňuje zobrazení na připojeném monitoru. Co se v prostoru pouhých několika milimetrů v průměru distálního konce nachází, přibližuje obr. 5. Je zde objektiv předřazený CCD čipu, světlovody na nasvícení snímané



Obr. 5 Distální konec flexibilního videoendoskopu

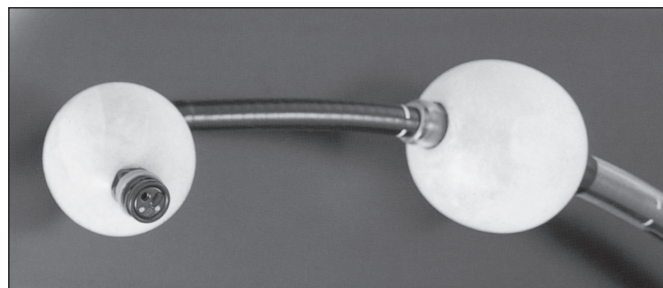


Obr. 6 Ovladače úhlu ohybu endoskopu

oblasti (většinou jsou dva), tryska na přívod vzduchu/vody pro oplach čočky a pracovní kanál, který slouží k zavedení mikrochirurgických nástrojů a odsávání nežádoucích tělních tekutin, které by bránily v pozorování. Vlastní ovládání endoskopu se děje pomocí dvojice otočných ovladačů úhlu ohybu, které pohybují distálním koncem nahoru a dolů a vlevo a vpravo, viz. obr. 6. Rozsah angulace je v závislosti na typu endoskopu až 210 stupňů nahoru a 90 stupňů dolů a 100 stupňů vlevo a vpravo. Ve zvolené poloze je možné pozici zaaretovat. Kromě ovládání ohybu je možné řídit tryku vzduchu/vody (na obr. 6 modrá) a odsávací trysku (na obr. 6 červená). Další tlačítka, podle typu endoskopu, slouží k zastavení a uložení obrázku, ke zvětšení obrazu aj. Některé funkce obrazového procesoru je možné přiřadit tlačítkům programově.

## 6. SPECIÁLNÍ FLEXIBILNÍ VIDEOENDOSKOPY

Speciální endoskopy, jako např. enteroskop k vyšetření tenkého střeva, dosahují délky až 2 000 mm. Ani tak však klasický enteroskop neobsáhne tenké střevo v jeho celé délce, která u dospělého člověka může být až 7 m. K tomu slouží speciální DBE (Double Balloon enteroskop). Ten je vybaven ještě převlečnou trubicí, která se volně pohybuje po enteroskopu a na jejím konci i na distálním konci enteroskopu se nachází balónky, které se střídavě nafukují a vyfukují. Při nafouknutí se zafixuje poloha příslušného konce ve střevě a vpřed postupuje konec s vyfouknutým balonkem. Tímto způsobem se celé tenké střevo nasouká na enteroskop a je ho tak možné prohlédnout v celé délce a v případě potřeby provést zákrok nástrojem zavedeným pracovním kanálem enteroskopu. Jediná firma na světě, která toto zařízení dodává na trh, je firma Fujinon, která ho zkonstruovala na základě patentu vynálezce této metody, doc. Yamamota z Jichi Medical School v Japonsku, viz. obr. 7.



Obr. 7 Distální konec DBE enteroskopu Fujinon EN-450T5



Obr. 8 Distální konec ultrazvukového videogastroskopu Fujinon EG-250US se zasunutým nástrojem – sklerotizační jehlou

Dalším specializovaným zařízením je ultrazvukový video gastrooskop, viz *obr. 8*, který umožňuje endosonografické vyšetření. Jedná se vlastně o kombinaci klasického vyšetření ultrazvukem, ale pomocí speciální sondy zavedené do žaludku endoskopicky. Tato metoda umožňuje určit rozsah změn sliznic do hloubky, což klasická gastrokopie neumožňuje. Používá se přitom několik frekvenčních pásem v rozsahu od 5 do 25 MHz. Podle způsobu zobrazení pak rozlišujeme lineární a radiální sondu.

Na závěr lze uvést ZOOM videoendoskopy, které umožňují zvětšení obrazu. Je toho dosaženo tím, že na distálním konci jsou zabudované miniaturní krokové motory, které mění vzdálenost čoček objektivu před CCD čipem, podobně jako je tomu u ZOOM objektivů fotoaparátů. Dnešní ZOOM endoskopy dosahují více jak 130-násobné zvětšení optickou cestou. Další zvětšení lze pak dosáhnout cestou digitálního ZOOMu na obrazovém procesoru, ale ten už má omezení daná aproximací zvětšovaných pixelů obrazu.

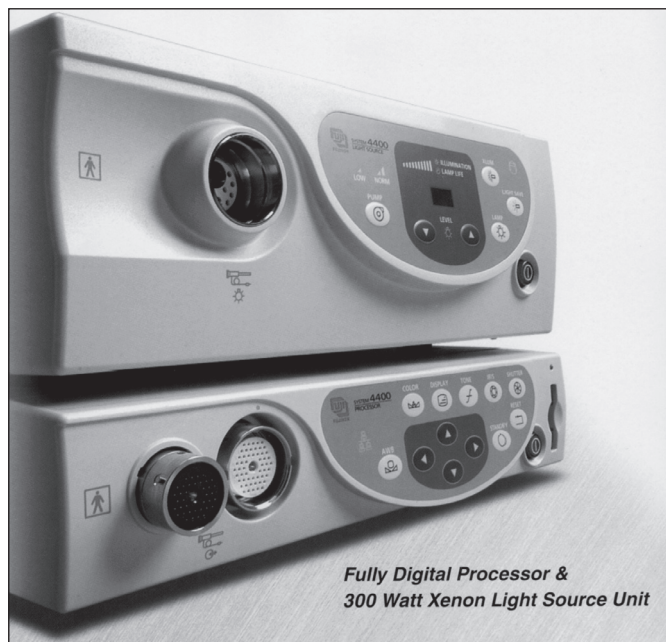
## 7. ZDROJE SVĚTLA PRO FLEXIBILNÍ ENDOSKOPY

Pro fibroskopy se používá jako světelný zdroj většinou halogenová žárovka s kulovým zrcadlem pro koncentraci světelných paprsků. Halogenová žárovka používá wolframové vlákno a je naplněna parami halových prvků (většinou jódem nebo brómem). Protože halogenové lampy mají vyšší pracovní teplotu než klasické žárovky, dosahují vyšší svítivosti, jas a jejich barevná teplota se více blíží bílé barvě.

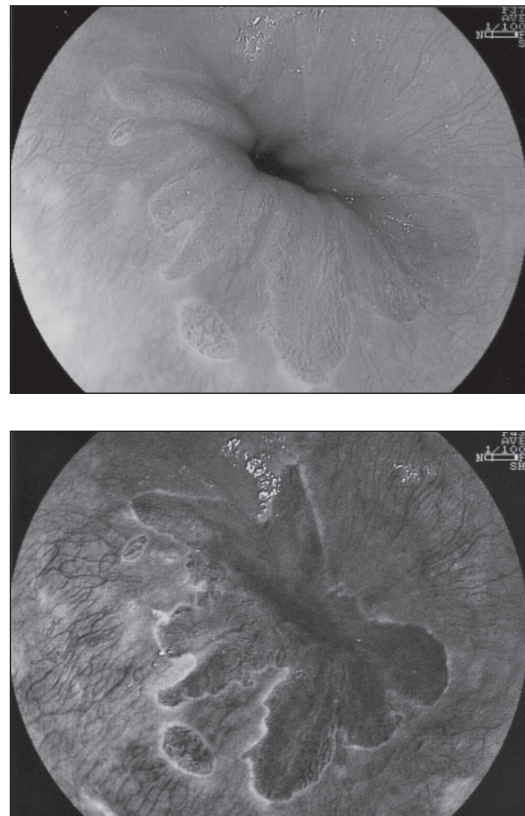
Pro videoendoskopy se používá buď halogenová žárovka anebo xenonová výbojka. Výbojka má výhodu v tom, že má od UV až po IR vlnové délky spojité spektrum a v oblasti viditelného světla se blíží přírodnímu dennímu světlu. Protože se jedná o výbojku, musí být doplněna startérem. Xenonová výbojka je sice dražší než halogenová žárovka, ale dosahuje asi 10x delší životnosti a má zhruba 10x vyšší světelnost. Xenonový světelný zdroj bývá zpravidla doplněn záložní halogenovou žárovkou, která v případě potřeby umožní dokončení výkonu a bezpečné vyjmutí endoskopu z těla.

## 8. OBRAZOVÉ PROCESORY

Obrazový procesor slouží ke zpracování obrazové informace snímané CCD čipem, viz. *obr. 9*. Může být spojený v jednom celku se světelným zdrojem anebo jako samostatná jednotka. Většinou má řadu funkcí na zpracování obrazu, které se dají ovládat z panelu procesoru, nožním spínačem anebo přímo z endoskopu. Často je na procesor napojeno záznamové zařízení jako video nebo DVD rekor-



Obr. 9 Světelný zdroj (nahore) a obrazový procesor (dole) Fujinon EPX-4400



Obr. 10 Metoda FICE na zvýraznění struktur sliznice (vpravo jícen ve viditelném světle a vlevo v režimu FICE)

dér, tiskárna anebo paměťová Flash karta k ukládání jednotlivých obrázků. Nejnovější obrazové procesory mají možnost přímého napojení na počítačovou síť. Mezi používané funkce patří také systém FICE (Fuji Intelligent Chromo Endoscopy). Jedná se o to, že dříve se ke zvýraznění některých struktur sliznice používalo barvení speciálními inkousty. Dnes se tato metoda dá nahradit elektronickou cestou. Zvolíme si vlnové délky v jednotlivých RGB složkách a procesem spektrálního odhadu je vytvořen obraz, který zdůrazní námi sledovaný jev v obrazu, který by v normálním světle nebyl ještě tak výrazný, viz. *obr. 10*. Takto se například dají podchytit ranná stádia nádorových onemocnění a lze tak provést včasný zákrok.

## 9. MONITORY PRO VIDEOENDOSKOPY

V současnosti se můžeme setkat se dvěma typy monitorů. Jednak klasické CRT (Cathode Ray Tube) monitory a dále s novějšími LCD (Liquid Crystal Display) plochými monitory. První CRT monitor pochází z 20. let 20. st., zatímco první LCD monitor je až z počátku 70. let 20. st. Tím je také dáno, že CRT monitory jsou analogové, zatímco LCD monitory pracují na digitálním principu.

Barevný CRT monitor je tvořen obrazovkou vyplněnou vakuem, na jejíž přední stěně je nanášena barevná vrstva (luminofor) a maska na zaostření paprsků a na opačné straně než je obrazovka se nachází vychylovací magnety obrazového paprsku a elektronové dělo. Paprsek kreslí obraz po řádcích. Počet řádků pak určuje rozlišení monitoru. Barevný monitor potřebuje 3 paprsky, pro každou ze tří základních barev v systému RGB (červená, zelená a modrá). Existuje několik systémů vnitřního uspořádání. Např. systém Trinitron má masku i luminofor v podobě svislých proužků a zdroje paprsků jsou v řadě nad sebou.

Barevný LCD monitor je založen na principu změn optických vlastností tekutých krystalů v závislosti na změnách elektrického pole, které na ně působí. Krystaly jsou tvořeny hexylkyanidbifenylenem, který má podlouhlé molekuly. První vrstva displeje je tvořena metal oxidem, který má funkci elektrody. Je uspořádána do sloupců a řad. Následuje polyamidová vrstva s drážkami k zarovnávaní mole-

kul tekutých krystalů. Do jednotlivých buněk displeje se pak přivádí napětí, které způsobí, že displej propouští nebo naopak nepropouští světlo. Počet pixelů odpovídá rozlišení displeje. Pro rozlišení 1024 x 768 potřebujeme 786 432 pixelů pro každou ze 3 RGB barevných složek, tedy celkem 2 359 296 pixelů. U displejů s tzv. pasivní maticí se přivádí napětí na celý sloupec pixelů najednou. Obraz se tak tvoří po řádcích. Tyto displeje mají nižší jas a pomalejší odezvu oproti modernější technologii TFT (Thin Film Transistor), která pracuje s aktivní maticí, kdy každý pixel má svůj tranzistor, který řídí aktivně natáčení krystalů po celou dobu mezi obnovou řádků.

Výhodou CRT monitoru je vysoký kontrast, krátká odezva a věrohodné barevné podání. Nevýhodou je větší vyzařování a velké rozměry a hmotnost. Naproti tomu LCD displeje mají výhodu, že nevyzařují, mají dokonalou geometrii obrazu, menší spotřebu energie a jsou lehčí. Jejich nevýhodou je menší věrohodnost barevného podání, delší doba odezvy a nižší kontrast. Obecně se však dá říct, že jak se postupně zlepšují parametry LCD displejů a klesá jejich cena, začínají nahrazovat klasické CRT monitory. Samozřejmostí je, že v případě endoskopické aparatury musí mít monitory atest pro použití v medicíně.

Ing. Miloslav Křížek, H. Malířové 18, 169 00 Praha 6

## 10. ZÁVĚR

Endoskopická technika udělala velký pokrok a miniaturizace v elektronice umožňuje její další vývoj. S příchodem nových CCD čipů se zlepšuje rozlišovací schopnost a barevné podání a nové algoritmy usnadňují vyhodnocování zaznamenaných dat. Se zmenšováním rozměrů endoskopů je možné zavádět i nové vyšetřovací metody šetrnější k pacientům. Posledním trendem jsou tzv. transnasální gastroskopy, které se do žaludku zavádějí nikoliv ústy, ale nosem. Odpadají tak problémy s dáváním u citlivějších jedinců a pacient může s lékařem během vyšetření snadno komunikovat.

## L i t e r a t u r a

- [1] Sohendra, N. et al.: Therapeutic Endoscopy, Thieme, Stuttgart, 1998
- [2] Fundamentals of the Endoscope, Fuji Photo Optical, Saitama, 1999

# Univerzitní profesor Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. 30. 12. 1924, Brno – 19. 7. 2006, Přerov

Ve středu 19. července letošního roku skončila v přerovské nemocnici životní pouť významného člena redakce našeho časopisu Ing. Miroslava Kopřivy, CSc. Pocházel z rodiny brněnského dělníka – skláře a měl jednoho bratra, který však záhy zemřel. Na své těžké životní dráze se až příliš často setkával s překážkami a obtížemi danými jak jeho chudým původem, tak politickými okolnostmi za obou totalitních režimů, jež při své svobodomyšlné povaze bytostně nesnášel a kterými také byl nejednou „přitlačen až ke zdi“, takřka až na práh samotné fyzické existence. Například byl v Brně zatčen a vyslýchán gestapem, jako nestránek v době komunismu, nedávaje vždy dobrý pozor na svá slova, narazil v zápětí na nejednu obtíž ve svém postupu. Jedinou investicí po celý život tedy bylo jen jeho nevšední nadání, mimořádná pracovitost a poctivost vůči vědě i lidem ve svém okolí.

Jeho životní pouť se vyznačuje dnes již neobvyklým „růstem od píky“, tedy od samého začátku až k statutu univerzitního profesora. Po ukončení základní školy se stal učněm u brněnské firmy J. Suchánek, později Meopta, národní podnik, Brno. Vyučil se jemným mechanikem v roce 1943, v mateřském podniku pracoval do roku 1945, přičemž se ovšem nevyhnul totálnímu nasazení své generace. Nadání a touha po vědění ho přivedla na mistrovskou školu jemné mechaniky a optiky na Vyšší průmyslové škole v Přerově, kterou ukončil v roce 1947 a pokračoval na ní v nadstavbovém studiu do roku 1949. Tytéž důvody ho přivedly na Fakultu strojního inženýrství Vysoké školy technické v Brně, kterou excelentním způsobem absolvoval.

V letech 1953 až 1956 působil na katedře strojírenské technologie Vysoké školy báňské v Ostravě. Od roku 1956 do roku 1958 byl specialistou v oblasti svařování kovů v Přerovských strojírnách a v letech 1958 až 1963 byl hlavním technologem montážního závodu Přerovských strojíren.

Ve službách školství se octnul v roce 1963, kdy byl jako mimořádný odborník povolán zásluhou profesora RNDr. Engelberta Keprta na katedru optiky Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci. Vzdor svému nestráncí získal postupně vědecké a pedagogické hodnosti – kandidáta technických věd v roce 1966 na Vysokém

učení technickém v Brně (obor fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálů), habilitoval v oboru strojírenská technologie v roce 1968 na VUT v Brně a profesorské řízení materiály a strojírenská technologie absolvoval na VŠB - Technické univerzity v Ostravě.

Na Univerzitě Palackého, po všechna léta, je pokládán za mimořádného odborníka, vynikajícího a neúnavného pracovníka jak v aspektech praktických, tak v tvorbě literární (skripta, knihy); absolventi na něho vzpomínají, jak netradičně, takřka otcovsky, usměrňoval jejich osobní, životní, odborný i pracovní růst; byl významným propagátorem spolupráce univerzity s průmyslovou praxí, se strojírenstvím, s elektrotechnickým průmyslem, ale i se stomatologií aj.

Normalizační období ovšem zmrazuje jeho kariérní růst, přitom však dovede nekompromisně kritizovat s nadhledem a životní moudrostí všechny negativní rysy tehdejší vysoké školy a svých životních zkušeností pak intenzivně využívá v roce 1989. Stává se proděkanem Přírodovědecké fakulty UP v Olomouci, pracuje v obtížné oblasti rehabilitací a ještě jako důchodce konzultuje a opouje magisterské a doktorské práce, participuje na modernizaci a tvorbě nových výukových předmětů, významně pomáhá redakci našeho časopisu a je také soudním znalcem Krajského soudu v Ostravě ve svém oboru. Jeho současníci na něm obdivovali, jak vždy vtípným a mnohdy i britkým glosátorem dění kolem sebe na fakultě i ve státě byl, nic ho však nevyvedlo z jeho stoického klidu navozovaného pravděpodobně také vonným dýmem jeho dýmky. Zkrátka, v každém ohledu plnil úspěšně roli uznávaného nestora pracoviště, což došlo i vyjádření ve formě jmenování emeritním profesorem Univerzity Palackého v Olomouci. Radosti z tohoto faktu si již však neužil, neboť upadl, těžce se zranil zlomeninou nohy v krčku, jejíž důsledky a další sekundární nemoci již nepřežil. A tak jsme ztratili odborníka a přítele, kterého jsme vždy rádi potkávali a o kterém nám ani na mysl nepřišlo, že bychom ho již po nešťastném úraze nikdy neviděli.

Vladimír Malíšek  
Olomouc



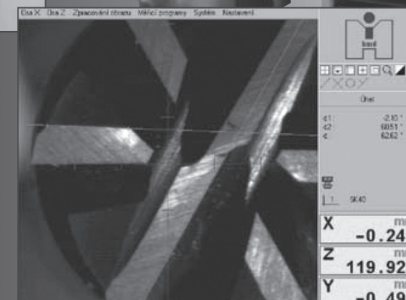
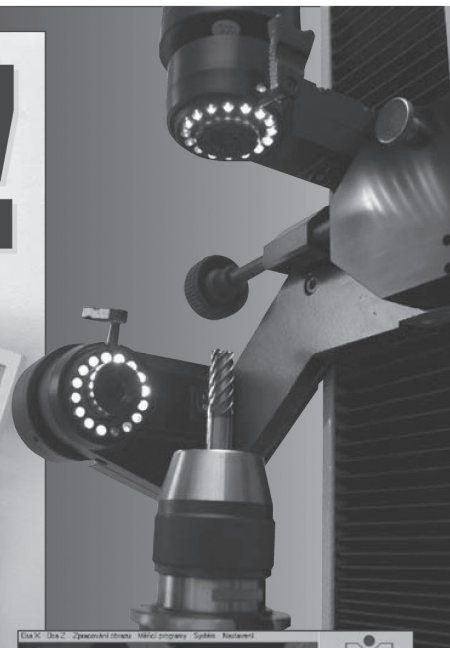
BMD a.s.  
Modlanská 1  
415 01 Teplice  
Česká Republika

## Třetí osa - druhý pohled

**Přístroje pro kontrolu a měření  
nástrojů CNC strojů.  
Nyní s možností druhé kamery**

obchod@bmd.cz  
tel. 417 535 224  
fax 417 575 630

**www.bmd.cz**



**Na 48. MSV v Brně  
ve dnech 18. - 22. 9. 2006  
NÁS NAJDETE  
v pavilonu A2 - stánek č.10**

## SYSTEMS 2006 Mnichov 23. – 27. října 2006

Systems je přední veletrh pro IT, media a komunikaci. Koná se na novém výstavišti v Mnichově, největší to evropské lokalitě disponující špičkovými technologiemi a médii. Je platformou pro kvalifikované kontakty, zejména s lidmi ze středně velkých a velkých podniků, kteří disponují rozhodovacími pravomocemi v komerčních a technických otázkách. Značka SYSTEMS je prezentována na [www.systems-world.de](http://www.systems-world.de).

**Bližší informace** – zástupce pořadatele pro Českou republiku: EXPO-Consult + Service, spol. s r. o.,  
tel.: 545 176 158, 545 176 160, tel./ fax: 545 176 159.



# STROJEXPO '07

Komplex strojírenských veletrhů v Praze

11. - 13. duben 2007  
Praha - PVA Letňany

## MACH

6. mezinárodní veletrh strojů, zařízení a komponentů pro strojírenství

## FINET

4. mezinárodní veletrh povrchových úprav a finálních technologií

## METAL

13. mezinárodní veletrh hutnictví a slévárenství

## INTERCHEM

1. mezinárodní veletrh strojů a zařízení pro chemickou výrobu, zpracování plastů a pryže

## WAREC

2. mezinárodní veletrh strojů a zařízení pro nakládání s odpady, recyklaci a čištění

## STAVEBNÍ STROJE

1. mezinárodní veletrh strojů a zařízení pro stavební a zemní práce

TERINVEST, spol. s r.o., veletržní správa, Legerova 15, 120 00 Praha 2  
tel.: +420 224 263 143, 224 263 152, fax: +420 224 263 148

  
**TERINVEST**

[www.terinvest.com](http://www.terinvest.com)

# CONTENTS

## Presentation of company Elektroprojekta Rožnov, a.s.

(J. Gajda)..... 231  
The article presents the joint stock company Elektroprojekta Rožnov as a design, engineering and supplying company specialized for designing and realization of clean and air-conditioned rooms for high technologies, especially in microelectronics, pharmacy, health-care technology, optics, production of medical facilities, etc.. This company has got the longest tradition in the sphere of clean rooms in Czech Republic.

**Clean rooms** (J. Hlaváč) ..... 232  
Technology of clean rooms in the present modern conception has been used in Czech Republic for more than forty years. It belongs to high technologies and has been used namely in electric engineering industry, pharmacy, health-care technology, precision mechanics and optics, in production of fine chemicals and food. In the technology of clean rooms there is considered as a clean room such a room where the concentration of particles in the air is controlled and checked. Clean room is constructed and used in such a way that minimalizes entry, creation and settling of particles in the room. Further parameters as temperature, humidity and air pressure can be controlled in this room according to the technology requirements.

**Modernization of production rooms realized by Elektroprojekta Rožnov, a.s. at the area of Meopta – optika, a.s. Přerov** (V. Nohavica)..... 236  
This article describes the longstanding cooperation of companies Elektroprojekta Rožnov, a.s. and Meopta – optika, a.s. at reconstruction and modernization of production rooms of joint-stock company Meopta – optika in Přerov.

**As from fairy-tale**..... 237

**New glass technology fair** (jpe)..... 238

**Development of an optical apparatus for in situ monitoring of thicknesses by using of UV-VIS Imaging Reflectometry** (J. Spousta, M. Urbánek, R. Chmelík, T. Běhounek, R. Plšek, K. Navrátil) ..... 239  
A new optical apparatus for in situ monitoring of optical constants of growing (etched) thin films - substrate systems over the large surface area of the sample (ranging from 1 to 2 cm<sup>2</sup>) was designed, constructed and tested in our group. Namely, the two following devices have been designed: Firstly, InSitu-AreaSampler together with control software has been developed for analysis of an areal homogeneity of thin-film growth during its deposition (or etching). The method is based on the measurement of reflectivity of the sample at selected wavelengths of an incident light. Areal detection is assured (performed) by imaging of the surface of thin film by a CCD chip where each pixel acts as small detector in an independent way. Secondly, the InSitu-SpotSampler was developed for measurement the reflectivity of growing (etched) thin film at one spot on the sample surface but in quasi-continual range of wavelengths (UV-VIS). The results achieved show the usability of this instrument for the in situ measurements of optical constants (index of refraction  $n$ , extinction coefficient  $k$ , thickness  $d$ ) over the whole sample area (cca 1.5 × 1.5 cm<sup>2</sup>) in a quasi-real time mode. Having this feed-back it is possible to control the deposition process in a more effective way.

**Automated transport systems REXROTH**  
(P. Žalud)..... 245

**Structural damping of materials**  
(M. Vašina, L. Lapčík, Jr.) ..... 251  
As a consequence of the structural damping of materials, the transformation of mechanical energy into other energy type (above all into heat energy) at dynamic loading of materials proceeds. This process is irreversible. The material damping properties are expressed by loss factor.  
Keywords: stress, strain, phase angle, complex modulus of elasticity, loss factor, frequency dependence.

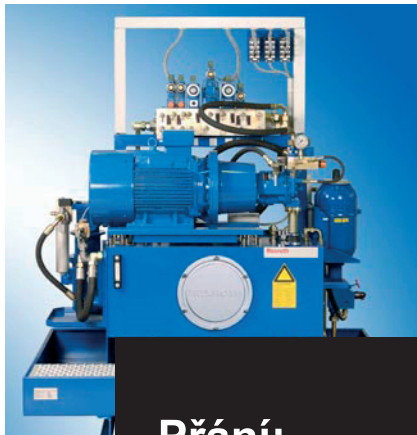
**Flexible Medical Endoscopes** (M. Křížek) ..... 253  
This article deals with flexible medical endoscopes which with help of optical fibres and CCD elements enable doctors to examine noninvasively human body cavities, to document found facts and to establish the diagnosis. In addition, via these instruments it is also possible to apply surgical tools for therapeutical operation.

**Professor Ing. Miroslav Kopřiva, CSc. 30 Dec 1924, Brno – 19 July 2006, Přerov** (V. Malíšek)..... 257

**SYSTEMS 2006** ..... 258

## ANOTACE

**Úvahy o reflexní digitální zobrazovací kolorimetrii při lineárním přístupu** (J. Pospíšil, J. Hrdý, J. Hrdý, jr.)..... 247  
Prezentovaný článek popisuje princip, příslušnou teorii a vlastnosti uvažované současné světloodrazivé digitální zobrazovací kolorimetrie využívající vhodnou tříkanálovou (3CCD) digitální barevnou kameru. Tato hlediska se vztahují ke zvolenému obvykle přijatelnému idealizovanému lineárnímu modelu kamerových činností se zřetelem k spektrálním funkcím odezvy standardního pozorovatele a kamery, spektrální hustotě výkonu osvětlovače a spektrální odrazivosti povrchu barevného vzorku pro každou pixelovou polohu v obrazové rovině kamery. Zavedené optimální matematické výrazy v analytických a maticových formách se vztahují k CIE třístimulačním barevným souřadnicím ( $X, Y, Z$ ), výstupním barevným datům ( $R, G, B$ )<sub>CCD</sub> kamery a spektrální odrazivosti barevného vzorku. Jejich užitečné závislosti jsou zajištěny využitím aproximační metody minima středních kvadratických odchylek. Lineárně kombinovaná řešení, navržená v tomto článku, jsou užitečným rozšířením jiných přístupů v odvětvích s reflexními barevnými vzorky.

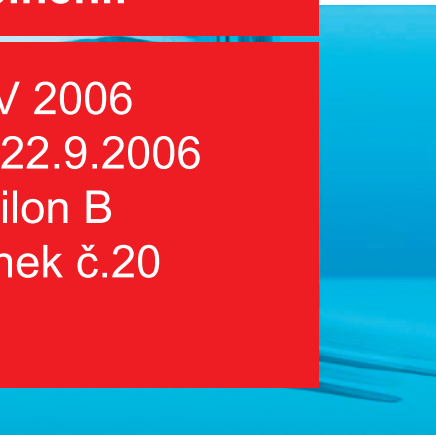
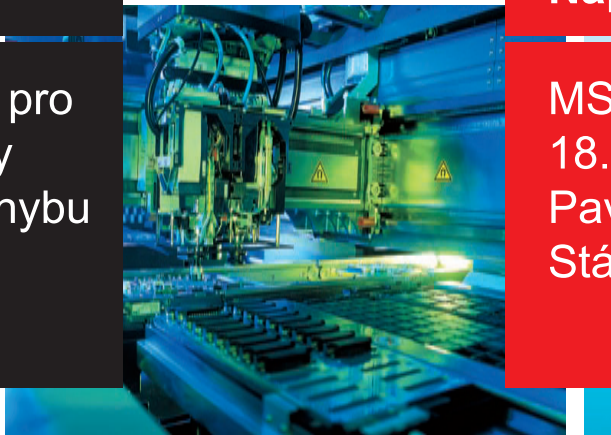
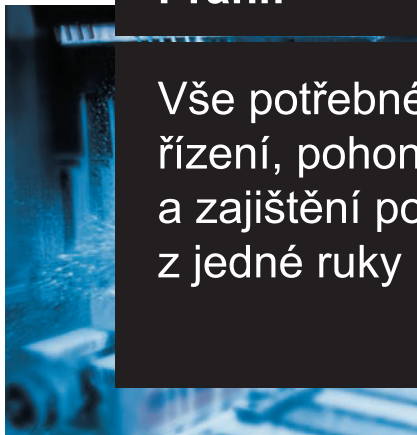


**Přání:**

Vše potřebné pro  
řízení, pohony  
a zajištění pohybu  
z jedné ruky

**Naplnění:**

MSV 2006  
18.-22.9.2006  
Pavilon B  
Stánek č.20



**Rexroth - řešení pro všechna průmyslová odvětví**



Firma Bosch Rexroth je čelním světovým výrobcem komponentů a systémů potřebných pro realizaci řízených pohonů od mechanických zařízení přes hydrauliku a pneumatiku až po elektronické řídicí systémy. Firma Bosch Rexroth je, na základě své filozofie The Drive & Control Company, silným a spolehlivým partnerem a dodavatelem komponentů a systémů pro zajištění přesného a dynamického pohybu pro velmi široké spektrum výrobců strojů a zařízení ve všech průmyslových oblastech. Společnosti, které chtějí být se svými produkty úspěšné na světovém trhu, naleznou v nabídkovém programu firmy Bosch Rexroth vždy vhodné komponenty a systémy pro optimální řešení stanovených úkolů a bezpečné dosažení parametrových a kvalitativních cílů. Pro své komponenty a systémy nabízí Bosch Rexroth rovněž celosvětově fungující program servisní a poradenské podpory. To vše otevírá celosvětově nové možnosti pro výrobce strojů a zařízení ve všech současných aplikačních oblastech.

**Bosch Rexroth, spol. s r.o.**  
[www.boschrexroth.cz](http://www.boschrexroth.cz)

Electric Drives  
and Controls

Hydraulics

Linear Motion and  
Assembly Technologies

Pneumatics

Service

**Rexroth**  
Bosch Group



# Elektroprojekta Rožnov, a.s.

KOMPLEXNÍ SLUŽBY V INVESTIČNÍ VÝSTAVBĚ  
SPECIALIZACE - ČISTÉ A KLIMATIZOVANÉ PROSTORY

- projekce
- realizace
- servis
- rekonstrukce a modernizace staveb
- rozšiřování výrobních kapacit
- nové investice ve výstavbě
- elektrotechnický průmysl
- farmacie
- optika
- výroba zdravotnické techniky
- zdravotnictví



## Kontakt:

Elektroprojekta Rožnov, a.s., Boženy Němcové 1720, 756 61 Rožnov pod Radhoštěm

tel.: +420 571 664 111, fax: +420 571 664 400, e-mail: [ep@elektroprojekta.cz](mailto:ep@elektroprojekta.cz), [www.elektroprojekta.cz](http://www.elektroprojekta.cz)