

2
2008

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

FINE MECHANICS AND OPTICS

zaostřeno na optiku



OPTA

**14. mezinárodní veletrh
oční optiky, optometrie
a oftalmologie**

Brno, Výstaviště

22. 2. – 24. 2.

2008

Central European
Exhibition Centre



BVV



Veletrhy
Brno

www.opta.cz

registrace návštěvníků na www.opta.cz

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

DIOPTRA a. s. TURNOV NABÍZÍ:



Brýlové čočky s antireflexními, zrcadlovými a hydrofobními úpravami



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



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



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



REDAKČNÍ RADA

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

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

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

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

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

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

Odpovědný zástupce vydavatele: prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc. **Šéfredaktor:** dipl. tech. Jaroslav NEVŘALA

Adresa redakce v Olomouci (předplatné, nakladatelské služby):

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

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

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

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

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

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

V Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá:

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

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

Odborné články jsou lektorovány.

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2008

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 53 2/2008

OBSAH

Vzorce pro výpočet optické mohutnosti intraokulárních čoček (M. Falhar).....	35
Asférické brýlové čočky (A. Mikš).....	41
Možnosti vzdělávání v oborech oční optika – optometrie (S. Synek, S. Petrová).....	44
Rozvoj studia optometrie na UP v roce 2007 (J. Wagner, F. Pluháček).....	46
Nový fotovoltaický systém se zvýšenou efektivitou na ČZU v Praze (V. Poulek, P. Bican, J. Mareš, M. Libra).....	48
Pětidesiat' rokov od zalozenia Katedry presnej mechaniky a optiky na Technickej univerzite v Budapešti (A. Ákos).....	50
Svetelnotechnický výpočet a meranie zariadení na osvetlenie tunelov (P. Horňák).....	51
Prof. Ing. Pavol Hoňák, DrSc. – päťadesátiletý (J. Nevřala).....	52
Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie a její aplikační možnosti (V. Neděla, L. Roubalíková, F. Weyda).....	53
Obrazy ze sekundárních elektronů v rastrovacích elektronových mikroskopech (I. Konvalina, I. Müllerová)...	57
Konstrukce a testování solárního regulátoru v ostrovním fotovoltaickém systému (J. Mareš, M. Libra).....	60
Rozvojový program Dioptry a.s. Turnov (J. Karmášek).....	63
Konference Diffractive Optics 2007 Barcelona (J. Pala)....	63

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

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

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

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

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

FINE MECHANICS AND OPTICS

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

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

Editor: Miroslav HRABOVSKÝ

Managing Editor: Jaroslav NEVŘALA

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

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

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

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

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

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

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

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

Papers are reviewed.

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2008

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

VOLUME 53

2/2008

CONTENTS

- Formulas for intraocular lens power calculation** (M. Falhar) 35
- Aspheric spectacle lenses** (A. Mikš)..... 41
- Educational chances in ophthalmic optics- optometry** (S. Synek, S. Petrová) 44
- Progress in optometry studies at the Palacky University in 2007** (J. Wagner, F. Pluháček)..... 46
- New enhanced photovoltaic system at ČZU in Prague** (V. Poulek, P. Bican, J. Mareš, M. Libra) 48
- Fifty years from the founding of the Department of Precise Mechanics and Optics at the Technical University in Budapest** (A. Ákos) 50
- Technical calculation and measurement of a tunnel lighting equipment** (P. Horňák)..... 51
- Prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc. - his sixty fifth birthday** (J. Nevřala)..... 52
- Environmental scanning electron microscopy and their application possibilities** (V. Neděla, L. Roubalíková, F. Weyda)..... 53
- Secondary electron images in the scanning electron microscopes** (I. Konvalina, I. Müllerová)..... 57
- Design and testing of solar controller in an island photovoltaic system** (J. Mareš, M. Libra)..... 60
- Development program of Dioptra Turnov** (J. Karmáček)..... 63
- Conference Diffractive Optics 2007 Barcelona** (J. Pala) 63

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

Vzorce pro výpočet optické mohutnosti intraokulárních čoček

Tento článek se zabývá výpočtem optické mohutnosti intraokulárních čoček (IOL). Po historickém úvodu jsou probírány jednotlivé generace výpočtových vzorců. V chronologickém sledu jsou pak rozebrány hlavní problémy související s výpočtem optické mohutnosti IOL: užítí rohovkové proměnné K , výpočet efektivní pozice implantované čočky (ELP), závislost na axiální délce oka, problém lokálně platné statistické inference a individualizace vzorce. Článek obsahuje graf jednotlivých křivek výpočtových vzorců a tabulku ustáleného schématu pro jejich výběr. Závěr článku nastiňuje možný vývoj do budoucna.

Klíčová slova: biometrie oka, výpočet optické mohutnosti, intraokulární čočky, IOL, SRK.

ÚVOD

Nejčastější oční komplikací, která se řeší operací, je šedý zákal - katarakta. Při této operaci se odstraní zakalený obsah nitrooční čočky a následně se vloží umělá intraokulární čočka (IOL) o určité optické mohutnosti. Vložená IOL pak kompenzuje vzniklý dioptrický deficit. Operaci hodnotíme jako úspěšnou, pokud dotyčný vidí ostře na požadovanou vzdálenost a potřebuje pouze jedny brýle pro vykonávání běžných denních činností. Z uvedených skutečností je zřejmý požadavek na správné vypočítání optické mohutnosti implantátu. Cílem tohoto článku je přiblížení této problematiky s poukázáním na konkrétní problémy, které výpočet optické mohutnosti IOL doprovází.

K popsání současných vzorců sloužících k výpočtu optické mohutnosti velmi dobře poslouží historický podtext celého problému. Samotná operace katarakty je poprvé datována již ve 12. stol. před. n. l. na vyobrazení znázorňujícím reklinaci nitrooční čočky. Čočka se jednoduše dislokovala do sklivce vpichem ostré jehly v místě 3 - 4 mm od limbu a tím se anuloval mlžný efekt čočky. Vadou na krásu tohoto zákroku byla pooperační brýlová korekce, která u běžného emetropického oka dosahovala +12 D (tento stav označujeme jako afakii). Problém s pooperační refrakcí byl v podstatě neřešený až do 50. let 19. století, opomineme-li pár experimentů v 18. století. Až anglický lékař Ridley se v roce 1949 pokusil o první implantaci nitrooční čočky z PMMA (materiál PMMA – plexisklo, se v těle chová biologicky inertně). Nezávisle na něm u nás podobné aktivity projevil Vanýsek.¹⁴

IOL lze umístit do oka do jedné ze tří pozic (*obr. 1*). Zatímco pozice *a*) (přední komora) a pozice *b*) (do sulku) vyžadují kompletní extrakci původní zkalené čočky, *poloha c*) vyžaduje umístění implantátu do kortexu čočky (zbylého obalu). Tento obal vznikne speciální technikou otevření pouzdra čočky (kapsulorexe) a následnou aspirací zkalených čočkových hmot (fakoemulzifikace).

Chceme-li matematicky popsat oko jako optickou soustavu, musíme pracovat s dílčími optickými plochami a jejichmi základní-

mi charakteristikami (poloměrem křivosti, pozicí na optické ose, indexem lomu). Pokud tedy známe zcela přesně všechny parametry a užijeme exaktní matematickou metodu pro vyhodnocení, měli bychom být schopni vypočítat optickou mohutnost implantátu. Zde však narážíme na dva fundamentální problémy: 1) ne všechny hodnoty jsme totiž schopni přesně změřit (resp. určíme je s neznámou přesností); 2) samotný operační zákrok je pro každé oko individuální a při výpočtu IOL nelze předvídat změny související s operací (zejména pozice IOL po zákroku a operací indukovaný rohovkový astigmatismus). Oba dva problémy jsou podmíněné biometrickou individualitou každého oka. Pro správné určení IOL je tak zapotřebí jistých předpokladů, které statisticky vedou k nejlepším výsledkům.

VZORCE I. GENERACE

V obdobích prvních implantací se do oka vkládala čočka o konstantní hodnotě +18 D. Tento přístup však vedl v extrémních případech k pooperační zbytkové refrakci přesahující až 9 D. Tyto výsledky přirozeně nastolily potřebu exaktně vypočítat optickou mohutnost čočky. Nejjednodušší cesta, jak dosáhnout hodnoty implantované nitrooční čočky, je jednotná standardní hodnota modifikovaná faktorem brýlové korekce:¹⁶

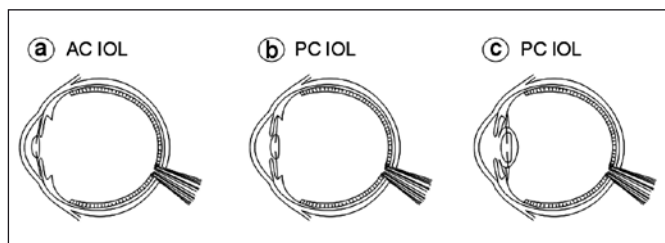
$$P = 21 + 1,25 \cdot B,$$

kde: P – předpokládaná optická mohutnost IOL [D], B – korekční hodnota brýlové čočky [D].

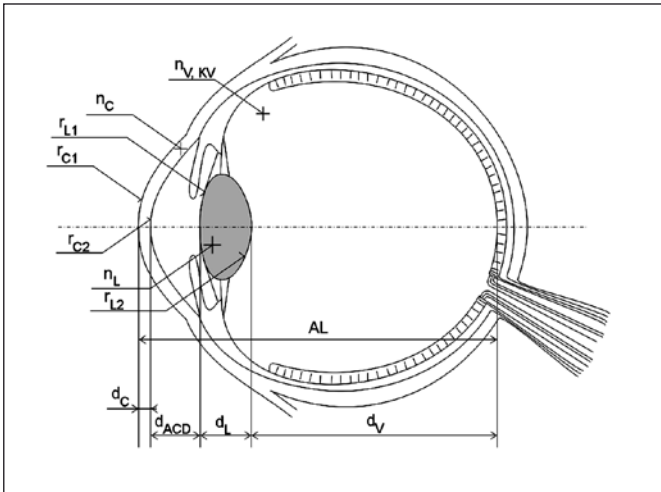
Uvedený vztah nabízí jen hrubé přiblížení, neboť nerespektuje individuální biometrická specifika (ta jsou nastíněna na *obr. 2*). S prvním náznakem řešení přišel v roce 1967 slavný ruský chirurg Fjodorov, který uvedl tzv. vergenční rovnici:¹⁸

$$P = \frac{1336}{AL - ELP} - \frac{1336}{\frac{1336}{\frac{1000}{DPostRx}} + K - ELP},$$

kde: P – optická mohutnost čočky [D], AL – axiální délka oka [mm], ELP – efektivní pozice čočky (pozice implantované čočky po operaci) [mm], K – celková optická mohutnost rohovky [D], V – vertikální vzdálenost korekční brýlové čočky od oka [mm], $DPostRx$ – požadovaná pooperační refrakce [D].



Obr. 1 Možné pozice intraokulárních čoček. Předněkomorové čočky se označují AC IOL (Anterior chamber IOL), zadněkomorové čočky pak jako PC IOL (Posterior chamber IOL)



Obr. 2 Biometrická specifika každého oka; parametr r značí poloměry křivosti, parametry n indexy lomů a parametr d pak jejich vzájemné vzdálenosti

S obdobnými vztahy přišli následně i Binkhorst, Colenbrander, Hoffer, jejichž vzorce byly velmi podobné. Většinou se lišily v rozdílné interpretaci, v použití jiných rohovkových indexů lomu aj. Časem se ujal ještě jednodušší Binkhorstův vzorec:⁶

$$P = \frac{1336}{AL - PK} - \frac{1336}{K - PK}$$

kde: P – optická mohutnost emetropizující čočky [D], AL – axiální délka bulbu [mm], PK – hloubka přední komory [mm], K – celková optická mohutnost rohovky [D].

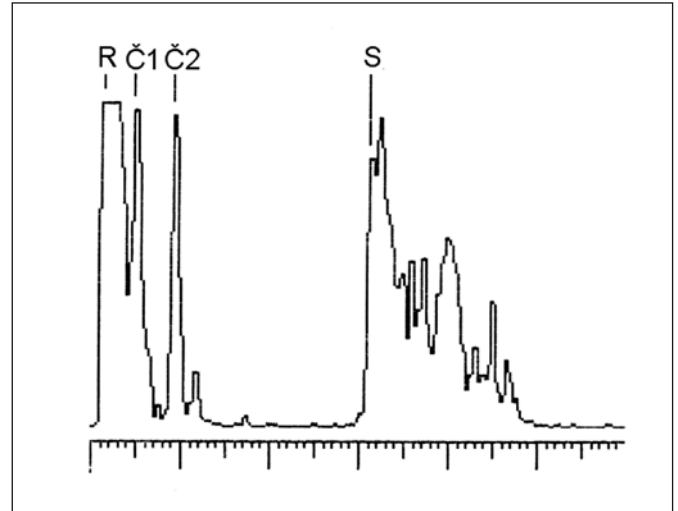
Vzorec byl díky své přesnosti poměrně dobře použitelný pro předněkomorové čočky. Binkhorst zavádí tzv. *vitreosenzorickou vzdálenost*, což je inkrement +0,25 mm k naměřené axiální délce bulbu. Tato hodnota se doporučuje přičíst k parametru AL , protože ultrazvukové měřicí echo se odráží od prvních sítnicových struktur za sklivcem, což je vrstva výživových cév. Samotná senzorická část sítnice je ale uložena o +0,25 mm dále.¹⁸

Binkhorstův vztah vychází ze základů geometrické optiky a jeho podstata tkví ve vzájemných vergenčních vzdálenostech procházejícího paprsku v rámci paraxiálního prostoru (vztah je složen z vergence vzdálenosti, která je modifikovaná indexem lomu příslušného prostředí – výsledkem je údaj v dioptriích: $[m^{-1}] = [D]$). Zjednodušení užitím paraxiálního prostoru bylo podpořeno myšlenkou, že sítnice vnímá ostrý obraz pouze v místě žluté skvrny a v bezprostřední blízkosti osy vidění.

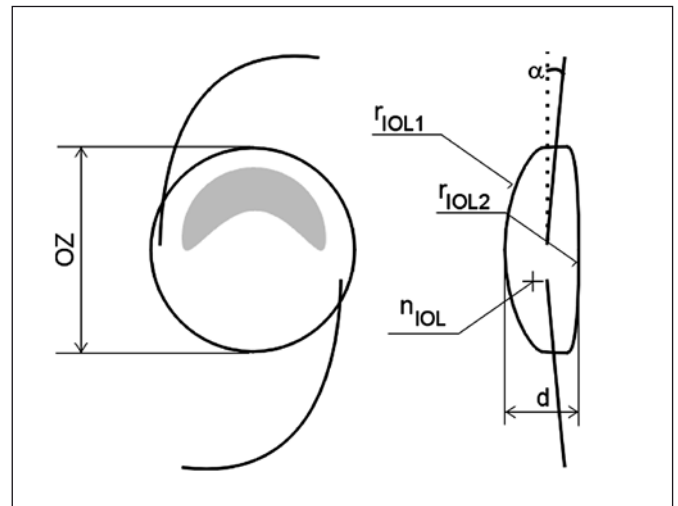
Používání parametru K s sebou nese jistou nepřesnost. Hodnota K ve své podstatě vyjadřuje optickou mohutnost celé rohovky (v průměru okolo +44 D). Tato hodnota se zavedla zejména z důvodů zjednodušení. Nemusí se zadávat hodnota předního a zadního poloměru křivosti rohovky, tloušťka rohovky a její index lomu, ale pouze jediná hodnota vypovídající o celkovém vlivu rohovky na konečném zobrazení. Toto zjednodušení je na úkor přesnosti. Změřit zadní poloměr křivosti rohovky je obtížné, a proto se pro výpočet K použila konstantní hodnota zadního poloměru křivosti 6,8 mm. Taktéž měřená hodnota poloměru křivosti přední plochy pochází z oblasti 2 - 3 mm od centra rohovky a nezohledňuje rohovkový asférický tvar v periférii. Parametr K je hojně užívaný i dnes, takže se i v dnešní době potýkáme s jeho nedostatky.

Dalším užitým parametrem je *ELP* (*Effective Lens Position*), jehož znalost má klíčovou roli při správném vyjádření požadované optické mohutnosti P . Jsme schopni změřit jednotlivé vzdálenosti dílčích optických ploch před zákrokem (obr. 3), zakomponovat

jednotlivá specifika implantované IOL (obr. 4), ale již nejsme schopni odhadnout situaci po samotném zákroku. Konkrétně, máme-li naimplantovat intraokulární čočku o jisté optické mohutnosti, musíme znát její přesnou polohu v oku, aby správně fokusovala na sítnici. IOL umístěná mimo předpokládanou pozici logicky vede k navození hypermetropie či myopie. Určení přesné pozice IOL po zákroku je přetrvávajícím problémem i v současnosti. Je to dáno hlavně biologickou rozmanitostí lidské tkáně, použitou operační technikou a nemožností zcela exaktně zpracovat údaje o původní nitrooční čočce. Zkalení čočky společně s pozicí za duhovkou nám ztěžuje přesné měření parametrů potřebných pro kalkulaci *ELP*. O důležitosti *ELP* vypovídá i navozený refrakční deficit oka: v případě *AC IOL* je posun o 0,1 mm zodpovědný za 0,12 D deficitu, u *PC IOL* pak za 0,19 D.¹⁸



Obr. 3 Ultrazvukový echogram oka. R označuje odraz od první plochy rohovky (splývá s odrazem od druhé plochy). $Č1$ a $Č2$ je pak odraz od první a druhé plochy čočky. S je konečné echo od sítnice



Obr. 4 U IOL nás kromě poloměrů křivosti ploch, indexu lomu materiálu a tloušťky, zajímá také průměr (OZ) a sklon haptik α (fixujících nožek) od roviny IOL

VZORCE II. GENERACE

Éra teoretických vzorců první generace byla ukončena rokem 1980, kdy trojice autorů Sanders, Retzlaff a Kraff zveřejnila vzorec jednoduše nazvaný *SRK* (zkratka složená z prvních písmen jejich příjmení). Tato trojice autorů se odklonila od řešení pomocí vergenčních vztahů a jako stěžejní evaluační metodu použila statistiku.

Vzorec SRK odvodili jednoduchou lineární regresní analýzou pooperační zbytkové refrakce ze souboru 1200 pacientů. Velkou oblibu si vzorec získal především díky velmi snadné aplikovatelnosti a jednoduchosti. Jeho znění je:⁹

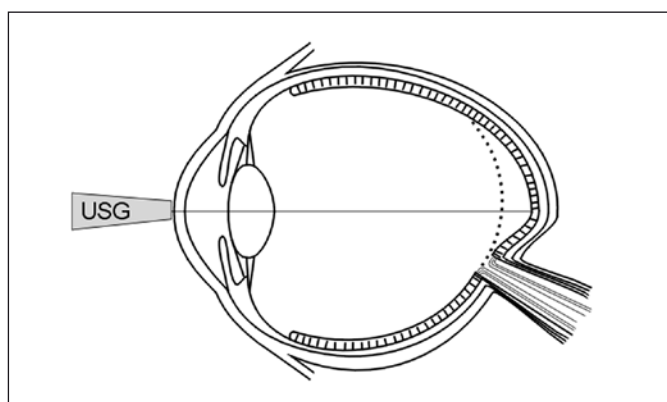
$$P = AKonst - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K,$$

kde: P – výsledná optická mohutnost implantované čočky [D], $AKonst$ – velikost konstanty příslušná pro implantovanou IOL [-], AL – axiální délka bulbu v [mm], K – optická mohutnost rohovky [D].

Vzorec SRK byl navržen s předpokládanou 60 – 70% přesností, kdy pooperační refrakce oka nepřesáhne ± 1 D. Původně měla A-konstanta ($AKonst$) hodnotu 116,5. Vzorec vykazoval uspokojivé výsledky v případě předněkomorových čoček, v oblasti zadněkomorových čoček byla velikost chyby nepoměrně větší.

Autoři tedy přistoupili k proměnné A-konstantě, která byla vždy specifická pro každou IOL čočku. A-konstanta závisela na fyzikálně-optických parametrech intraokulární čočky a je to číselný parametr, který vyjadřuje vliv čočky na optické zobrazování oka. Hodnota A-konstanty je nízká pro předněkomorové čočky (hodnoty okolo 114 až 116) a vyšší pro zadněkomorové (118 až 118,7). Došlo tak k zásadnímu odlišení předněkomorových čoček od zadněkomorových. Předněkomorové čočky jsou více vzdáleny od uzlových bodů oka než zadněkomorové čočky, a tím se mění i jejich vliv na celkové zobrazení. Tím se vysvětluje větší nepřesnost pooperační refrakce oka u zadněkomorových čoček. Výrobci IOL začali sami svým čočkám přidělovat A-konstantu, která společně s optickou mohutností měla určovat vlastnosti čočky. Výrobce určené hodnoty nebyly vždy zcela přesné a vyžadovaly dodatečnou úpravu A-konstanty.

Již od počátku byla patrná závislost přesnosti vzorců na axiální délce oka. Nejlepších výsledků se dosahovalo při axiálních délkách oka 22 až 24 mm (délka průměrného lidského oka). Je-li bulbus krátký ($AL < 22$ mm), vypočtená hodnota P je příliš velká a oko se myopizuje; je-li bulbus dlouhý ($AL > 24$ mm), vypočtená hodnota P je naopak nedostatečná a oko se hypermetropizuje. Obecně je navozená myopie žádoucí, neboť v přijatelné míře (-3 D) umožňuje alespoň čtení bez potřeby korekční pomůcky. Na druhou stranu navozená hypermetropie vyžaduje korekci na dálku i na blízko a takový stav můžeme označit za značně nežádoucí. Zatímco u krátkých bulbů se dala provést úprava vzorce, která problém alespoň částečně vyřešila, u dlouhých bulbů nikoliv. Axiální délka bulbu se nejčastěji měří ultrazvukem. Pro ultrazvuk je typická vzrůstající nepřesnost měření s rostoucí vzdáleností měřených struktur. Čím je tedy bulbus delší, tím větší vzniká nepřesnost při určení vzdálenosti (echa dále vzdálených optických struktur vykazují větší měřicí chybu). Navozenou chybu u krátkých bulbů tak můžeme označit za systémovou (nedostatek ve vzorci a v použitých konstantách). U dlouhých bulbů také nacházíme chyby systémové, ale především i chyby měřicí. Problém je o to komplikovanější, že u extrémně



Obr. 5 Stafylomem nazýváme asymetrické vyboulení zadního pólu oka. Tato nerovnoměrnost zkresluje měřenou axiální délku oka, neboť ne vždy musí ležet žlutá skvrna na dně tohoto stafylomu

dlouhých bulbů bývá zadní pól asymetricky vyboulený (stafylom), takže naměřená hodnota nemusí vždy odpovídat skutečné axiální délce oka (obr. 5). Měření axiální délky oka se provádí ultrazvukovou sondou, která se přikládá k rohovce. Dochází přitom k rohovkové aplanaci, takže naměřená délka oka je o tuto aplanaci kratší. Problém lze řešit imerzní metodou, kdy se na oko položí kalíšek naplněný fyziologickým roztokem a sonda se do něj ponoří. Nedochozí tak již k aplanaci, i když interakce s bulbem pořád existuje. Problém eliminuje přístroj, který funguje na principu parciální koherentní interferometrie (PCI). Jedná se o čistě optické měření, takže problémy ultrazvukových metod odpadají. I přesto nelze PCI použít ve všech případech (10% případů má natolik silný zákal, znemožňuje průchod měřicího svazku).^{5,6}

Aby se autoři SRK co nejvíce přiblížili požadované (většinou nulové) refrakci, snažili se nalézt ideální hodnotu pro A-konstantu, která bude přesně odrazet nejen poměry mezi implantovanou IOL a okem, ale zároveň by obsahovala i údaje o přední komoře. Po implantaci změřili zbytkovou refrakci každého oka a pro každé oko, operátora a pro každou IOL spočítali předpokládanou A-konstantu dle vztahu:^{6,8}

$$AKonst_{INDIVIDUAL} = \frac{8,55 \cdot B - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K - P}{0,0875 \cdot B - 1},$$

kde: B – pooperační brýlová korekce [D], AL – axiální délka bulbu [mm], K – optická mohutnost rohovky [D], P – optická mohutnost implantátu [D].

Rozdíl mezi původní $AKonst$ a individualizovanou $AKonst_{INDIVIDUAL}$ se statisticky zprůměrují a vypočtená hodnota se do budoucna přičítá k původní $AKonst$.

Obzvláště velkých nepřesností bylo dosaženo v případě extrémních délek bulbu (tj. větších jak 26 mm a menších jak 21 mm). Vzorec SRK vykazoval velkou myopizaci krátkých bulbů. Tyto odchylky byly poměrně velké a motivovaly stejnou trojici autorů k vydání nového vzorce. Nazvali ho SRK II a byl publikován v roce 1988. Základní vztah je stejný jako u SRK, navíc se ale dodatečně upravují vstupní parametry:⁹

$$P = AKonst - 2,5 \cdot AL - 0,9 \cdot K,$$

kde pro $AL < 20$ mm:	$AKonst = AKonst + 3,$
$20 \text{ mm} \leq AL < 21$ mm:	$AKonst = AKonst + 2,$
$21 \text{ mm} \leq AL < 22$ mm:	$AKonst = AKonst + 1,$
$22 \text{ mm} \leq AL < 24,5$ mm:	$AKonst = AKonst,$
$AL > 24,5$ mm:	$AKonst = AKonst - 0,5.$

Nedostatek předcházejícího vzorce měl být řešen přičtením příslušející celočíselné hodnoty k původní A-konstantě. Velikost celočíselné hodnoty je závislá na velikosti axiální délky oka. Vztah individualizující A-konstantu pro SRK II:⁸

$$AKonst_{INDIVIDUAL} = P + B \cdot rf + 2,5 \cdot AL + 0,9 \cdot K - C,$$

kde: B – pooperační brýlová korekce [D], AL – axiální délka bulbu [mm], K – optická mohutnost rohovky [D], P – optická mohutnost implantátu [D], C – faktor upravující A-konstantu v závislosti na axiální délce, rf – refrakční faktor.

Pro **refrakční faktor** dále platí:
pro $P < 16$ je $rf = 1,00$; pro $P > 16$ je $rf = 1,25$.

Pro **faktor C** upravující funkci:
 $AL < 20$ mm: $C = AKonst + 3$
 $20 \text{ mm} \leq AL < 21$ mm: $C = AKonst + 2$
 $21 \text{ mm} \leq AL < 22$ mm: $C = AKonst + 1$
 $22 \text{ mm} \leq AL < 24,5$ mm: $C = AKonst$
 $AL > 24,5$ mm: $C = AKonst - 0,5.$

Oba vzorce neberou v úvahu vlastnosti čočky, ani její pozici v oku (nepracují s před- nebo po-operací hloubkou přední komory). Úvahy nás mohou vést k domněnce, že opomíjení parametru přední komory a užití lineární závislosti mezi proměnnými může být hlavní příčinou zbytkové pooperační refrakce u nestandardních délek bulbů. V samotné podstatě lineární regresní analýzy je její klíčová vlastnost - linearita (přímková závislost). Je ale pravděpodobnější, že množství vstupních parametrů a biologická rozličnost poukazují na závislost nelineární. Vzorec, jenž vykazoval značné chyby v oblasti krátkých a dlouhých bulbů, pobízel různé autory k individuálním úpravám: násobící koeficient rohovkové optické mohutnosti se v původním SRK vzorci pohyboval v rozmezí 0,8 až 1,2, koeficient u axiální délky oka v rozmezí 2,4 až 3,4. Z povahy statistického odvození je podoba těchto vzorců závislá na zkoumaném vzorku. Uvážíme-li, že každý z autorů použil jiný soubor probandů, odvodil si vlastně vzorec „sám sobě na míru“. Z toho také vyplývá rozptýlení násobících konstant, které se měnily v určitém intervalu v závislosti na složení zkoumané skupiny. Nelze tak hovořit o jednoznačně exaktní a obecné metodě vedoucí k přesnému určení hodnoty optické mohutnosti implantované čočky.

V souvislosti s individualizací zde vyvstává také několik otázek. Jak bylo naznačeno, vzorce SRK a SRK II jsou statisticky odvozené z určitého souboru probandů a výsledná forma vzorců je tak závislá na specifických vlastnostech tohoto statistického souboru. Nový soubor očí, který bude mít podobné parametry jako základní výchozí soubor, zajistí velice dobré pooperační výsledky. Avšak soubor očí o jiných parametrech než základní soubor logicky poskytne pooperační výsledky jiné. Je tak nasnadě provést korekci novým souborem dat, který upraví vzorec do podoby vykazující lepší statistický výsledek.

Taková korekce je však opět platná pouze pro starý a nový soubor. Jakýkoliv nový prvek souboru může mít vlastnosti, které mohou vybočovat z doposud zkoumaných vzorků. Provedená statistická individualizace základního početního vzorce tak postrádá smysl, neboť není schopna tuto variabilitu předvídat. Ve prospěch úpravy hovoří fakt, že se pravděpodobnostně blíží k neznámému počítanému výsledku. Statistické zpracování také prokáže systematickou chybu prováděnou při implantačním výkonu a dává tak podnět pro její redukci.

Pro provedené individualizaci nám vyjde hodnota, kterou bychom měli používat pro předpokládanou nejmenší pooperační refrakci. Je ale pravděpodobné, že po dalších 100 odoperovaných očích budeme muset tuto hodnotu poupravit. Tuto opravu můžeme pak provádět stále, aniž bychom se někdy dopátrali ustálené hodnoty.

Pro vzorce je tedy velmi žádoucí, aby měly pevný teoretický základ. Nevýhodou čistě teoretického vzorce je necitlivost na biologickou rozmanitost a chyby měření. Vzorce vyjádřené čistě statistickou metodou jsou pak z biologické rozmanitosti přímo budovány, ale nezachycují původní podstatu jevu. Kombinací obou přístupů lze pravděpodobně dosáhnout nejlepších výsledků. Statistické vyhodnocení nám také dává nástroj k určení pravděpodobné hodnoty neznámé veličiny. Vzorce třetí generace se již snaží o kombinaci obou přístupů.

VZORCE III. GENERACE

Tuto generaci vzorců charakterizuje kombinace teoreticko-statistického přístupu a poprvé se začíná pracovat s hloubkou přední komory. Jedná se již o soustavy zhruba deseti vzorců. Ty jsou však již integrované v přístrojích měřících axiální délku oka, takže odpadá pracné dosazování. Díky tomu se otevřela cesta pro složitější kalkulace. Jako první takový byl vzorec Holladay – nazvaný po svém strýpci J. T. Holladayovi. Vzorec uvedl v roce 1988 a byl určen na plankonvexních čočkách a opět byl postaven na vergenčním popisu s konstantami odvozenými běžnou regresní analýzou. Vitreosenzorickou vzdálenost započítává jednoduchým přičtením 0,2 mm k celkové axiální délce oka. Na rozdíl od rodiny SRK vzorců svůj individualizující parametr nazývá *Surgeon*

Factor (SF). *SF* vychází z původní A-konstanty, která je dána pro každou čočku, a její hodnotu navyšuje o kulový vrchlík tvořený rohovkou.¹⁹

Holladay si i při výpočtu pooperační hloubky přední komory pomáhá regresní analýzou. V intervalu 20 až 25,32 mm uvádí proporcionální závislost hloubky přední komory na axiální délce oka. Po překročení hodnoty 25,32 mm považuje hloubku přední komory za konstantní. Zbývá vzdálenost (vzdálenost roviny duhovky po přední plochu implantované čočky) je parametrem zohledňujícím právě *SF*. V oftalmologickém povědomí byla nepoměrně více zavedená A-konstanta než *SF*. Proto Holladay svůj vzorec poupravil do verze, kde byla využita A-konstanta. Přepočtení mezi *SF* a A-konstantou zní: $SF = AKonst \cdot 0,5663 - 65,60$.¹⁹

Na tuto Holladayovu formuli reaguje trojice autorů vzorce SRK uvedením nového vztahu, s názvem SRK/T (1990). Je založen na rozšířeném zápisu vergenčních závislostí poupraveném regresní analýzou. Pilotní skupině probandů byly implantovány čočky plankonvexního typu. Počítá již s vitreosenzorickou vzdáleností (odvození taktéž regresní analýzou) a s pooperační hloubkou přední komory. Pooperační hloubka přední komory je určena z předoperačně získaných údajů. Jako nová vstupní veličina figuruje průměr rohovky označovaný jako *HVID (Horizontal Visible Iris Diameter)* – horizontální viditelný průměr rohovky, označovaný také jako *WTW (White To White)* – „bílá k bílé“, ve smyslu měření rozměru rohovky od bělimy k bělimě. Hloubku přední komory počítá SRK/T velmi podobně jako Holladay a pracuje i velmi obdobně s konečnou pozicí implantované IOL. Vzorec SRK/T byl vydán ve velmi krátkém čase jako odpověď na uveřejnění Holladayova vzorce. Dle kritiku je toto překotné uvedení zodpovědné za jistou nevytříbenost. Vzorec má jen nepatrně lepší výsledky pooperační refrakce než jeho předchůdce - SRK II. Výsledky SRK/T v oblasti extrémně dlouhých bulbů vykazují zatím neuspokojivější výsledky.¹

Několik let nato se objevil vzorec Hoffer Q pracující zejména s krátkými a normálními axiálními délkami oka (k predikci velikosti hloubky přední komory využíval tangentu *K*).

Vzorce Hoffer Q, Holladay I a SRK/T jsou založeny na stejných matematických principech. Hlavní rozdíl spočívá ve výpočtu konečné pozice IOL. Tyto vzorce jsou poměrně spolehlivé pro vzorové oko (*AL* = 24 mm), které je však plně různých předpokladů. Předpokládá se proporcí závislost mezi přední a zadní částí oka, dále se například předpokládá závislost mezi rohovkovou optickou mohutností a pozicí tenké čočky (to obzvláště neplatí v případě axiální hypermetropie).¹

VZORCE IV. GENERACE

V roce 1991 přišel Haigis se vzorcem založeným na shodném matematickém základě jako předchozí vzorce s tím, že rozšiřuje počet vstupních proměnných (*a0*, *a1*, *a2*). Jednotlivé individualizující parametry modifikují optickou mohutnost čočky, hloubku přední komory a axiální délku oka. Důležité je, že se všechny tyto proměnné dají individualizovat zvlášť, zatímco všechny ostatní vzorce slučují individualizaci do jedné jediné proměnné. Vzorec tak vyazuje uspokojivé výsledky napříč všem axiálními délkám. Správná individualizace potřebuje minimálně 200 očí pro každou specifickou axiální délku. To v případě extrémních délek, (ať už příliš krátkých nebo příliš dlouhých očí) dělá potíž, neboť výskyt těchto očních délek není v populaci tolik zastoupen.

V roce 1996 Holladay prezentoval svůj vzorec Holladay 2. Používá sedm vstupních proměnných a je odvozen z více než 30 000 pacientů od 35 chirurgů. Studie zabývající se přesností vztahů prokazuje velice dobrou přesnost u krátkých a dlouhých bulbů. V oblasti normálních axiálních délek má ale vzorec výsledky horší, než vzorce třetí generace.

V souvislosti s tímto vztahem Holladay uvádí program *Holladay IOL Consultant*. Pro co nejlepší výsledky byl vytvořen program, který vytváří sofistikovaný základ pro výpočet IOL operátorovi přímo „na tělo“. Program vyhodnocuje databázi údajů, které vkládá

chirurg. Obsahuje data jak vstupní biometrie, tak i pooperační údaje o konečném refrakčním deficitu aj. Program kalkuluje se všemi známými vzorci a na základě pooperačních výsledků se snaží poupravit výpočet pro statisticky nevhodnější hodnotu pooperační refrakce. Principiálně tedy k velké změně nedochází, zpětným vyhodnocením ale může dojít k minimalizaci systémových a měřicích chyb.

SROVNÁNÍ PŘESNOSTI VÝPOČTOVÝCH VZORCŮ

Podle očekávání by měly být nejmladší vzorce nejpřesnější. Některé studie tento fakt potvrzují, jiné překvapivě nikoliv. Úspěšnost jednotlivých vzorců lze vyjádřit procentním zastoupením pooperační refrakce do hodnoty ± 1 D (event. $\pm 1,5$ D, ± 2 D) doplněné maximálními a minimálními hodnotami (event. variačním rozptylem). Například autoři vzorce SRK/T udávají rozptyl do ± 1 D u 79 % očí, Holladay pak u 72 % očí. Ve srovnání se vzorci starších generací (SRK, SRK II) není patrný posun k výraznému zlepšení. Úspěšnost je téměř stejná. Jednoduchost vzorce SRK II umožňovala relativně nekomplikované modifikace (zejména v oblasti A-konstanty); základní nebo modifikované verze SRK II pak dosahují průměrné úspěšnosti ± 1 D okolo 83 % pacientů.^{7, 10, 11}

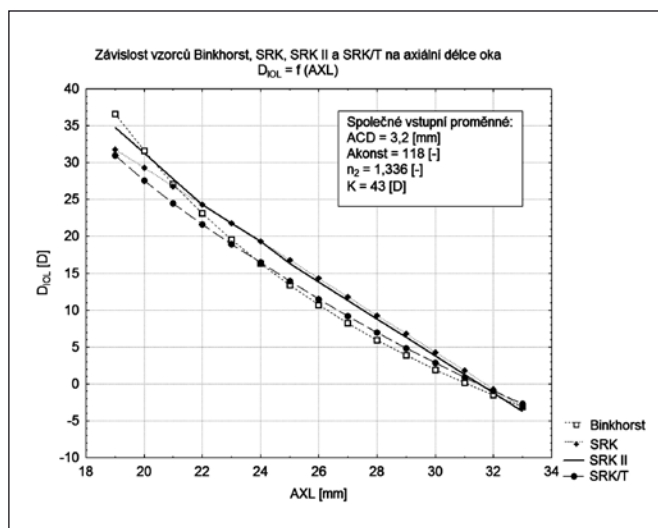
Přesnost jednotlivých vzorců je velmi závislá na axiální délce operovaných očí. Pro srovnání jsou na obr. 6 zobrazeny průběhy jednotlivých vzorců. Studie, obsahující všechny oči bez ohledu na jejich axiální délku, mají menší přesnost než studie zaměřené na axiální délku průměrných hodnot. V zásadě lze příčinu nepřesnosti vzorců sledovat v těchto aspektech:¹¹

- chybná technika měření axiální délky oka
- špatný odhad rychlosti šíření ultrazvuku
- chyby v měření zakřivení rohovky
- nedokonalý odhad pooperační hloubky přední komory
- nevhodně zvolený implantační vzorec

Při minimalizaci chyb měření a individualizaci výpočtového vztahu lze běžně dosáhnout přesnosti nad 80 % pro interval ± 1 D. Následující tabulky demonstrují úspěšnost jednotlivých vzorců:⁸

Tabulka I Porovnání přesností vzorců; údaje jsou v dioptriích¹¹

	SRK II	SRK/T	Holladay
Průměr	-0,316	-0,384	-0,55
Směrodatná odchylka	1,102	1,127	1,157
Střední chyba průměru	0,161	0,164	0,169
Rozmezí	-2,2 až +2,45	-2,5 až +2,75	-2,8 až +2,45



Obr. 6 Graf znázorňující závislost optické mohutnosti implantované IOL na axiální délce oka

Tabulka II Studie se zahrnutými individualizujícími faktory⁶

Vzorec	$\pm 1,0$ D	$\pm 1,5$ D	$\pm 2,0$ D
SRK	67,8 %	83,6 %	91,9 %
SRK II	67,0 %	82,9 %	90,8 %
Holladay A-konst.	62,2 %	81,3 %	88,9 %
Holladay SF	66,0 %	82,0 %	90,0 %
SRK/T	65,5 %	84,3 %	92,1 %

SOUDOBÝ TREND

V USA jsou vzorce SRK a SRK II spíše historickými milníky. Ne tak v Evropě, kde je SRK II stále jeden z nejvíce používaných vzorců navzdory jeho nedostatkům. V jeho prospěch hovoří poměrně dobré výsledky pooperační refrakce a nesignifikantní prokázání výrazné úspěšnosti jiných vzorců (z výsledků velkého množství provedených studií nelze SRK II jednoznačně zavrhnout). Bylo by ovšem správnější používat vzorce, které na základě srovnávacích studií vykazují nejpřesnější výsledky (vzorce III. a IV. generace). V podstatě je ustálený názor, že dle délky oka se zvolí vzorec, který v té dané oblasti vykazuje nejlepší výsledky. Tabulka III nastiňuje ustálené schéma, Tabulka IV pak poukazuje na přesnost jednotlivých vzorců v závislosti na délce oka.

Tabulka IV Průměrná pooperační refrakce v závislosti na axiální délce oka⁴

AL [mm]	Haigis optimalizováno	Haigis optimalizováno	Hoffer Q optimalizováno	Holladay 1 optimalizován	Holladay 2 optimalizováno	SRK/T optimalizována
	pouze a0	a0, a1, a2	ACD	SF	ACD	AKonst
18,00 – 19,99	1,00 D	0,50 D	0,50 D	1,00 D	0,50 D	2,00 D
20,00 - 21,99	0,25 D	0,25 D	0,25 D	0,50 D	0,25 D	1,00 D
22,00 – 25,99	0,25 D	0,25 D	0,25 D	0,25 D	0,25 D	0,25 D
26,00 - 27,99	0,50 D	0,25 D	0,50 D	0,25 D	0,25 D	0,50 D
28,00 - 30,00	1,00 D	0,50 D	0,50 D	0,25 D	0,25 D	1,00 D
Mínusové IOL	2,00 D	1,00 D	1,00 D	0,50 D	0,50 D	2,00 D

Tabulka III Pro specifickou AL je nevhodnější použít tyto vzorce (Waldron, 2005)

Vzorec	je lepší pro bulby s AL
Hoffer Q	< 22,0 mm
Průměr ze všech tří vzorců	22 až 24,5 mm
Holladay I	24,5 až 26 mm
SRK/T	> 26,0 mm

I když jsou výsledky velmi uspokojivé, nelze stále mluvit o zcela dokonalé metodě. Dle Hilla by měly být splněny tyto předpoklady: zmenšit počet proměnných, ověřovat podezřelá měření, používat imerzi nebo PCI, pečlivě vyhodnocovat pooperační výsledky, individualizovat, při kapsulorexi užít co nejmenší implantační otvor. Požadavek na menší počet proměnných je diskutabilní, neboť na jedné straně snižuje zdroj možných chyb, ale na druhé straně dochází k odklonu od individuální biometrie každého jedince.³

Biometrická individualita je stěžejní pro exaktní vyjádření. Zcela univerzální vzorec je obtížné upravit pro všechny axiální délky. Současný trend se přiklání k vytváření vzorců zvlášť pro každou ze tří potencionálních oblastí (krátké, střední a dlouhé bulby). Ke slovu se dostává metoda ray-tracingu, která dovoluje hlubší analýzu chodu paprsků v oku. Vzorové modely stále obsahují velké množství předpokladů, proto je snaha tyto předpoklady odbourávat i na úkor obtížností výpočtů – používaná zařízení jsou na úrovni, kdy striktní jednoduchost výpočtových vzorců již není vyžadovaná. Je ovšem otázkou, zda i sebelepší vzorec a co nejpřesnější měření překoná biologickou rozmanitost přírody. I přesto je na obzoru řešení.

Nejnovější výzkumy v oblasti IOL se zabývají čočkou, kterou lze dodatečně modifikovat i po již proběhlé implantaci do oka. Jedná se o čočky LAL (*Light Adjustable Lens – Calhoun Vision*), které jsou tvořeny silikonovou maticí, do které jsou zapuštěny fotosenzitivní molekuly. Osvícením středu čočky ultrafialovým světlem se polymerizují fotosenzitivní molekuly, čímž vznikne koncentrační gradient mezi osvětlenou a neosvětlenou oblastí. Po 12 hodinách fotosenzitivní molekuly migrují z neosvětlené oblasti do oblasti osvětlené a dojde tak k nabobtnání středové části. Tím dojde ke zvýšení optické mohutnosti čočky. Naopak osvětlení periferie čočky způsobí redukci optické mohutnosti. Stačí jeden den, aby se změny po ozáření kompletně projevíly a my pak můžeme provést případnou dokorekci dalším ozářením. Jsme-li s konečným stavem spokojeni, ozáříme celou čočku rovnoměrně v celé její ploše. Zpolymerizujeme tak všechny dostupné molekuly a tím zabráníme potencionální migraci molekul – hovoříme o konečném zaklíčování. Možnosti jsou opravdu široké. Tím, že můžeme osvětlovat přesně vymezenou oblast o přesně nadávkované intenzitě, můžeme čočkou korigovat nejen astigmatismus, ale dokonce můžeme dodatečně vytvářet multifokální čočky nebo dokonce korigovat aberace vyšších řádů, přesně dle potřeby pooperačního stavu oka. Ukáže čas, jak se LAL čočky osvědčí a zda splní veškerá očekávání, která jsou do nich vkládána.²

Literatura

- [1] ORAVEC, A.: *IOL power calculation*. Cataract and refractive surgery Today: Archive 02/2002. Čerpáno: 7. 8. 2007. URL: http://www.crstodayarchive.com/03_archive/0202/cest0202_1_041.html

- [2] SCHWARTZ, DANIEL M.: *Understanding the light adjustable lens*. Cataract and refractive surgery Today: Archive 01/2003. Čerpáno: 7.8.2007. URL: http://www.crstodayarchive.com/03_archive/0103/crst0103_131.html
- [3] HILL, WARREN E.: *IOL power calculation accuracy*. Cataract and refractive surgery Today: Archive 10/2003. Čerpáno: 7.8.2007. URL: http://www.crstodayarchive.com/03_archive/0003/051.html
- [4] HILL, WARREN E.: *Choosing the right formula*. Doctor-hill.com: IOL fomulas. Čerpáno: 7.8.2007. URL: <http://www.doctor-hill.com/iol-main/formulas.htm>
- [5] KORYNTA, J., CENDELÍN, J.: Teoretické základy bezchybné biometrie. *Česká a slovenská oftalmologie*, 1995, roč. 51, č. 1, s. 44-55.
- [6] KORYNTA, J.: Přesnost výpočtu optické mohutnosti nitrooční čočky při operaci katarakty. *Česká a slovenská oftalmologie*, 1994, roč. 50, č. 3, s. 168-183.
- [7] KORYNTA, J.: Výpočet optické mohutnosti implantátu a chyby výpočtu. *Československá oftalmologie*, 1992, roč. 48, č. 4.
- [8] KORYNTA, J.: Význam individualizace vzorce pro zpřesnění výpočtu emetropizující IOČ před operací katarakty. *Česká a slovenská oftalmologie*, 1995, roč. 51, č. 1, s. 45-51.
- [9] KORYNTA, J., HYCL, J., KŘEPELKOVÁ, S.: Biometrie velmi krátkých bulbů. *Česká a slovenská oftalmologie*, 1998, roč. 54, č. 2, s. 109-114.
- [10] PONTŮCHOVÁ, E., ČERNÁK, A., POTOCKÝ, M., ČUVALA, J.: Výpočet předpokladané pooperační hloubky prednej komory ako důležitá súčasť výpočtu optickej mohutnosti vnútroočnej šošovky. *Česká a slovenská oftalmologie*, 1996, roč. 52, č. 4, s. 215-219.
- [11] HAICL, P., BOGUSZAKOVÁ, J., HAVRÁNEK, R., SÍBLOVÁ, O.: Příspěvek ke stanovení výpočtu nitrooční čočky. *Československá oftalmologie*, 1992, roč. 48, č. 1, s. 32-36.
- [12] ELEFTHERIADIS, H.: IOL Master biometry: refractive results of 100 consecutive cases. *British Journal of Ophthalmology*, 2003, roč. 87, s. 960 – 963.
- [13] HOLLADAY, J. T.: Refractive power calculations for intraocular lenses in the phakic eye. *American Journal of Ophthalmology*, 1993, roč. 116, č. 1, s. 63 – 66.
- [14] BARTOŠ, M.: *Biometrické vzorce*. (Diplomová práce) Brno: MULF, 2004.
- [15] KAVAN, P., VLKOVÁ, E., BLAŽEK, J.: Přesnost ultrazvukového měření axiální délky oka. *Československá oftalmologie*, 1991, roč. 47, č. 2, s. 144-149.
- [16] HAICL, P., HAVRÁNEK, R., HYNIE, J., HENDL, J.: Spolehlivost vzorce SRK. *Československá oftalmologie*, 1991, roč. 47, č. 2, s. 150-155.
- [17] VLKOVÁ, E., KAVAN, P., PREISOVÁ, J.: Srovnání předpokládané a skutečné refrakce oka po implantaci nitroočních čoček. *Československá oftalmologie*, 1990, roč. 46, č. 2, s. 94-99.
- [18] HOLLADAY, J. T.: Intraocular lens power calculations for the refractive surgeon. *Cataract and refractive surgery*, 1998, č. 3, s. 105 – 117.
- [19] HOLLADAY, J. T.: Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *Cataract and refractive surgery*, 1997, roč. 23, s. 1356 – 1370.

Asférické brýlové čočky

Je uvedena teorie aberací 3. řádu soustavy tenkých rotačně symetrických asférických čoček. Jsou odvozeny vztahy pro výpočet tvaru rotačně symetrické asférické brýlové čočky s korigovaným astigmatismem a je provedeno srovnání se sférickou brýlovou čočkou.

1. ÚVOD

Brýlové čočky jsou základní pomůckou pro korekci zraku, a proto je jim věnována ve světě velká pozornost [1-13]. Z technologického hlediska je nejjednodušší výroba čoček, které jsou ohraničeny sférickými plochami. Vzhledem k tomu, že průměr vstupní pupily oka je jen několik málo milimetrů, je svazek vstupující do oka velmi úzký. Zorné pole oka je však poměrně velké a základní aberace, kterou je tedy nutno u brýlové čočky korigovat je astigmatismus [6]. Tvar brýlové čočky určujeme nejčastěji pomocí teorie aberací 3. řádu, která nám poskytuje přibližné analytické vyjádření pro základní typy aberací optických soustav jako je sférická vada, koma, zklenutí, astigmatismus a zkreslení [2,5,6]. V případě brýlových čoček, které můžeme s dostatečnou přesností pokládat za tenké čočky, je přesnost této teorie zcela vyhovující. Budeme dále předpokládat, že optická soustava je složena z rotačně symetrických čoček omezených sférickými nebo asférickými plochami. V případě brýlové čočky požadujeme nejen korekci astigmatismu (při dané lámavosti čočky), ale též požadujeme, aby brýlová čočka měla estetický tvar a nebyla příliš těžká. Toho lze dosáhnout vhodnou volbou materiálu čočky (použití skel o vysokém indexu lomu a plastů) a užitím asférických ploch. O vlivu indexu lomu a disperze skla, ze kterého je brýlová čočka zhotovena, je pojednáno v pracích [6,7,8]. Rotačně symetrická asférická brýlová čočka umožňuje korigovat krátkozrakost nebo dalekozrakost při současném zlepšení estetického tvaru čočky. V případě, že je oko astigmatické, pak lze astigmatismus korigovat jen pro jeden směr. Pro dosažení dokonalejší korekce vad oka je pak nutno použít asférické plochy obecného tvaru. V současné době řada předních firem (např. Zeiss, Hoya apod.) zabývajících se návrhem a výrobou brýlových čoček je schopna vyrobit brýlové čočky, jejichž plochy mají obecný asférický tvar „šitý na míru“ oku zákazníka a poskytující velmi kvalitní obraz pozorovaných předmětů. V této práci si ukážeme vliv použití asférických ploch u brýlových čoček, přičemž naše úvahy omezíme jen na rotačně symetrické asférické plochy druhého stupně, které dovedeme nejnázve vyrobit.

2. ZOBRAZENÍ TENKOU ČOČKOU

Předpokládejme, že předmětové a obrazové prostředí je vzduch. Pro zobrazení tenkou čočkou pak platí

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} = \varphi, \quad (1)$$

kde značí: s vzdálenost předmětu od čočky, s' vzdálenost obrazu od čočky, f' ohnisková vzdálenost čočky a φ lámavost čočky. Pro lámavost φ čočky platí

$$\varphi = (n-1) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right), \quad (2)$$

kde n je index lomu materiálu, z kterého je čočka zhotovena, r a r' jsou poloměry křivosti čočky. Pro příčné zvětšení m platí

$$m = \frac{s'}{s} = \frac{1}{1+s\varphi}. \quad (3)$$

Zavedme si nyní následující parametry (proměnné) [5]

$$X = \frac{r'+r}{r'-r} \quad \text{- tvarový parametr,} \quad (4)$$

$$Y = \frac{s'+s}{s'-s} \quad \text{- polohový parametr.} \quad (5)$$

Vidíme tedy, že každé dvojici poloměrů křivosti je přiřazen jeden tvarový parametr X . Užitím vztahů (2) a (4) dostáváme pro poloměry křivosti následující vztahy

$$r = \frac{2(n-1)}{\varphi(X+1)}, \quad r' = \frac{2(n-1)}{\varphi(X-1)}. \quad (6)$$

Známe-li tedy lámavost čočky, index lomu skla, ze kterého je vyrobena, a její tvarový parametr, můžeme ze vztahů (6) určit její poloměry křivosti. Pro polohový parametr Y lze odvodit následující vztahy

$$Y = \frac{s'+s}{s'-s} = \frac{m+1}{m-1} = -1 - \frac{2}{s\varphi} = 1 - \frac{2}{s'\varphi}. \quad (7)$$

3. ABERAČNÍ KOEFICIENTY 3. ŘÁDU SOUSTAVY TENKÝCH ČOČEK SE SFÉRICKÝMI PLOCHAMI

Teorie aberací 3. řádu nám poskytuje přibližné analytické vyjádření pro základní typy aberací optických soustav jako je sférická vada, koma, zklenutí, astigmatismus a zkreslení. Uvažujme optickou soustavu složenou z K tenkých čoček se sférickými plochami. Pro koeficienty aberací 3. řádu této soustavy pak platí [2, 5].

$$S_I = \sum_{i=1}^K h_i^4 M_i, \quad (8)$$

$$S_{II} = \sum_{i=1}^K h_i^3 \bar{h}_i M_i + \sum_{i=1}^K h_i^2 N_i, \quad (9)$$

$$S_{III} = \sum_{i=1}^K h_i^2 \bar{h}_i^2 M_i + 2 \sum_{i=1}^K h_i \bar{h}_i N_i + \sum_{i=1}^K \varphi_i, \quad (10)$$

$$S_{IV} = \sum_{i=1}^K \frac{\varphi_i}{n_i}, \quad (11)$$

$$S_V = \sum_{i=1}^K h_i \bar{h}_i^3 M_i + 3 \sum_{i=1}^K \bar{h}_i^2 N_i + \sum_{i=1}^K \frac{\bar{h}_i}{h_i} \left(3 + \frac{1}{n_i} \right) \varphi_i, \quad (12)$$

kde

$$M_i = \varphi_i^3 (A_i X_i^2 + B_i X_i Y_i + C_i Y_i^2 + D_i), \quad (13)$$

dále pak

$$A_i = \frac{n_i + 2}{4n_i(n_i - 1)^2}, \quad B_i = \frac{n_i + 1}{n_i(n_i - 1)}, \quad C_i = \frac{3n_i + 2}{4n_i}, \quad (14)$$

$$D_i = \frac{n_i^2}{4(n_i - 1)^2}, \quad E_i = B_i / 2, \quad F_i = \frac{2n_i + 1}{2n_i},$$

přičemž značí h_i paraxiální dopadovou výšku aperturního paprsku na i -té čočce, \bar{h}_i paraxiální dopadovou výšku hlavního paprsku na i -té čočce, r_i a r'_i poloměry křivosti i -té čočky, s_i a s'_i sečné vzdálenosti před a za i -tou čočkou, n_i index lomu i -té čočky, φ_i lámavost i -té čočky, X_i tvarový parametr i -té čočky, Y_i polohový parametr i -té čočky, S_{III} koeficient sférické vady 3. řádu, S_{II} koeficient komy 3. řádu, S_{III} koeficient astigmatismu 3. řádu, S_{IV} koeficient zklenutí 3. řádu (Petzvalův koeficient) a S_V koeficient zkreslení 3. řádu.

Známe-li tedy lámavost čočky, index lomu skla, ze kterého je vyrobena, a její tvarový parametr, můžeme ze vztahů (6) určit její poloměry křivosti, platí

$$r_i = \frac{2(n_i - 1)}{\varphi_i(X_i + 1)}, \quad r'_i = \frac{2(n_i - 1)}{\varphi_i(X_i - 1)}.$$

Mezi výškami h a \bar{h}_i platí následující vztah

$$\frac{\bar{h}_j}{h_j} = \frac{\bar{h}_1}{h_1} + \sum_{i=2}^j \frac{d_{i-1}}{h_{i-1}h_i},$$

kde d_i je vzdálenost mezi i -tou a $i+1$ čočkou. Bez újmu na obecnosti můžeme položit $h_1 = 1$. Potom platí

$$\bar{h}_1 = \frac{s_1 \bar{s}_1}{\bar{s}_1 - s_1}, \quad (15)$$

kde s_1 je vzdálenost předmětu od první čočky soustavy a \bar{s}_1 je vzdálenost vstupní pupily od první čočky soustavy.

4. ABERAČNÍ KOEFICIENTY 3. ŘÁDU SOUSTAVY TENKÝCH ČOČEK S ASFÉRIKÝMI PLOCHAMI

Předpokládejme nyní, že čočky jsou ohraničeny rotačně symetrickými asférickými plochami druhého stupně. Vrcholová rovnice meridiánu obecné plochy druhého stupně je, v rámci přesnosti teorie aberací 3. řádu, dána vztahem [15]

$$x = \frac{y^2}{2r} + (1+b) \frac{y^4}{8r^3}, \quad (16)$$

kde x a y jsou souřadnice obecného bodu meridiánu plochy čočky, r je poloměr křivosti plochy v jejím vrcholu a b je asférický koeficient, který nám charakterizuje tvar asférické plochy. Podle hodnoty koeficientu b můžeme určit o jakou křivku se jedná, platí:

$-\infty < b < -1$	hyperbola,
$-1 < b < \infty$	elipsa,
$b = -1$	parabola,
$b = 0$	kružnice.

Vliv asférické plochy se projeví tím, že funkce M_i , která se vyskytuje ve vztazích (8) – (12), bude mít tvar

$$M_i^{\text{asf}} = M_i^{\text{sfr}} + \delta M_i = \varphi_i^3 (A_i X_i^2 + B_i X_i Y_i + C_i Y_i^2 + D_i) + (n_i - 1) \left(\frac{b_i}{r_i^3} - \frac{b'_i}{r_i'^3} \right),$$

kde jsme označili

$$\delta M_i = (n_i - 1) \left(\frac{b_i}{r_i^3} - \frac{b'_i}{r_i'^3} \right).$$

Uvážíme-li, že platí

$$\frac{1}{r_i} = \frac{\varphi_i(X_i + 1)}{2(n_i - 1)}, \quad \frac{1}{r'_i} = \frac{\varphi_i(X_i - 1)}{2(n_i - 1)},$$

dostáváme

$$\frac{(n_i - 1)b_i}{r_i^3} = \frac{\varphi_i^3 b_i}{8(n_i - 1)^2} (X_i^3 + 3X_i^2 + 3X_i + 1),$$

$$\frac{(n_i - 1)b'_i}{r_i'^3} = \frac{\varphi_i^3 b'_i}{8(n_i - 1)^2} (X_i^3 - 3X_i^2 + 3X_i - 1)$$

a tedy

$$\delta M_i = \frac{\varphi_i^3}{8(n_i - 1)^2} \times \quad (17)$$

$$\left[X_i^3(b_i - b'_i) + 3X_i^2(b_i + b'_i) + 3X_i(b_i - b'_i) + (b_i + b'_i) \right].$$

Jak je z tohoto vztahu patrné, budou koeficienty aberací 3. řádu soustavy tenkých čoček dány opět vztahy (8) – (12), jen za funkci M_i dosadíme funkci M_i^{asf} , která má tvar

$$M_i^{\text{asf}} = \varphi_i^3 (A_i X_i^2 + B_i X_i Y_i + C_i Y_i^2 + D_i) + X_i^3 \alpha_i + 3X_i^2 \beta_i + 3X_i \alpha_i + \beta_i, \quad (18)$$

kde jsme označili

$$\alpha_i = \frac{\varphi_i^3 (b_i - b'_i)}{8(n_i - 1)^2}, \quad \beta_i = \frac{\varphi_i^3 (b_i + b'_i)}{8(n_i - 1)^2}. \quad (19)$$

Pro koeficienty aberací 3. řádu optické soustavy rotačně symetrických asférických čoček pak platí

$$S_I^{\text{asf}} = \sum_{i=1}^K h_i^4 M_i + \sum_{i=1}^K h_i^4 \delta M_i, \quad (20)$$

$$S_{II}^{\text{asf}} = \sum_{i=1}^K h_i^3 \bar{h}_i M_i + \sum_{i=1}^K h_i^2 N_i + \sum_{i=1}^K h_i^3 \bar{h}_i \delta M_i, \quad (21)$$

$$S_{III}^{\text{asf}} = \sum_{i=1}^K h_i^2 \bar{h}_i^2 M_i + 2 \sum_{i=1}^K h_i \bar{h}_i N_i + \sum_{i=1}^K \varphi_i + \sum_{i=1}^K h_i^2 \bar{h}_i^2 \delta M_i, \quad (22)$$

$$S_{IV}^{\text{asf}} = \sum_{i=1}^K \frac{\varphi_i}{n_i}, \quad (23)$$

$$S_V^{\text{asf}} = \sum_{i=1}^K h_i \bar{h}_i^3 M_i + 3 \sum_{i=1}^K \bar{h}_i^2 N_i + \sum_{i=1}^K \frac{\bar{h}_i}{h_i} \left(3 + \frac{1}{n_i} \right) \varphi_i + \sum_{i=1}^K h_i \bar{h}_i^3 \delta M_i, \quad (24)$$

kde značí

$$\delta M_i = X_i^3 \alpha_i + 3X_i^2 \beta_i + 3X_i \alpha_i + \beta_i = \alpha_i (X_i^3 + 3X_i) + \beta_i (3X_i^2 + 1). \quad (25)$$

5. ASFÉRIKÉ BRÝLOVÉ ČOČKY

Zabýváme se nyní určením tvaru asférické brýlové čočky, tj. čočky, která má jednu nebo dvě asférické plochy. Položíme-li ve vztazích (20) – (25) $K = 1$ (jedna čočka), dostáváme pro koeficienty rotačně symetrické asférické brýlové čočky, zobrazující nekonečně vzdálený předmět ($s_1 = \infty$, $h_1 = 1$, $Y_1 = -1$, $\bar{h}_1 = -\bar{s}_1$), následující vztahy

$$S_I^{\text{asf}} = M + \delta M, \quad (26)$$

$$S_{II}^{\text{asf}} = -\bar{s}_1 M + N - \bar{s}_1 \delta M, \quad (27)$$

$$S_{III}^{\text{asf}} = \bar{s}_1^2 M - 2\bar{s}_1 N + \varphi + \bar{s}_1^2 \delta M, \quad (28)$$

$$S_{IV}^{\text{asf}} = \varphi / n, \quad (29)$$

$$S_V^{\text{asf}} = -\bar{s}_1^3 M + 3\bar{s}_1^2 N - \bar{s}_1(3+1/n)\varphi - \bar{s}_1^3 \delta M, \quad (30)$$

$$\delta M = X^3 \alpha + 3X^2 \beta + 3X\alpha + \beta = \alpha(X^3 + 3X) + \beta(3X^2 + 1), \quad (31)$$

$$M = \varphi^3 (AX^2 - BX + C + D), \quad (32)$$

$$N = \varphi^2 (EX - F), \quad (33)$$

kde značí φ lámavost, \bar{s}_1 polohu vstupní pupily a n index lomu skla brýlové čočky. Mezi polohou vstupní pupily \bar{s}_1 a výstupní pupily \bar{s}_1' brýlové čočky platí

$$\bar{s}_1 = \frac{\bar{s}_1'}{1 - \bar{s}_1' \varphi}.$$

Základní aberací, kterou je nutno korigovat u brýlové čočky, je astigmatismus. Pro koeficient astigmatismu rotačně symetrické asférické brýlové čočky dostáváme

$$S_{III}^{\text{asf}} = (\bar{s}_1^2 \alpha) X^3 + \bar{s}_1^2 (\varphi^3 A + 3\beta) X^2 + \bar{s}_1 \left[\bar{s}_1 (3\alpha - \varphi^3 B) - 2\varphi^2 E \right] X + \bar{s}_1^2 \varphi^3 (C + D) + 2\bar{s}_1 \varphi^2 F + \varphi + \bar{s}_1^2 \beta,$$

Srovnáme-li tento vztah se vztahem platným pro sférickou čočku

$$S_{III}^{\text{sfer}} = \bar{s}_1^2 (\varphi^3 A) X^2 - \bar{s}_1 \left[\bar{s}_1 (\varphi^3 B) + 2\varphi^2 E \right] X + \bar{s}_1^2 \varphi^3 (C + D) + 2\bar{s}_1 \varphi^2 F + \varphi,$$

vidíme, že v případě asférické čočky s korigovaným astigmatismem $S_{III}^{\text{asf}} = 0$ existuje vždy reálné řešení, neboť rovnice třetího stupně má vždy alespoň jeden reálný kořen [15]. Této vlastnosti lze např. použít pro návrh brýlové čočky mající minimální hmotnost, nebo čočky mající, kromě astigmatismu, korigovanou ještě nějakou další aberaci apod.

Poznamenejme zde, že pro dosažení dokonalejší korekce vad oka je pak nutno použít asférické plochy obecného tvaru. Postup výpočtu je však zcela obdobný výše uvedenému postupu s tím rozdílem, že řešení má velmi komplikovaný tvar, jak je již patrné ze vztahu pro astigmatismus 5. řádu [6]. Je proto vhodnější používat pro určení tvaru nějaký program pro výpočet optických soustav jako např. ZEMAX nebo OSLO [14] apod.

6. PŘÍKLADY VÝPOČTU

Ukažme si nyní na několika případech výpočet parametrů brýlové čočky.

a) Sférická brýlová čočka s korigovaným astigmatismem

Tvarový parametr X sférické brýlové čočky s korigovaným astigmatismem určíme ze vztahu (28), kde položíme $S_{III}^{\text{asf}} = 0$, $\delta M = 0$ (sférická čočka). Potom platí

$$a_2 X^2 + a_1 X + a_0 = 0,$$

kde

$$a_2 = \bar{s}_1^2 (\varphi^3 A), \quad a_1 = -\bar{s}_1 \left[\bar{s}_1 (\varphi^3 B) + 2\varphi^2 E \right],$$

$$a_0 = \bar{s}_1^2 \varphi^3 (C + D) + 2\bar{s}_1 \varphi^2 F + \varphi.$$

Tato problematika je podrobně popsána v pracích [6 - 8], a proto se jí zde nebudeme zabývat.

b) Asférická brýlová čočka s korigovaným astigmatismem a sférickou aberací

Vzhledem k tomu, že výroba asférických ploch je mnohem obtížnější než je výroba sférických ploch, budeme v dalším předpokládat, že brýlová čočka má asférickou pouze první plochu a druhá plocha je sférická. Bude tedy platit $\alpha = \beta$. Tvarový parametr X a asférický parametr α této brýlové čočky určíme z rovnic (26) a (28), platí

$$S_I^{\text{asf}} = M + \delta M = 0,$$

$$S_{III}^{\text{asf}} = \bar{s}_1^2 M - 2\bar{s}_1 N + \varphi + \bar{s}_1^2 \delta M = 0.$$

Řešením těchto rovnic dostáváme

$$N = \frac{\varphi}{2\bar{s}_1}, \quad X = \frac{N / \varphi^2 + F}{E}, \quad M = \varphi^3 (AX^2 - BX + C + D),$$

$$\alpha = \frac{-M}{X^3 + 3X^2 + 3X + 1}.$$

c) Asférická brýlová čočka s korigovaným astigmatismem a komou

Tvarový parametr X a asférický parametr α této brýlové čočky určíme z rovnic (27) a (28), platí

$$S_{II}^{\text{asf}} = -\bar{s}_1 M + N - \bar{s}_1 \delta M = 0,$$

$$S_{III}^{\text{asf}} = \bar{s}_1^2 M - 2\bar{s}_1 N + \varphi + \bar{s}_1^2 \delta M = 0.$$

Řešením těchto rovnic dostáváme

$$N = \frac{\varphi}{\bar{s}_1}, \quad X = \frac{N / \varphi^2 + F}{E}, \quad M = \varphi^3 (AX^2 - BX + C + D),$$

$$\alpha = \frac{-M + N / \bar{s}_1}{X^3 + 3X^2 + 3X + 1}.$$

d) Asférická brýlová čočka s korigovaným astigmatismem a zkreslením

Tvarový parametr X a asférický parametr α této brýlové čočky určíme z rovnic (28) a (30), platí

$$S_{III}^{\text{asf}} = \bar{s}_1^2 M - 2\bar{s}_1 N + \varphi + \bar{s}_1^2 \delta M = 0,$$

$$S_V^{\text{asf}} = -\bar{s}_1^3 M + 3\bar{s}_1^2 N - \bar{s}_1(3+1/n)\varphi - \bar{s}_1^3 \delta M = 0.$$

Řešením těchto rovnic dostáváme

$$N = \frac{\varphi(2+1/n)}{\bar{s}_1}, \quad X = \frac{N / \varphi^2 + F}{E},$$

$$M = \varphi^3 (AX^2 - BX + C + D), \quad \alpha = \frac{-M + 2N / \bar{s}_1 - \varphi / \bar{s}_1^2}{X^3 + 3X^2 + 3X + 1}.$$

7. ZÁVĚR

Byly uvedeny vztahy pro výpočet aberačních koeficientů 3. řádu soustavy rotačně symetrických asférických tenkých čoček. Bylo ukázáno, že v případě asférické brýlové čočky vždy existuje reálné řešení, což v případě sférické brýlové čočky obecně neplatí. Této vlastnosti asférické brýlové čočky lze použít pro návrh brýlové čočky mající minimální hmotnost, nebo čočky mající korigovanou, kromě astigmatismu, ještě nějakou další aberaci. Byly odvozeny rovnice pro výpočet tvaru rotačně symetrické asférické brýlové čočky mající korigovány dvě aberace.

Práce byla vypracována v rámci projektu MSM6840770022 Ministerstva školství ČR.

Literatura

- [1] Polášek, J. a kol.: Technický sborník oční optiky. Praha, SNTL 1974.
- [2] Havelka, B.: Geometrická optika I, II. Praha, NČSAV 1955.
- [3] Keprt, E.: Teorie optických přístrojů III – Oko a jeho korekce, Praha, SPN 1966.
- [4] Mazurek, A.: Základy praktické optiky II. Praha, Nakl. Práce 1950.
- [5] Mikš, A.: Modification of the Formulas for Third-Order Aberration Coefficients. Journal of the Optical Society of America. 2002, Vol. 19, No. 9, p. 1867-1871.
- [6] Mikš, A.: Teorie astigmatismu 3. a 5. řádu brýlového skla. Jemná mechanika a optika, 1998, roč. 43, č. 9, str. 269-270.
- [7] Mikš, A.: Vliv indexu lomu brýlové čočky na její vlastnosti. Jemná mechanika a optika, 1998, roč. 43, č. 10, str. 308-309.
- [8] Mikš, A., Novák, J., Novák, P.: Influence of the Refractive Index and Dispersion of Spectacle Lens on its Imaging Properties, Optik: International Journal for Light and Electron Optics. 2007, Vol. 118, No. 12, p. 584-588.
- [9] Atchison, D. A., Smith, G.: Optics of the Human Eye. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- [10] Le Grand, Yves: Physiological Optics, Springer, Berlin, 1980.
- [11] Gross, D. A., West, R. G.: Introduction to the Optics of the Eye, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [12] Keating, M. P.: Geometric, Physical, and Visual Optics, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [13] Schwartz, S. H.: Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction, McGraw-Hill Medical, 2002.
- [14] <http://www.optima-research.com>, <http://www.sinopt.com>
- [15] Rektorys K. a kol.: Přehled užité matematiky, Prometheus, Praha 1995

Prof. RNDr. Antonín Mikš, CSc., katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice. Tel.: (+02) 243 549 48, fax: (+02) 3113226, e-mail: miks@fsv.cvut.cz

Svatopluk SYNEK, Sylvie PETROVÁ, Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, Brno

Možnosti vzdělávání v oborech oční optika – optometrie

Sdělení pojednává o možnostech vzdělávání v oborech oční optiky a optometrie. Informuje o různých typech škol, kde je možné studovat po ukončení základního nebo středního vzdělání.

Klíčová slova: diplomovaný oční technik, střední škola, bakalář, oftalmolog, univerzita, zkouška, uplatnění v oboru

Jako každoročně i nyní stojí před mnoha studenty a jejich rodiči rozhodování důležité pro jejich budoucí život, rozhodování o budoucím povolání.

Práce očního optika, resp. očního technika je velice zajímavá a různorodá. Od doporučení, výběru a zhotovení pomůcek pro korekci zraku pro jednotlivé klienty, kteří přicházejí do provozoven očních optik, přes práci ve výrobních závodech, až po možnost uplatnění jako reprezentant některé z firem nabízejících na českém trhu finální výrobky – brýlové obruby, brýlové čočky včetně doplňkového sortimentu.

Profese optometristy rozšiřuje obzor o možnost provádění refrakčních zkoušek, aplikaci kontaktních čoček. Uplatnění lze najít např. též u firem zabývajících se dovozem a distribucí oftalmologických, optometrických a optických přístrojů, zařízení a ostatních výrobků. Ze široké škály pracovních příležitostí můžeme dále uvést například provádění optometrických měření ve zdravotnických zařízeních či laserových centrech.

Veškeré profesní činnosti lze provádět na základě živnostenského listu v případě prvním a na základě registrace zdravotnického pracovníka v případě výkonu optometrie v soukromém sektoru jako živnostenskou – podnikatelskou činnost. Alternativou je zaměstnanecký poměr v soukromém či státním sektoru.

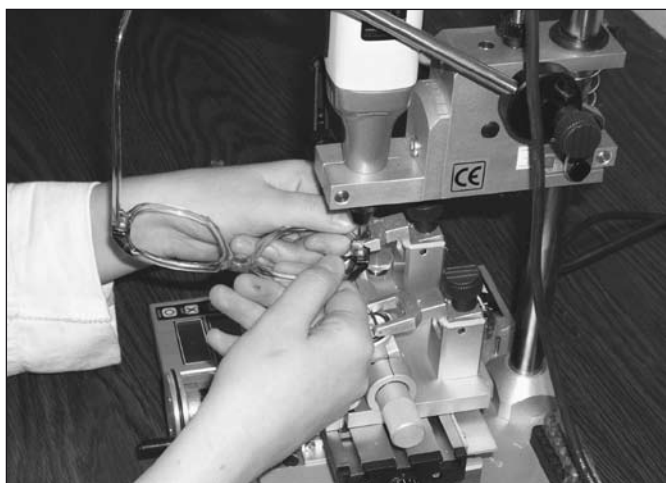
Tomuto širokému spektru činností odpovídají i různé formy a možnosti vzdělávání v oboru. Stále se zdokonalující koncepce navazuje na jednotlivé stupně všeobecného vzdělání.

Po ukončení **základní školy** je možné studovat obor **oční technik** bez získání způsobilosti zdravotnického pracovníka na **Střední zdravotnické škole a Vyšší odborné škole zdravotnické**, 613 00 Brno, Merhautova 15 a na **Vyšší odborné škole zdravotnické a Střední zdravotnické škole**, 110 00 Praha, Alšovo nábřeží 6/82.





Studium je čtyřleté, denní, ukončené maturitní zkouškou. Termín přijímacího řízení bývá obvykle během měsíce dubna, průběh je většinou formou písemného testu matematicko-fyzikálního a z českého jazyka. Pro případné přijetí bez zkoušek je rozhodující vysvědčení z konce 8. a 1. pololetí 9. třídy základní školy.



Pomaturitní studium lze směřovat jak středoškolsky, tak i vysokoškolsky. **Obě uvedené VOŠ a SZŠ** přijímají studenty i na vyšší tříleté denní studium pro studenty s maturitou. Obor **diplomovaný oční technik** bez způsobilosti zdravotnického pracovníka má v požadavcích na přijímací řízení mimo znalostí fyzikálních, biologických a matematických i požadavky jazykové – němčinu nebo angličtinu na úrovni osnov gymnázia.

K těmto dvěma státním školám se přidává ještě **soukromá Vyšší odborná škola** – Diplomovaný oční technik, s.r.o., 258 01 Vlašim, V sadě 1565. I zde je podmínkou přijetí absolvování středoškolského studia zakončeného maturitou a absolvování přijímacích zkoušek. Forma studia je dálková.

Další možností pomaturitního vzdělávání je **prezenční bakalářské studium optometrie** na LF MU Brno nebo PŘF UP Olomouc.

PŘF UP Olomouc, 771 46 Olomouc, Tř. Svobody 26 nabízí i možnost prezenčního bakalářského studia **optika a optoelektronika**. Přijímací řízení probíhá formou písemného testu z fyziky a matematiky, u oboru optometrie navíc i z biologie.

Na toto tříleté studium lze navázat **dvouletým navazujícím magisterským** studiem oboru optika a optoelektronika.

LF MU Brno, 662 43 Brno, Komenského nám. 2 požaduje pro přijetí na tříleté **prezenční bakalářské studium optometrie** zvládnutí středoškolské látky na úrovni gymnaziálních osnov. Zkoušky probíhají formou písemného testu z fyziky a biologie.

Náplň bakalářského studia optometrie na LF MU Brno tvoří v prvním ročníku převážně teoretické disciplíny medicínského, optometrického i optického charakteru. Součástí jsou však i optická praktika, kde studenti získávají i praktické dovednosti pro uplatnění v oční optice. Druhý ročník rozšiřuje již získané znalosti, prohlubuje převážně optometrické a oftalmologické vědomosti, pokračování má též praktická optická a začíná praktická optometrická výuka. Třetí ročník je v převážných rysech zaměřen na kompletní zhotovení korekčních pomůcek, stanovení refrakce oka a aplikaci kontaktních čoček. Závěr studia tvoří obhajoba bakalářské práce a státní závěrečné zkoušky z jednotlivých předmětů oboru optika a optometrie.

Navazující dvouleté **magisterské studium Pedagogická specializace optometrie** lze zahájit po úspěšném absolvování testu z úrovně vědomostí bakalářského studia.

Ukončením vysokoškolského vzdělání oboru optometrie, ať již na úrovni bakalářské či magisterské, se absolvent stává zdravotnickým pracovníkem. Pro úspěšný výkon povolání je nutné obnovování, prohlubování, zvyšování odborných znalostí, seznamování se s novými technologiemi, postupy. **Program celoživotního vzdělávání**, pořádání kurzů a přednášek je též v náplni vysokých škol, někdy soukromých firem, převážně však navazující kurzy celoživotního vzdělávání pořádá NCO NZO, 603 00 Brno, Vinařská 6.

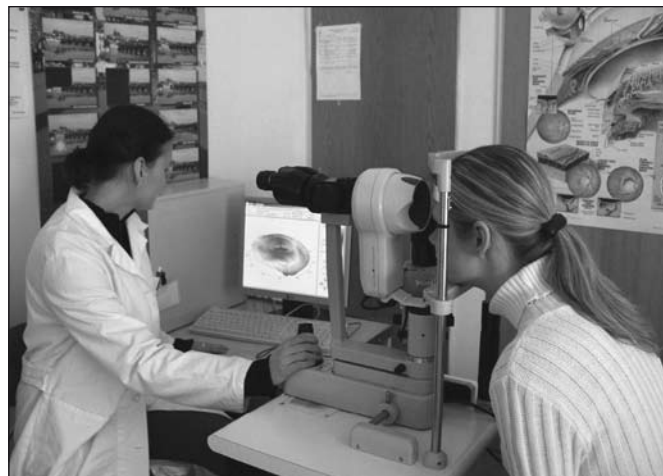
Stanovisko k zařazení školicích akcí do kreditního systému celoživotního vzdělávání vydává Společenstvo českých optiků a optometristů.

Výčet možností vzdělávání v oboru by nebyl úplný, kdybychom neuvedli dva protipóly. **Technický pracovník v oboru oční optika**, základní znalosti lze získat formou absolvování ročního kurzu na NCO NZO.

Na druhé straně žebříčku, tedy v současné době nejvyšší meta ve vzdělávání optiků a optometristů, je **doktorské studium na LF MU Brno**, ukončené titulem Ph.D.

Různé stupně vzdělávání dávají i široké možnosti uplatnění. Náplně výuky jednotlivých škol zvyšují svoji úroveň. Je modifikována podle požadavků praxe při zachování struktury obsahu a požadovanému rozsahu získaných vědomostí pro konkrétní typ školy.

Podklady čerpány z ČOO 4/2006, 3/2007 a www. stránek jednotlivých škol.



Rozvoj studia optometrie na UP v roce 2007

Studium nelékařského zdravotnického oboru Optometrie na Univerzitě Palackého v Olomouci prochází dynamickým rozvojem, jehož cílem je zajištění vysoké kvality poskytování tohoto studia. Toto je možné jen systematickým hledáním cest rozvoje oboru, sledováním nových používaných metod, získáváním nového přístrojového vybavení a vhodnou implementací získaných informací a zařízení do výukového procesu.

První absolventi studia optometrie dle nové legislativy

Při sledování tohoto cíle bylo dosaženo významného mezníku – studenti, přijatí ke studiu v roce 2004, skládali bakalářské zkoušky. Tři roky jejich studia byly dost dlouhé na to, aby se ověřila koncepce studia daná schválenými akreditačními materiály. Tato doba prokázala, že koncepce studia, jehož struktura je daná vyhláškou 39/2005 Sb., je správná. Studenti v průběhu studia získají odpovídající teoretické znalosti a praktické dovednosti k výkonu nelékařského zdravotnického oboru Optometrie, jehož kompetence jsou vymezeny vyhláškou 424/2004 Sb. (Obr. 1.)



Obr. 1

Spolupráce

Rozvoj tohoto oboru je úzce spojen s aktivitami odpovídající profesní organizace, kterou je Společenstvo českých optiků a optometristů. Příkladem je příprava projektu celoživotního vzdělávání optometristů (viz níže). V této souvislosti se dále prohlubuje i spolupráce s firmou CARL ZEISS s.r.o., která je vedle SČOO partnerem projektu.

V rámci seminární výuky proběhl na jaře dvoudenní kurz aplikace tvarově stálých (pevných) kontaktních čoček pod záštitou německé firmy HECHT, který vedl prezident SČOO pan Beno Blachut. Ve spojení s tímto seminářem bylo pro podporu výuky optometrie na UP zdarma dodáno několik sad pevných kontaktních čoček a firma OCU-LUS s.r.o. provedla za zvýhodněných podmínek upgrade stávajícího rohovkového topografu. V oblasti měkkých kontaktních čoček byla výuka sponzorována dodáním potřebných sad od firem NEOMED s.r.o. a OPTIMUM DISTRIBUTION CZ & SK. Dále byla posílána spolupráce se vzdělávacím centrem THE VISION CARE INSTITUT OF JOHNSON & JOHNSON s.r.o., jejímž přínosem je připravená koncepce teoreticko-praktického kurzu komunikace a očního vyšetření ve spojení s aplikací kontaktních čoček. V podobném duchu je připravována spolupráce se vzdělávací divizí firmy BAUSCH & LOMB, která bude zaměřena na speciální kontaktní čočky.

Rozvoj vybavení laboratoří

Rozvoj přístrojového vybavení je nezbytný při udržení kroku s moderním pojetím optometrie. Moderní přístrojové vybavení poskytuje přesnější a komplexnější informace. Využívání nových přístrojů a kvalifikovaná interpretace získaných výsledků výrazně pomáhají optometristovi k přesnému stanovení optimální korekce zraku a k celkovému zefektivnění jeho činnosti. Touto cestou musí také jít rozvoj studia, jehož záměrem je seznámit studenty jak s klasickými konstrukcemi a postupy, tak s nejmodernějšími přístroji. Doplnění přístrojového vybavení školních laboratoří umožnila realizace grantu FRVŠ. S jeho podporou a dofinancováním z prostředků UP bylo v roce 2007 zakoupeno několik zařízení a přístrojů, které zkvalitnily přístrojovou techniku optometrických laboratoří. Jde především o I. POLATEST firmy CARL ZEISS s.r.o., autorefraktokeratometr NIDEK 7700, perimetr HS OCTOPUS 101, automatický brus PROFIL firmy ESSILOR – OPTIKA s.r.o. a soupravu spektrometru NEWPORT s diodami. Paralelně probíhá doplňování knižního fondu pro studium optometrie aktuální literaturou z oboru.

Takto vybavené laboratoře optometrie umožňují praktickou výuku všech standardních i pokročilých metod, se kterými pracuje obor optometrie (obr. 2, obr. 3).

Ortooptika

Podobně jako v nedávném období pro optometrii byly Univerzitou Palackého v Olomouci připraveny akreditační materiály pro nelékařský zdravotnický obor ortooptika. Studium je navrženo tak, že v případě úspěšného akreditačního procesu bude zajišťováno Oční klinikou, která je odborným garantem oboru na Lékařské fakultě Univerzity Palackého, dále katedrou optiky Přírodovědecké fakulty a dalšími ústavy a katedrami Přírodovědecké fakulty a Lékařské fakulty UP. Na výuce se také budou podílet externí odborníci.

Student získá v průběhu studia dostatečné vědomosti a dovednosti v oblasti oftalmologie, ortooptiky, pleoptiky, kompenzace zrakových vad u slabozrakých, v kontaktologii a dalších příbuzných oborech včetně všeobecného zdravotnického vzdělání. Najde uplatnění jako ortooptik ve zdravotnických zařízeních ve smyslu zákona o nelékařských zdravotnických povoláních. Dále se může uplatnit jako specialista v ortooptice a pleoptice ve speciálních mateřských a základních školách zaměřených na léčbu zrakových vad, dále v organizacích zaměřených na kompenzaci zrakových vad u slabozrakých osob.



Obr. 2



Obr. 3

Příprava projektu celoživotního vzdělávání

V České republice neexistuje ucelený systém celoživotního vzdělávání optometristů. Celoživotní vzdělávání, průběžné obnovování, zvyšování, prohlubování a doplňování vědomostí, dovedností a způsobilosti, vede ke zvyšování kvality péče o zrak. V takové kvalitě poskytovaná péče optometristů napomáhá ke zvyšování úrovně a prestiže této nelékařské zdravotnické profese.

Řešení hledá Univerzita Palackého v Olomouci s partnery v podání projektu takto tématicky zaměřeném s podporou prostředků Evropského sociálního fondu, operačního programu *Vzdělávání pro konkurenceschopnost*.

schopnost. Partnery připravovaného projektu jsou firma CARL ZEISS spol. s r.o. a Společenstvo českých optiků a optometristů. Projekt si klade za cíl sestavit ucelený program celoživotního vzdělávání optometristů a v případě přijetí jej realizovat. V současné době probíhá diskuze mezi partnery projektu o vymezení cílové skupiny účastníků projektu, nalezení nejvhodnějšího obsahu a formy komplexního celoživotního vzdělávání pro optometristy a způsobu jeho technického zabezpečení.

Informace o stavu projektu budou průběžně poskytovány na webové stránce spravované katedrou optiky PĚF UP v Olomouci: http://optics.upol.cz/optometrie/czv_optm.

Příprava magisterského studia

Neustálý proces hledání cest a poptávka po nových profesích vede k myšlence koncepcí magisterského studia optometrie. Na katedře optiky probíhá v současné době diskuze a konzultace, které by pomohly zformulovat profil absolventa takového magisterského studia, který by se v praxi uplatnil při rozvoji optometrie nad rámec kompetencí optometristů, vzdělaného v bakalářském stupni vzdělání. Cílem je připravit takový program, který by umožnil absolventovi:

- získat znalosti a dovednosti potřebné při komplexní rozšířené a specializované péči o zrak, při obsluze specializovaných oftalmologických zařízeních, pro aplikaci speciálních matematicko-fyzikálních metod a postupů v oftalmologii a interpretaci odpovídajících výsledků; dle vlastní profilace.
- rozšířit si speciální zdravotnické a všeobecně pedagogické znalosti a dovednosti.
- efektivně pracovat v rámci vědecko-výzkumného týmu.

Rozvoj oboru je neustávající proces, který bude v oblasti optometrie probíhat na Univerzitě Palackého v Olomouci i v roce 2008.

RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D., katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, tel.: 585 634 266, fax: 585 634 253, e-mail: wagnerj@prfnw.upol.cz.

RNDr. František Pluháček, Ph.D., katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 00 Olomouc, tel.: 585 634 310, fax: 585634253, e-mail: pluhacek@prfnw.upol.cz

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

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

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

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

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

Pokyny k předávání příspěvku

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

Dále je třeba, aby k článku autor dodal překlad 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 nebo CD. Ke každému příspěvku připojte seznam všech předávaných souborů a u každého souboru uveďte pomocí jakého software byl vytvořen.

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

Nový fotovoltaický systém se zvýšenou efektivitou na ČZU v Praze

ÚVOD

Na stránkách časopisu *Jemná mechanika a optika* v posledních letech pravidelně publikujeme naše výsledky v oboru fotovoltaiky [1, 2] a popisovali jsme i unikátní a patentovanou konstrukci automatického pohyblivého stojanu fotovoltaických (PV) panelů TRAXLE™ [3, 4], který sleduje pohyb Slunce po obloze a natáčí panely stále kolmo ke směru záření. Popisovali jsme i konstrukci hřebenového koncentrátoru záření [5].

Na Technické fakultě ČZU v Praze jsme již testovali různé solární PV systémy a postupně budujeme stále větší PV systémy podle získaných finančních prostředků. V roce 2007 jsme získali grant „Zelená energie“, s jehož přispěním jsme mohli zkonstruovat a realizovat již poměrně velký PV systém, který kombinuje automatický pohyblivý stojan s hřebenovým koncentrátorem záření s PV panely s celkovým nominálním výkonem 2 kW_p a pevný stojan se stejnými panely rovněž s celkovým nominálním výkonem 2 kW_p .

POPIS KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Cílem projektu byla konstrukce a realizace fotovoltaického solárního systému se zvýšenou efektivitou přímo spojeného se sítí. Zrcadlové hřebenové koncentrátory záření s rovinnými zrcadly spolu s automatickým pohyblivým stojanem a s oboustrannými fotovoltaickými panely zvyšují množství vyrobené energie v solárních fotovoltaických systémech v ideálních podmínkách až o 90%, v podmínkách České republiky o cca 60%.

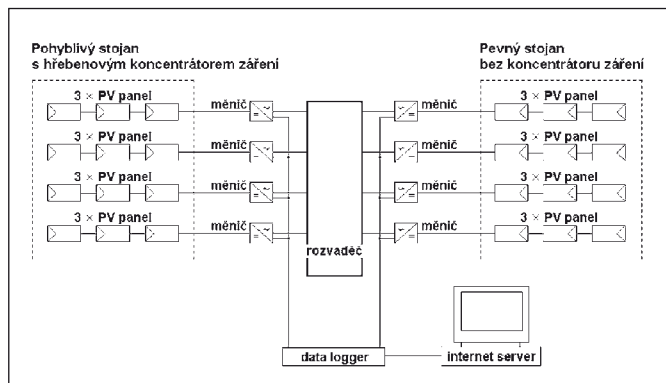
Byl zkonstruován a realizován fotovoltaický systém s pohyblivým stojanem TRAXLE™ a s hřebenovým koncentrátorem záření a srovnávací systém s pevnými panely bez koncentrátoru záření. Systém je přímo spojen se sítí, k tomu byly použity měniče Sunny Boy. Schéma PV systému je na obr. 1. Zde je vidět, že jsou vždy 3 stejné PV panely zapojeny do série a připojeny na jeden měnič. Jsou porovnávány čtyři různé druhy PV panelů vždy po třech kusech sériově zapojených a umístěných na pohyblivém stojanu s hřebenovým koncentrátorem záření a na pevném stojanu bez koncentrátoru záření. Na obou stojanech byla rovněž navržena čidla na měření a zaznamenávání intenzity dopadajícího záření a na pevném stojanu byl ještě navržen anemometr na měření a zaznamenávání rychlosti větru.

K realizaci projektu došlo během roku 2007. Na jaře byl proveden návrh systému a byly objednány všechny komponenty.

Instalace systému probíhala postupně během léta a dokončena byla na začátku podzimu. Na obr. 2 je pohled na PV systém, na obr. 3 je čidlo na měření intenzity dopadajícího záření a na obr. 4 je vidět anemometr na měření rychlosti větru. Všechny údaje o okamžitém výkonu, rychlosti větru a intenzitě záření jsou ukládány do data loggeru. Na obr. 5 je vidět datalogger, rozvaděč a měniče Sunny Boy umístěné v laboratoři.



Obr. 2 Pohled na PV systém



Obr. 1 Schéma PV systému



Obr. 3 Čidlo na měření intenzity dopadajícího záření



Obr. 4 Anemometr na měření rychlosti větru

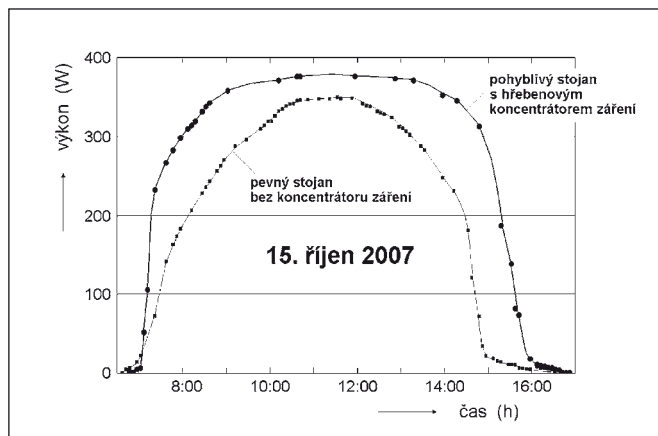


Obr. 5 Pohled na datalogger, rozvaděč a měniče Sunny Boy umístěné v laboratoři

PRVNÍ VÝSLEDKY A DISKUSE

Systematické studium okamžitého výkonu v závislosti na času, množství vyrobené elektrické energie a meteorologických parametrů bylo zahájeno na podzim 2007. Jako příklad uvádíme na obr. 6 měření za slunečného podzimního dne 15. října 2007. Zde jsou porovnávána měření okamžitého výkonu v závislosti na času pro dvě trojice stejných a sériově zapojených PV panelů pokročilé konstrukce čínské výroby. Jelikož množství vyrobené energie je dáno integrálem výkonu podle času $E = \int P \cdot dt$, kde P je okamžitý

výkon a t je čas, plocha pod grafem odpovídá množství vyrobené energie. Je vidět, že během podzimních dnů činí navýšení v případě pohyblivého stojanu s hřebenovým koncentrátorem záření cca 40%. Během podzimních a zimních dnů se ale Slunce pohybuje nízkou nad obzorem, je velká disperze záření a porovnávané PV panely na pohyblivém stojanu jsou jen z větší části přisvětleny zrcadlem. Nepřisvětlená část PV panelu se chová částečně jako zátěž. Navíc je krátký den a úhel sledování Slunce je už malý. Dá se tedy předpokládat, že během jara a léta se dostaneme na předpokládané hodnoty navýšení množství vyrobené elektrické energie cca 60% během slunečných dní.



Obr. 6 Měření okamžitého výkonu v závislosti na času za slunečného podzimního dne pro stejné sériově zapojené trojice PV panelů

ZÁVĚR

Projekt byl řešen na České zemědělské univerzitě v Praze během roku 2007 s příspěvním grantu „Zelená energie“. Grant „Zelená energie“ podpořil realizaci projektu cca 38% celkové ceny systému. PV systém byl realizován podle výše uvedeného návrhu.

Porovnání množství vyrobené elektrické energie je nyní prováděno v místních podmínkách Prahy 6 - Suchbátka pro fotovoltaické panely standardní i pokročilé konstrukce umístěné na automatickém pohyblivém stojanu s hřebenovým koncentrátorem záření a na pevném stojanu bez koncentrátoru záření. Potvrzuje se, že navýšení množství vyrobené energie v případě PV panelů pokročilé konstrukce umístěných na pohyblivém stojanu s hřebenovým koncentrátorem záření oproti stejným PV panelům umístěným na pevném stojanu se pohybuje v podzimních dnech kolem 40% v místních podmínkách Prahy 6. Dá se tedy předpokládat s přihlédnutím k výše diskutovaným okolnostem, že během jarních a letních dnů se toto navýšení bude pohybovat kolem 60%. Z hlediska celoroční efektivity jsou směrodatné především jarní a letní hodnoty, neboť tehdy je nejvíce dopadající energie.

Zařízení slouží současně jako demonstrační pro studenty a zájemce o demonstrace a konzultace v oboru obnovitelných zdrojů energie. Dlouhodobé měření a sledování parametrů bude probíhat v následujících letech a výsledky budou následně publikovány i v našem časopisu. Více informací a obrázků našich zařízení je možno najít například na internetové adrese <http://www.solar-trackers.com>.

Práce probíhá v rámci výzkumného záměru MSM 6046070905.

Literatura

- [1] Bican, P., Libra, M., Poulek, V., *Solární fotovoltaický systém instalovaný a testovaný na České zemědělské univerzitě v Praze*, *Jemná mechanika a optika*, **50**, 11-12, (2005), str. 345 - 347
- [2] Libra, M., Poulek, V., *Neplánovaná zkouška odolnosti fotovoltaického solárního systému při zatížení větrem*, *Jemná mechanika a optika*, **52**, 5, (2007), str. 152 - 153
- [3] Poulek, V., Libra, M., *Solar energy, photovoltaics - promising trend for today and close future*, book, Czech University of Agriculture Prague, (2006), 153 pages, ISBN 80-213-1489-3
- [4] V. Poulek, M. Libra, *Zařízení pro orientaci kolektorů solární energie*, *Jemná mechanika a optika*, **42**, 11-12, (1997), str. 354 - 357
- [5] V. Poulek, M. Libra, *Nový, levný, pohyblivý, hřebenový koncentrátor záření*, *Jemná mechanika a optika*, **44**, 9, (1999), 282 - 283

Ing. Vladislav Poulek, CSc., Poulek Solar, s.r.o., Velvarská 9, 160 00 Praha 6, tel.: 603 342 719, e-mail: info@solar-trackers.com
 Ing. Petr Bican, Bc. Jan Mareš, doc. Ing. Martin Libra, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6, tel.: 224 383 284, e-mail: libra@tf.czu.cz

Päťdesiat rokov od založenia Katedry presnej mechaniky a optiky na Technickej univerzite v Budapešti

Pred päťdesiatimi rokmi bola založená Katedra presnej mechaniky a optiky Technickej univerzity v Budapešti, ktorá od tej doby, ako jediný maďarský vysokoškolský jednotný vyučovací systém – ktorý vzhľadom na zmeny technických požiadaviek a medzinárodného očakávania – od tej doby nepretržite sa zaoberá výchovou technológov, rozvojových, konštrukčných a výskumných inžinierov, spôsobilých na riešenie priemyselných úloh súvisiacich s presnou mechanikou a optikou. Katedra v uplynulých rokoch v rámci svojej výskumnej a rozvojovej činnosti bola riešiteľom početného množstva úloh a vybuďovala sieť medzinárodných vedeckých a odborných stykov, medzi ktorými významnú úlohu hrala spolupráca s bývalou katedrou presnej mechaniky a optiky ČVUT v Prahe.

POČIATKY

V Maďarsku pred druhou svetovou vojnou výchova inžinierov špecializovaných na presnú mechaniku a optiku neprebíhala. Napriek tomu vtedajší optický priemysel bol na svetovej úrovni. Odborníci pracujúci v tejto oblasti ovládali znalosti strojárov, geodetov, vojenských inžinierov, fyzikov, ale svoje praktické skúsenosti mohli prehĺbiť len v praxi, v závodoch zaoberajúcich sa presnou mechanikou a optikou. Výchova vysoko kvalifikovaných odborníkov v organizovanej forme začala na Elektrotechnickej fakulte – založenej v roku 1949 – Technickej univerzity, neskoršie pod odborným dozorom Katedry prístrojovej techniky a presnej mechaniky, založenej v roku 1954. Súčasne v období od 1950 do 1957 vyučovali technickú optiku aj na Fakulte vojenského inžinierstva univerzity, sústreďujúc sa hlavne na aplikáciu vojenských prístrojov. V tom období začal svoju činnosť na univerzite akademik Nándor Bárány, riaditeľ Centrálného výskumného ústavu optiky a presnej mechaniky. Od roku 1954 bol externým docentom Elektrotechnickej fakulty a prednášal predmety súvisiace s technickou optikou tak, že pritom až do konca roku 1956 bol vedúcim vedeckým poradcom hore uvedeného ústavu. Od roku 1957 sa stal interným profesorom a dostal za úlohu vedenie novozaloženej Katedry presnej mechaniky a optiky na Strojníckej fakulte. Funkciu vedúceho katedry vykonával až do svojho odchodu do dôchodku v roku 1967. Tým, že výuka odborníkov presnej mechaniky a optiky sa dostala na strojnícku fakultu, jej cieľ a štruktúra sa zmenili. Elektronické aspekty – ktoré sa od tej doby presunuli na Elektrotechnickú fakultu – sa sústredili hlavne na problémy hromadnej výroby a technológie. Výchova prebiehala – v súlade s požiadavkami priemyslu – v rámci odboru výrobných technológií, na špecializáciu prístrojovej techniky, vo forme denného a externého štúdia.

PEDAGOGICKÁ ČINNOSŤ

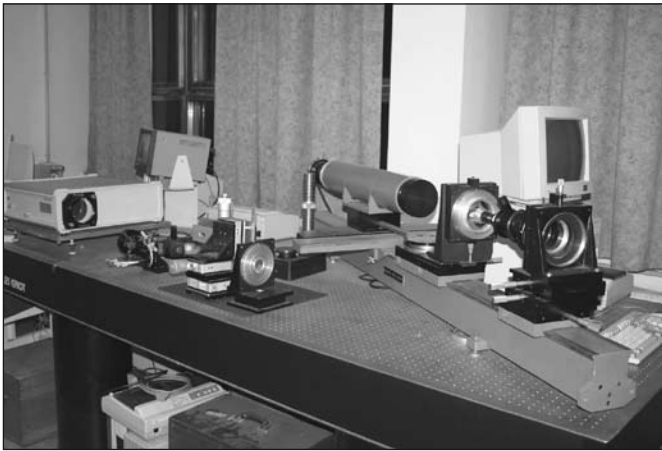
Ako cieľ bola vytýčená výchova strojných inžinierov schopných ovládať veľkopriemyselnú strojárenskú technológiu. Absolventi mali byť schopní konštruovať mechanizmy a prístroje pozostávajúce z optických a miniaturných súčiastok, aplikovať teoretickú a praktickú podstatu modernej meriacej techniky. Mať teoretické a praktické znalosti z oblasti technickej optiky, a byť schopní konštruovať špeciálne optické systémy. Vyučované predmety boli Základy presnej mechaniky, Optomechanika, Konštrukcia mechanizmov v presnej mechanike, Obrábacie stroje a technológia výroby prístrojovej techniky, Špeciálne technologické postupy, Základy metrologie a meracej techniky, Optické meracie prístroje a Konštrukcia optických systémov. Prví absolventi odboru skončili v roku 1958. Do roku 1967 – kedy zaviedli novú formu vyučovania



Akadémik Nándor Bárány prvý vedúci Katedry presnej mechaniky a optiky Technickej univerzity v Budapešti

– dostalo diplom 191 uchádzačov vo forme denného a 114 vo forme externého štúdia. V roku 1972 prepracovali koncept vyučovania na celej fakulte a od tej doby sa presná mechanika a optika stala súčasťou odboru konštrukcie strojov v rámci zamerania prístrojovej techniky. Prednášajúci katedry vypracovali nové predmety, ako Prístrojovú techniku, Technickú optiku, Prístrojovú technológiu, Techniku experimentov a Počítačové periférie.

V roku 1986 Laboratórium aplikovanej biofyziky – ktoré sa do tej doby nezaoberalo vyučovaním – a Katedra presnej mechaniky a optiky boli zjednotené do Ústavu presnej mechaniky a optiky, a nová organizačná jednotka sa obohatila veľkým počtom prístrojov koherentnej optiky. Súčasne sa zmenila vyučovacia štruktúra celej fakulty: Špecializácia prebiehala vo forme takzvaných modulov, z ktorých poslucháči v štvrtom ročníku mohli ľubovoľne voľiť. Z modulov ústav dozoroval modul presnej mechaniky a optiky a modul mechatroniky. Opäť boli vypracované nové predmety, ako napríklad Optika a optoelektronika, Interferometrické a holografické prístroje, Teória farieb, Základy mechatroniky,



Prístroje v laboratórii koherentnej optiky

Mechatronické systémy. Katedra sa zapojila do vyučovania odboru Komunikačná technika a odboru Design, na Prírodovedeckej fakulte odboru Fyziky a na Lekárskej fakulte odboru Optometrie a Biomedicínskeho inžinierstva.

V deväťdesiatych rokoch narástol počet úloh a pritom rapídne klesal počet prednášajúcich, preto organizačná forma bola zmenená a katedra sa opäť stala Katedrou presnej mechaniky a optiky. Nový výzvu znamenal prechod na dvojcyklové vysokoškolské vyučovanie, v rámci ktorého pracovníci katedry vypracovali pedagogický plán bakalárskej a magisterskej formy odboru Mechatronika.

Ing. Antal Ákos, Budapest University of Technology and Economics, Department of Mechatronics, Optics and Instrumentation Technology, Building E, Floor 3, Room 315, H-1521 Budapest, Müegyetem rkp. 3, Hungary, e-mail: antalakos@antalakos.hu

Pavol HORŇÁK, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, Bratislava, Slovenská republika

Svetelnotechnický výpočet a meranie zariadení na osvetlenie tunelov

Očividným nedostatkom navrhovaných tunelov na cestných a miestnych komunikáciách je absencia európskej normy umožňujúcej výpočet svetelnotechnických vlastností tunela. Výpočet fotometrických veličín: jas v bode, celkový jas v bode (svietidlá zahrnuté do výpočtu), výpočtové pole, umiestnenie bodov výpočtu, smer pozorovania, poloha pozorovateľa pri výpočte jasu v pozdĺžnom smere, ako aj kvalitatívne parametre vzťahujúce sa na jas: priemerový jas, celková rovnomernosť, pozdĺžna rovnomernosť a prahový prírastok sa stanovujú podľa európskej normy *STN 13201-3: 2004 Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 3: Svetelnotechnický výpočet* (36 0410). Návod však nie je zostavený pre adaptačné osvetlenie - vjazdové a výjazdové pásma, kde sú miesta s vyšším a nižším jasom rozložené na povrchu vozovky nepravidelne. Svetelný tok zo svietidiel padá nielen na povrch vozovky, ale aj steny a od týchto sa časť svetelného toku odraža na jazdné pruhy, ide o prípad nepriameho osvetľovania. Osvetlené steny sa v tomto prípade stávajú sekundárnymi zdrojmi svetla, pomocou ktorých svietidlami nepriamo osvetľujeme povrch vozovky. Pri priamom osvetlení sa svetelný tok dostáva na jazdné pruhy bez strát (ak zanedbáme straty pohltením vo vzduchu). Pri nepriamom osvetlení sú odrazy od stien, ktoré sú mnohonásobné, spojené s veľkými stratami pohltením. Skrátka, osvetlenie tunelov zlučuje výhody priameho a nepriameho

Prítom obidve formy štúdia uvedeného odboru na univerzite ostali v kompetencii katedry. V rámci toho klasická forma presnej mechaniky a optiky sa zmenila, trvalé znalosti sa integrovali do vied optoelektroniky a optomechaniky. Prví absolventi pravdepodobne skončia v roku 2008. V rámci reorganizácie celej fakulty sa katedra združila s Katedrou strojníckej informatiky a od roku 2006 pokračuje pod názvom Katedra mechatroniky, optiky a prístrojovej techniky. Zbor prednášajúcich tvoria štyria profesori, päť docentov, osem asistentov a vedeckých pracovníkov.

VEDECKÁ A MEDZINÁRODNÁ ČINNOSŤ

Vedecká činnosť katedry sa v počiatočnom období koncentrovala hlavne na riešenie problémov súvisiacich s aplikovanou a inžinierskou optikou. Vyvíjali optický prístroj na meranie kvality múky, na vnímanie dymu a obsahu prachu vo vzduchu, konštruovali optickú lavicu na skúmanie vlastností polovodičových prvkov, a kobaltové zariadenie na medicínske účely. V rámci štátnych úloh sa zaoberali vývojom geodetických optických zariadení, hlavne ďalekohľadov a samostatná vedecká skupina – financovaná Maďarskou akadémiou vied – sa zaoberala spektroskopickými a fotometrickými problémami. Vedenie katedry sa aktívne zapojilo do práce celoštátnej komisie podporovania výskumu a úspešná skupina pripravovala aspirantov na ďalšiu vedeckú prácu. Po deväťdesiatych rokoch minulého storočia nastal pád maďarského priemyslu a vtom hlavne optického a prístrojového. Súčasne sa objavili medzinárodné veľkopriemyselné závody, ich požiadavky boli úplne iné, potrebovali hlavne rozvoj špecializovaných meracích prístrojov. Katedra je nútená prispôsobiť sa k novým výzvam, pestuje odborné kontakty skoro so všetkými medzinárodnými podnikmi vyskytujúcimi sa na území Maďarska.

osvetlenia tým, že časť svetelného toku dopadá na povrch vozovky priamo, časť nepriamo. Môžeme tak dosiahnuť požadovanú rovnomernosť celého dopravného priestoru. Avšak podrobné ustanovenia pre osvetlenie jazdných pruhov tunelov na cestných a miestnych komunikáciách istým podielom nepriameho toku doteraz chýbajú. Preto vypočítané hodnoty svetelnotechnických vlastností tunela pri každej kontrole nevyhovujú.

Vo všeobecnosti na osvetlenie tunelov na cestných a miestnych komunikáciách sa používajú výbojky (rozmary zdroja sú malé) alebo žiarivky (jeden rozmer zdroja nemožno zanedbať proti vzdialenosti od osvetľovaného miesta). Ak tento rozdiel vo výpočtoch nezohľadníme, je chyba výpočtu veľká. Pri výpočte svetelnotechnických vlastností tunela sa vyžaduje pripraviť tabuľku svietivosti v zhode s *STN EN 13032 - 1 Svetlo a osvetlenie. Meranie a vyhodnotenie fotometrických údajov svetelných zdrojov a svietidiel*. Pri svietidlách na osvetlenie tunelov na cestných a miestnych komunikáciách sa používa súradnicová sústava (C, γ). Svietivosť sa musí vyjadriť v cd/klm. Najväčšie intervaly uhlov špecifikované v tejto norme boli vybrané tak, aby sa zaručili prijateľné úrovne presnosti interpolácie. Pre všetky odporúčané svietidlá musia byť uhlové intervaly vo vertikálnych rovinách (γ) maximálne $2,5^\circ$ a to v rozsahu od 0° do 180° . Pri svietidlách symetrických vzhľadom



Obr. 1 Dotykový panel optimalizácie regulácie osvetlenia krátkeho tunela LUCIVNÁ

na rovinu $C = 270^\circ - 90^\circ$ musia byť uhlové intervaly najviac 5° , počnúc hodnotou 270° , končiac hodnotou 90° . Pokiaľ sa odporúčané uhlové intervaly pre tabuľku svietivosti nedodržia, presnosť svetelnotechnického výpočtu zariadení na osvetlenie tunelov nie je uspokojivá. Svietivosti sa môžu merať kalibrovaným goniofotometrom RiGo 801 firmy TechnoTeam Bildverarbeitung, v ktorom je umiestnená CCD kamera s vysokým rozlíšením.

Údaje odrazivosti povrchu vozovky musia byť vyjadrené redukovaným súčiniteľom jasu násobeným hodnotou 10 000 v uhlových intervaloch a smeroch uvedených v *STN 13201-3: 2004 Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 3: Svetelnotechnický výpočet* (36 0410) pre uhly α a β . Na maximálne zníženie interpolačných nepresností sa odporúča používať pravidlá nachádzajúce sa v tejto európskej norme.

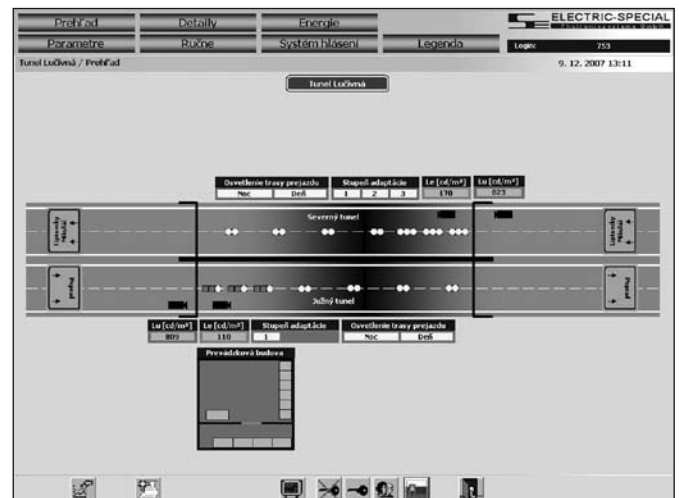
Ospevovaných programov pre výpočet tunelov na cestných a miestnych komunikáciách je dosť. No v tejto softwarovej džungli sa ťažko orientovať, pokiaľ sa nedozvieme o týchto produktoch viac. Vzhľadom k tomu navrhujem stanoviť hranice výpočtového priestoru na umiestnenie svietidiel, identifikovať tabuľku svietivosti a tabuľku s redukovaným súčiniteľom jasu s označením hodnoty priemerného súčiniteľa jasu a požiadať účastníkov verejnej súťaže o vzorový svetelnotechnický výpočet. Inak cena zariadení na osvet-

lenie tunelov, udržiavacie a prevádzkové náklady nedosiahnu požadovanú hospodárnosť.

Na vyhodnotenie zhody medzi vypočítanými a meranými hodnotami má poloha bodov siete, na ktorej sa vykonáva meranie a poloha pozorovateľa, zodpovedať hodnotám použitým vo výpočte. Na dosiahnutie použiteľných a spoľahlivých výsledkov sa odporúča meranie z pohybujúceho sa vozidla modernou digitálnou kamerou s vysokým rozlíšením série LMK firmy TechnoTeam Bildverarbeitung. V tomto prípade prehľad o jase v rôznych bodoch snímaného objektu získame:

- zaznamenaním digitálneho obrazu podľa zákonov optiky a osvetľovania snímacieho čipu;
- prenesením obrazových dát z digitálu do počítača;
- laboratórnou analýzou digitálnej snímky s nainštalovaným softvérom LMK2000 na počítači.

Na zohľadnenie vplyvu intenzity jasu pred portálmi a zabezpečenie hodnoty udržiavacieho jasu jazdných pruhov v závislosti od času (deň, noc) a takisto na základe intenzity premávky treba navrhnuť regulačné zariadenie podľa vzoru tunela Lučivná.



Obr. 2 Začlenenie tunela Lučivná do dopravného systému transeurópskej magistrály

Prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc., Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika

Prof. Ing. Pavol Hoňák, DrSc. – pätádesátiletý

V lednu letošného roku oslavil své pätádesátiny prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc., dlouholetý člen Redakční rady časopisu *Jemná mechanika a optika*.

Obsáhlý článek k jeho šedesátinám jsme uveřejnili v *JMO* č. 3/2003. Zopakujme proto jen několik základních údajů. Pavol Horňák dosáhl vysokoškolské kvalifikace v oboru světelná technika a zdroje světla absolutoriem na Moskevském energetickém institutu v Moskvě roku 1965. O sedm let později za úspěšnou obhajobu kandidátské disertace mu byla Ministerstvem vyššího a středního vzdělávání SSSR udělena hodnost kandidáta technických věd v oboru stejnojmenném s jeho vysokoškolskou specializací.

Dále vypracoval habilitaci Příspěvek k návrhu rotačně souměrných reflektorů a byl jmenován docentem pro obor energetika s účinností od 1. 10. 1975.

Na základě úspěšné obhajoby doktorské disertační práce mu byla r. 1980 rozhodnutím vědecké rady Slovenské vysoké školy technické



udělena hodnost doktor technických věd. Profesorem pro obor energetika byl jmenován s účinností od 1. 5. 1982.

Již v příležitosti jeho padesátin řekl o prof. Horňákovi tehdejší „mluvčí“ redakční rady doc. Ing. Jaroslav Plášek, DrSc.: „Víme, že se na něho můžeme spolehnout při zajišťování vědeckých a odborných článků, jejichž bývá současně autorem a že dokáže využít své mezinárodní prestiže pro dobro *Jemné mechaniky a optiky*.“ Tato slova jsou i po patnácti letech stále platná a aktuální.

Děkuji proto prof. Horňákovi u příležitosti jeho nynějšího životního jubilea za jeho neumdlévající a dlouholetou práci pro časopis *JMO*. Jménem svým, redakce a Redakční rady časopisu *JMO* přeji jubilantovi do dalších let pevné zdraví, duševní svěžest, stále neutuchající elán a optimismus, kterým se vyznačuje.

Jaroslav Nevřala
šéfredaktor časopisu *JMO*

Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie a její aplikační možnosti

Článek se zabývá environmentální rastrovací elektronovou mikroskopií jako univerzální metodou pro zkoumání izolačních vzorků a vzorků obsahujících vodu. Výhody této mikroskopické metody jsou prezentovány na základě experimentů zabývajících se studiem zbytků biologických tkání fosilního hmyzu v jantaru a studiem povrchu stěny kořenových kanálků zubů po preparaci pevnolátkovým laserem.

Klíčová slova: environmentální rastrovací elektronová mikroskopie, AQUASEM II, jantar, tkáň fosilního hmyzu, morfologie stěny kořenových kanálků zubů

ÚVOD

Uvedením prvního komerčně dostupného environmentálního rastrovacího elektronového mikroskopu (EREM) na trh, firmou Electroscan v roce 1988, začíná období prudkého vzestupu této mikroskopické metody, k jejímuž rozvoji výrazně přispěl svými pracemi např. Danilátos [1, 2]. Přítomnost vysokého tlaku plynů (nejčastěji vodní páry) v komoře vzorku EREM (až 3000 Pa oproti tlaku pod 0,001 Pa v klasickém rastrovacím el. mikroskopu), klade specifické nároky nejen na konstrukci mikroskopu, čerpací systém a použité materiály z hlediska koroze, ale také na detekční systémy, systémy řídicí teplotu vzorku a tlak v jeho okolí. Relativní technologická náročnost tohoto mikroskopu je však více než kompenzována širokou škálou možností jeho využití, a to ať již v módu vakua nebo v módu vysokého tlaku [3].

VAKUOVÝ SYSTÉM EREM

Značnou tlakovou diferencí, vznikající mezi komorou vzorku ($3 \cdot 10^3$ Pa) a prostorem zdroje elektronů ($10^{-3} - 10^{-9}$ Pa podle typu katody) EREM, lze udržet díky systému diferenciálně čerpaných komor, tlak omezujících clon a účinnému systému čerpání plynu. Clony opatřené otvory s průměrem řádově desítek až stovek mikrometrů umožňují účinné omezení proudění plynů mezi jednotlivými částmi mikroskopu a současně dovolují průchod elektronů od jejich zdroje až na vzorek [4]. Systém těchto komor a tlak omezujících clon je nejčastěji integrován v tubusu EREM. Mikroskop je zpravidla čerpán soustavou rotačních, difúzních či turbomolekulárních vývěv (prostor komory vzorku a s ním těsně sousedící diferenciálně čerpané komory), popřípadě iontových vývěv (prostor zdroje elektronů).

SPECIFIKA EREM

V důsledku vysokého tlaku plynů v komoře vzorku EREM, dochází ke zvýšenému počtu interakcí elektronů s molekulami a atomy plynu (nejčastěji vodní páry), což má za následek rozptýl primárního elektronového svazku. Rozptýl primárních elektronů roste zejména se zvyšujícím se tlakem a středním atomovým číslem plynu, pracovní vzdáleností a s klesajícím urychlovacím napětím svazku. Tento rozptýl má za následek zvětšení průměru stopy primárního elektronového svazku, což se projeví zhoršením poměru signál šum v detekovaném signálu a v konečném důsledku to může vést až ke zhoršením rozlišovací schopnosti mikroskopu [5].

Přítomnost vysokého tlaku plynů, rezidua plynů či vodní páry, popřípadě látky odpařující se ze vzorku, mohou způsobovat

kontaminaci elektronově optických částí mikroskopu, nadměrné opotřebení čerpacího systému a korozní vlivy působící převážně v komoře vzorku EREM.

Tato mikroskopická metoda však také nabízí zcela unikátní možnosti studia určitého typu vzorků, jejichž pozorování v klasickém REM není možné nebo z hlediska vlastností vzorku či požadované informace vhodné, viz následující kapitola. Detekční systémy v EREM, využívající přítomnost vysokého tlaku plynů k zesílení signálu [6, 7], vycházejí ze zcela odlišných fyzikálních principů než v REM. To umožňuje zobrazit studovaný povrch vzorku jinak, mnohdy plastičtěji s výhodou zobrazení povrchu dna hlubších kráterů ve vzorku [8].

POZOROVÁNÍ VODU OBSAHUJÍCÍCH IZOLAČNÍCH VZORKŮ V EREM

Pro tlak v komoře vzorku EREM vyšší než cca 200 Pa (v závislosti na typu vzorku), se v důsledku ionizačních srážek atomů a molekul plynů s elektrony neprojevuje povrchový negativní náboj na izolačních vzorcích, neboť tento náboj je kompenzován kladnými srážkovými ionty, které se vrací na povrch vzorku [9]. Kompenzace elektrického náboje umožňuje pozorování elektricky nevodivých vzorků bez nutnosti pokrytí jejich povrchu elektricky vodivou vrstvou a bez výskytu nábojových artefaktů na jejich povrchu. Při vyšším tlaku plynů, nejlépe vodní páry [10], v komoře vzorku mikroskopu (více než 611 Pa pro 0° C) lze pozorovat vzorky obsahující menší či větší množství vody bez jejich poškození dehydratací [11, 12]. Výraznou výhodou EREM je také možnost realizace „in-situ“ dynamických experimentů, jako např. tání a tuhnutí látek, kondenzace či vypařování kapalin nebo krystalizace aj. [13].

EREM AQUASEM II

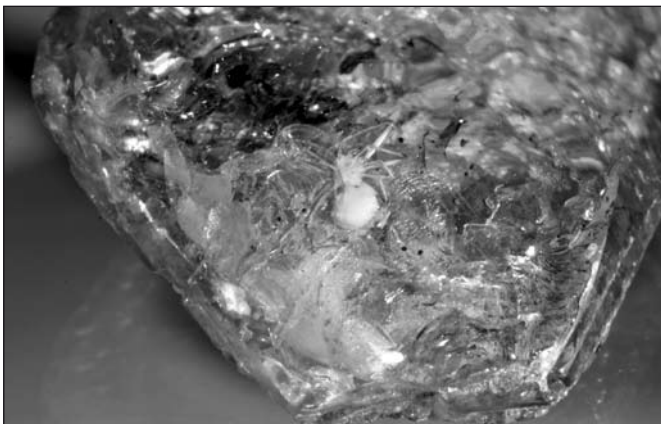
Stavba dnes již plně funkčního experimentálního EREM AQUASEM II, jako nástupce starší verze tohoto mikroskopu, byla ve spolupráci s firmou TESCAN s.r.o. dokončena minulý rok na ÚPT AV ČR v Brně [14]. Jeho hlavním úkolem je testování nových detekčních systémů pracujících v podmínkách vysokého tlaku plynu nebo vakua, studium obtížně pozorovatelných nebo speciálních vodu obsahujících nevodivých vzorků a realizace „in-situ“ dynamických experimentů. Jedním z mnoha příkladů aplikačních možností použití tohoto mikroskopu je např. pozorování zbytků biologických tkání fosilního hmyzu v jantaru, ve spolupráci s Entomologickým ústavem AV ČR, nebo studium povrchu stěny

kořenových kanálků zubů po preparaci pevnolátkovým laserem, ve spolupráci se Stomatologickou klinikou LF MU a FN u sv. Anny v Brně [15, 16]. Pro studium těchto vzorků byl použit BSE-YAG detektor (pro detekci signálu BSE) a ionizační detektor (pro detekci signálu SE), oba vyrobené v ÚPT AVČR v Brně.

POPIS METOD

Pro zpracování vzorků fosilií z baltského jantaru (stáří našich vzorků obvykle kolem 25 až 50 milionů let) bylo použito speciální techniky. Původní kousek jantaru (*obr. 1*, zde s pavoukem) byl zmenšen a umístěn do držáku ultramikrotomu (přístroj na zhotovování tenkých řezů pro elektronovou mikroskopii). Kolem fosilie byl jantar okrájen do podoby malé pyramidky. Z čelní plochy pyramidky pak byly odkrojovány tlusté řezy, až do dutiny těla fosilie (*obr. 2*). Následovalo odkrajování tenkých řezů až do místa, které bylo předmětem studia. Takto upravený kousek jantaru s fosilií je možné s výhodou pozorovat nepokovený v EREM pomocí různých typů detektorů. Tento vzorek byl pozorován pomocí experimentálního environmentálního rastrovacího elektronového mikroskopu AQUASEM II v prostředí vzduchu, při tlaku 410 Pa, pracovní vzdálenosti 3 mm a urychlovacím napětím primárního el. svazku 20 kV. K detekci signálu byl použit BSE-YAG detektor a ionizační detektor. Celý kousek jantaru však může být také pokoven (nejčastěji zlatem a technikou vakuového naprašování) a prostudován v konvenčním rastrovacím elektronovém mikroskopu.

Studium povrchu stěny kořenových kanálků po preparaci pevnolátkovým laserem bylo prováděno také pomocí EREM AQUASEM II, přičemž vzorek byl studován ionizačním detektorem v prostředí vodní páry při tlaku 520 Pa, pracovní vzdálenosti 3 mm a urychlovacím napětím primárního el. svazku 25 kV.



Obr. 1 Baltský jantar (stáří 25-50 milionů let) s fosilním pavoukem. Pořízeno pomocí digitálního fotoaparátu



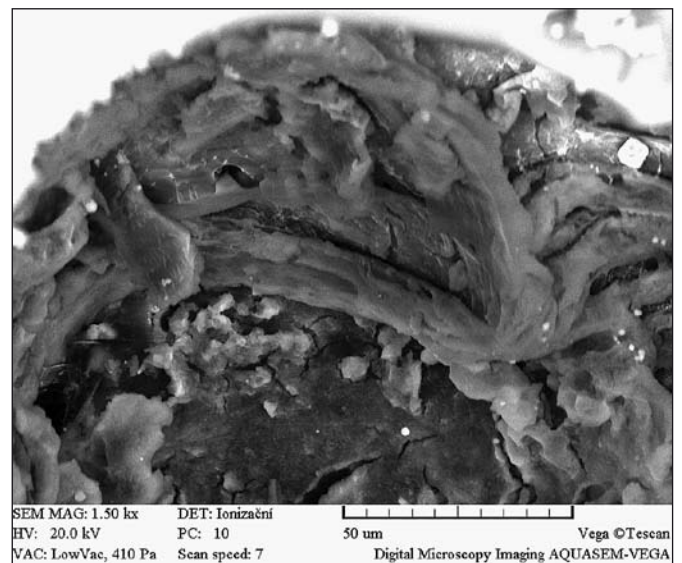
Obr. 2 Kousek jantaru s malou pyramidkou v horní části vzniklou odkrajováním jantaru kolem fosilie. Pořízeno pomocí digitálního fotoaparátu

Cílem práce bylo vyšetřit kvalitu povrchu kořenových kanálků po ošetření laserovou preparací a ověřit tak hypotézu, že stěna kořenového kanálku je čistá bez vrstvy preparační drtě (smear layer), a to i v případě, kdy byl kořenový kanálek pouze ozářen laserovým paprskem bez laserové preparace (rozšíření kořenového kanálku).

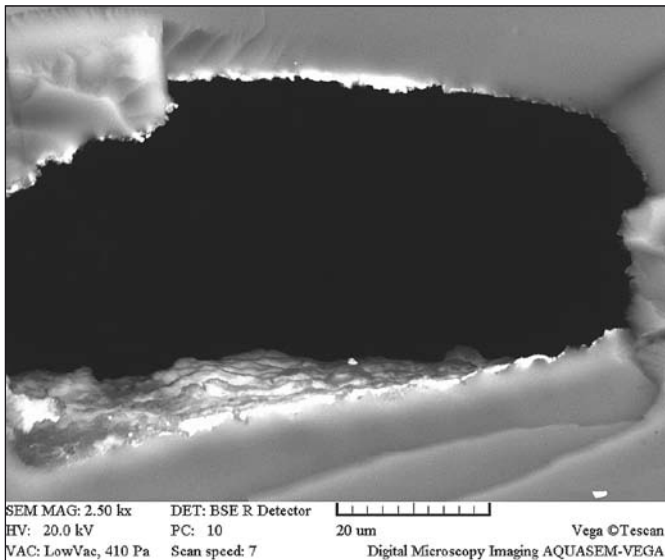
20 extrahovaných jednokořenových zubů bylo náhodně rozděleno do dvou skupin. Zubní korunky byly odděleny od kořenů v místě cementosklovinové hranice. Poté byly kořenové kanálky opracovány kořenovými nástroji technikou balancované síly s použitím kořenových nástrojů K-File (Medin, ČR) do velikosti ISO 20. Pak následovalo rozšíření laserovým systémem Waterlase (Biolase, USA) pomocí flexibilní versiflexové koncovky (Z2 a Z3) do velikosti ISO 30. Ve druhé skupině byly kořenové kanálky opracovány ručními nástroji do velikosti ISO 30 a následně pouze ozářeny (nikoli rozšířeny) laserem s použitím koncovky Z3 po dobu 20 s. Poté byly zuby rozštípnuty a stěny kořenových kanálků pozorovány bez pokovení v environmentálním rastrovacím elektronovém mikroskopu.

VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ

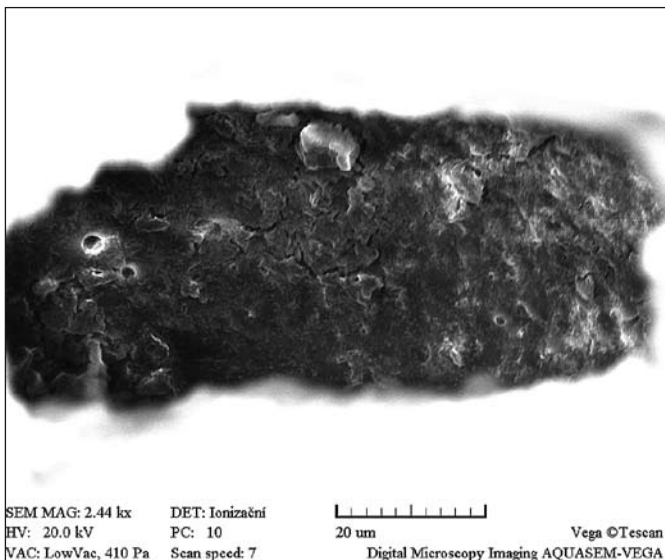
Jantar jako pryskyřice (smůla) někdejších rostlin obsahuje velmi často inkluze hmyzu, rostlin a řady dalších organismů [17]. Ty kdysi spadly na povrch kapky smůly a byly do ní pohlcneny. Prošly pak spolu s kouskem pryskyřice (smůly) procesem fosilizace, který vedl ke vzniku jantaru. V otevřené dutině fosilie (kde během ponoření živého organismu do někdejší rostlinné pryskyřice a následné fosilizace došlo k řadě změn) můžeme nalézt zbytky tkání. U různých fosilií je stav vnitřní dutiny různý podle typu změn během fosilizace. Zapojení EREM do tohoto výzkumu umožňuje provést prvotní ohledání situace při nižších zvětšeních bez pokovení vzorku (*obr. 3*). U hlubších dutin těla fosilie nám běžný BSE-YAG detektor umístěný v komoře vzorku EREM nedokáže zobrazit stěny dutiny tak, aby byl signál dostatečný pro získání dobrého obrazu (*obr. 4*). Podobná situace je i u konvenčního rastrovacího elektronového mikroskopu a pozlacených vzorků, kde pak musíme dutinu těla fosilie více obnažit (odkrájet další vrstvy jantaru, čímž se ale připravíme o kus těla fosilie). Ionizační detektor v EREM je schopný zobrazit, na rozdíl od výše zmíněného BSE-YAG detektoru, stěny i hlubších dutin (*obr. 5*). Studium fosilií v jantaru přináší důležité informace o druzích organismů, které už nežijí, ale jsou do velké míry příbuzné druhům současným.



Obr. 3 Mělká dutina v těle fosilie. Pozorováno pomocí ionizačního detektoru EREM AQUASEM II v prostředí vzduchu při tlaku 410 Pa, pracovní vzdálenosti 3 mm a urychlovacím napětím primárního el. svazku 20kV

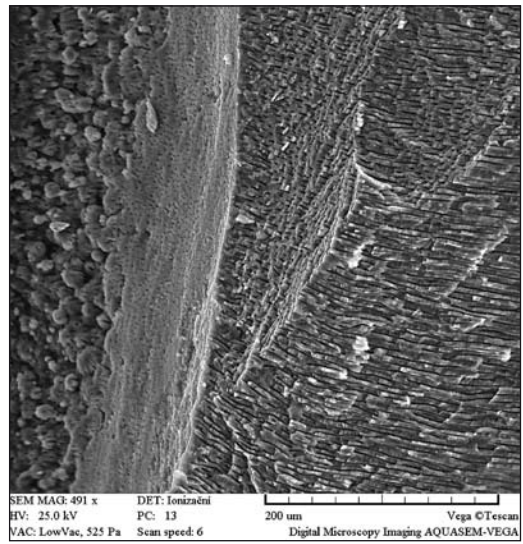


Obr. 4 Hlubší dutina v těle fosilie. Pozorováno pomocí BSE-YAG detektoru EREM AQUASEM II v prostředí vzduchu při tlaku 410 Pa, pracovní vzdálenosti 3 mm a urychlovacím napětí primárního el. svazku 20 kV

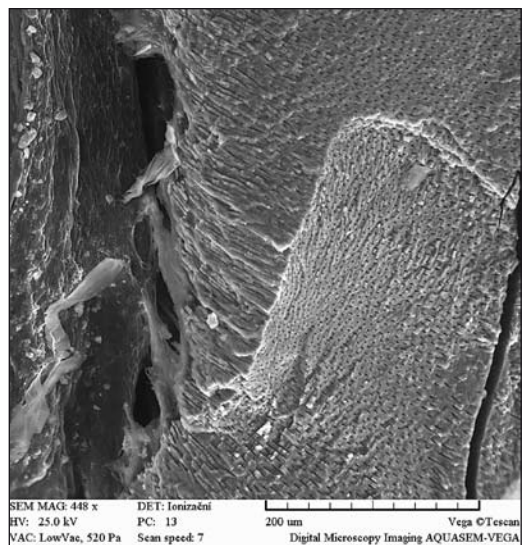
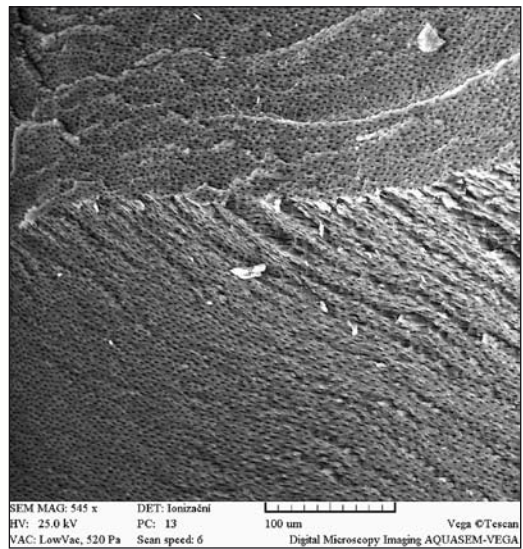


Obr. 5 Hlubší dutina v těle fosilie, stejné místo jako na obr. 4. Pozorováno pomocí ionizačního detektoru EREM AQUASEM I při stejných podmínkách jako na obr. 4

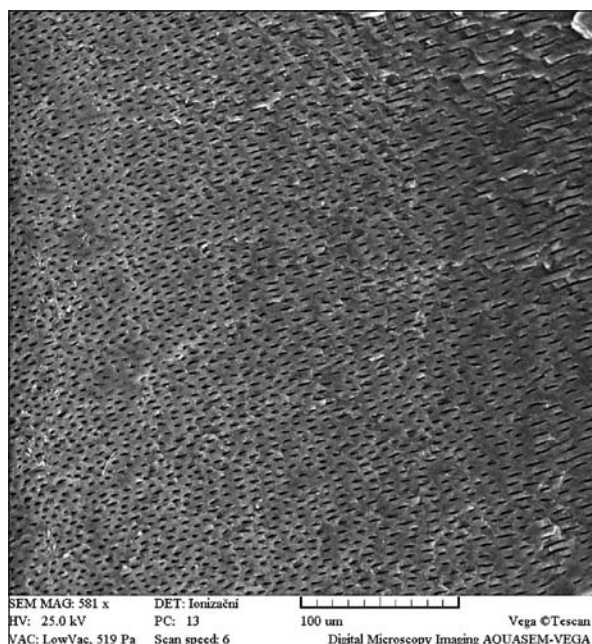
Na řezech kořenovými kanálky byla v obou skupinách pozorována čistá stěna bez vrstvy preparační drtě (smear layer) a s otevřenými dentinovými tubuly. Vzhled stěny kořenových kanálků u první skupiny byl méně pravidelný, byly vidět četné nerovnosti v podobě zářezů (obr. 6) nebo i otisku preparačního vlákna (obr. 7). Ve druhé skupině byla stěna kořenového kanálku prosta zářezů, povrch byl uniformní s dobře patrnými vstupy do dentinových tubulů (obr. 8). Uvedené nálezy nasvědčují tomu, že pouhé ozáření laserem bez rozšiřování kořenového kanálku plně postačí k dosažení čisté stěny. Rozšiřování kořenového kanálku pomocí laserového vlákna je vzhledem k tvaru tohoto vlákna zatíženo rizikem vzniku intrakanalových schůdků a jiných nepravidlostí. Avšak ani v případě použití laseru není stěna kořenového kanálku ideálně čistá a sporadicky lze nalézt zbytky měkkých tkání. Zejména pro jejich studium je environmentální rastrovací elektronový mikroskop velice vhodný (obr. 9).



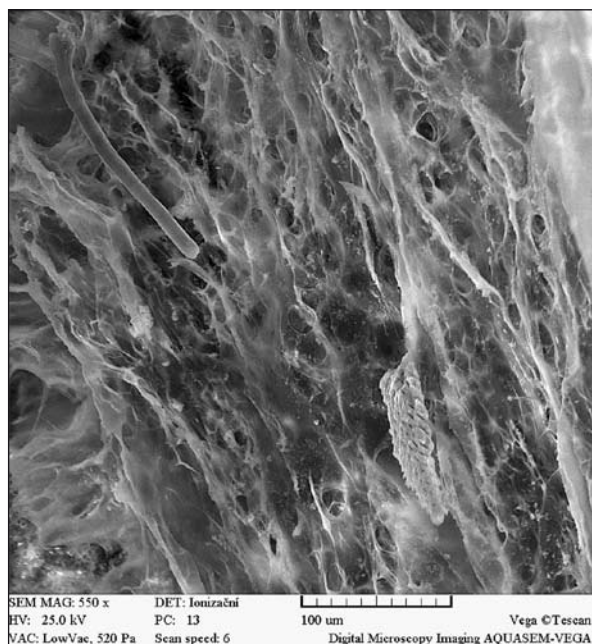
Obr. 6 Stěna kořenového kanálku bez preparační drtě s nepravidlostmi způsobenými laserovým rozšiřováním kanálku. Pozorováno pomocí ionizačního detektoru EREM AQUASEM II v prostředí vodních par při tlaku 520 Pa, pracovní vzdálenosti 3mm a urychlovacím napětí primárního el. svazku 25 kV



Obr. 7 Stěna kořenového kanálku bez preparační drtě s otiskem laserového vlákna při rozšiřování. Pozorováno za stejných podmínek jako na obr. 6



Obr. 8 Čistá stěna kořenového kanálku bez vrstvy preparační drtě s otevřenými vchody do dentinových tubulů po pouhém ozáření laserem. Pozorováno za stejných podmínek jako na obr. 6



Obr. 9 Místo se zbytky zubní drně - je patrná struktura rosolovitého vaziva s ojedinělou kalcifikací. Pozorováno za stejných podmínek jako na obr. 6

ZÁVĚR

Experimentální pozorování různých druhů vzorků popsaných v tomto textu částečně demonstruje aplikační možnosti environmentální rastrovací elektronové mikroskopie. Pozorování izolačních, a zejména biologických vzorků bez nutnosti předchozí preparace a pokovení, umožňuje studovat přírodní povahu jejich povrchu bez deformací způsobených vysušením, či zakrytím nebo zkrácením jemných topografických detailů tenkou vodivou vrstvou. Zmíněné výhody, včetně možnosti realizovat „in-situ“ dynamické experimenty, podtrhují přednosti této mikroskopické metody, jež je schopna přinášet cenné informace v širokém spektru vědních oborů.

Poděkování

Děkuji prof. B. Lencové za pomoc s přípravou rukopisu. V neposlední řadě děkuji oběma spoluautorům za pomoc při přípravě experimentů, odborné konzultace a čas který strávili nad tímto textem. Práce byla podporována granty GAČR pod č. GA 102/05/0886, GAAV pod č. KJB 200650602 a MSMT 1M0528.

Litatura

- [1] Danilatos, G. D.: Foundations of Environmental Scanning Electron Microscopy, Sydney, Academic Press, 1988, p. 249.
- [2] Danilatos G. D.: Theory of the gaseous detector device in the environmental scanning electron microscopy. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1990, 78, p. 102.
- [3] Donald, A. M.: The use of environmental scanning electron microscopy for imaging wet and insulating materials. *Nature materials*, 2003, Vol. 2, p. 511-516. ISSN 1476-1122.
- [4] Autrata, R., Jiráček, J., Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie, Monografie: Metody analýzy povrchů, Iontové sondové a speciální metody, Vyd. Academia 2002, str. 459-485.
- [5] Gauvin, R.: X-Ray microanalysis of real materials using Monte Carlo simulations, *Surf. Interface Anal.*, 2005, 37, p. 875-886.
- [6] Fletcher, A. L., Thiel, B. L., Donald, A. M.: Signal components in the environmental scanning electron microscope. *Journal of microscopy*, 1999, Vol. 196, p. 26-34. ISSN 0021-7921.
- [7] MORGAN, S. W., PHILLIPS, M. R.: Gaseous scintillation detection and amplification in variable pressure scanning electron microscopy. *Journal of applied physics*, 2006, Vol. 100, p. 074910. ISSN 0021-8979.
- [8] NEWBURY, D. E.: Imaging deep holes in structures with gaseous secondary electron detection in the environmental scanning electron microscope. *Scanning*, 1996, Vol. 18, p. 474-482. ISSN 0161-0457.
- [9] Moncrieff D. A. et al.: Charge neutralisation of insulating surfaces in the SEM by gas ionisation. *J. Phys. D*, 1978, 11, p. 2315-25.
- [10] Neděla V., Maxa J.: Hydratační systém pro environmentální rastrovací elektronové mikroskopy, *Fine mechanics and optics*, 2006, 11-12, p. 329-331, ISSN: 0447-6441.
- [11] Neděla, V., Methods for additive hydration allowing observation of fully hydrated state of wet samples in environmental SEM. *Microscopy research and technique*, 2007, Vol. 70, No. 2, p. 95-100. ISSN 1059-910X.
- [12] Neděla V., Autrata R.: Electron microscopy methods for observation of water containing specimens, *Fine mechanics and optics*, 2004, 4, p. 112-114, ISSN : 0447-6441
- [13] Schlek, R. L., Drzal, Lawrence T.: Characterization of advanced materials using an environmental SEM. *Journal of advanced materials*, 2000, Vol. 32, No. 2, p. 32-38. ISSN 1070-9789.
- [14] Environmental Scanning Electron Microscope Aquasem II – the Design and Applications, in Proceedings of 10th International Seminar, 22. - 26. 5. 2006, Skalský Dvůr (2006), s. 55-56, ISBN 80-239-6285-X.
- [15] NEDĚLA, V.; ROUBALÍKOVÁ, L.; ČERNOCH, P.: Study of Tooth Root Surface Treated with Various Techniques Using Variable Pressure SEM. *Microscopy and Microanalysis*, 2007, 13(3) p. 234 - 235. ISSN 1431-9276.

- [16] NEDĚLA, V.; WEYDA, F.; ČERNOCH, P.: Advantages of Study of Amber Fossils with Ionization Detector in Variable Pressure SEM. *Microscopy and Microanalysis*, 2007, 13(3). p. 250 - 251. ISSN 1431-9276.
- [17] Weitschat W., Wichard W.: Atlas der Pflanzen und Tiere im Baltischen Bernstein. Verlag Dr. Friedrich Pfeil (Muenchen) (1998), 256 pp.
- [18] George, L., Roubalíková, L.: Povrch stěny kořenového kanálku po strojové a ruční preparaci - porovnání technik. *Praktické zubní lékařství*, 2006, Praha: NTS ČLS JEP, 54/2006, 5, od s. 91 - 97, 7 s. ISSN 1213-0613.
- [19] Roubalíková, L.: Elektronově mikroskopický obraz povrchu kořene ošetřeného různými druhy scalerů. *Stomatolog*, 2004, Bratislava: SKZL, 14, 1, od s. 2-4, 3 s. ISSN 1335-2005.

Ing. Ing. Vilém Neděla, Ústav přístrojové techniky, Akademie věd České republiky, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno, tel.: +420 541 514 333, Fax: +420 541514402, e-mail: vilem@isibрно.cz

Doc. MUDr. Lenka Roubalíková, Ph.D., Stomatologická klinika a Stomatologické výzkumné centrum LF MU a FN u sv. Anny v Brně, Pekařská 53, 656 91 Brno

Tel: +420 724 221 178, e-mail: lenka.roubalikova@tiscali.cz.

Doc. RNDr. František Weyda, CSc., Biologické centrum Akademie věd ČR, v.v.i., Entomologický ústav, Laboratoř digitálního zobrazování v entomologii, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, tel.: +420 387 775 257, fax: +420 385 310 354, e-mail: weyda@etnu.cas.cz

Ivo KONVALINA, Ilona MÜLLEROVÁ, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Brno

Obrazy ze sekundárních elektronů v rastrovacích elektronových mikroskopech

Článek se zabývá výpočty sběrové účinnosti Everhartova-Thornleyho detektoru v různých rastrovacích elektronových mikroskopech. Na třech detekčních systémech je ukázán vliv rozložení magnetického a elektrostatického pole v komoře mikroskopu na trajektorie sekundárních elektronů, které ovlivňují výsledný obrazový kontrast.

Clíčová slova: ET detektor, sekundární elektrony, sběrová účinnost, elektrostatické a magnetické pole

1. ÚVOD

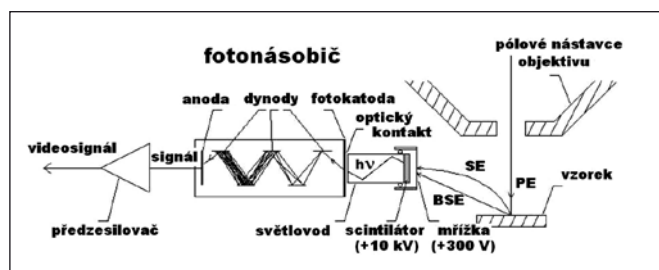
Obraz pozorovaného preparátu v rastrovacím elektronovém mikroskopu (REM) získáváme pomocí různých detektorů, kterými je mikroskop vybaven. Po dopadu primárního svazku na vzorek dochází k interakci primárních elektronů s látkou a výsledkem je mimo jiné vznik signálních elektronů emitovaných ze vzorku.

V REM jsou pro detekci nejvíce používány tzv. sekundární elektrony (SE), které vycházejí ze vzorku s malou energií do 50 eV, a zpětně odražené elektrony (BSE) s vyšší energií.

2. EVERHARTŮV-THORNLEYHO DETEKTOR

K detekci sekundárních elektronů se zpravidla používá Everhartův-Thornleyho (ET) detektor [1] navržený již téměř před padesáti lety. Příklad jednoho možného uspořádání ET detektoru v mikroskopu je na obrázku 1.

ET detektor je schopný k sobě přitáhnout elektrony s nízkou energií působením elektrostatického pole mřížky detektoru, na níž je potenciál několika stovek voltů. SE jsou poté urychleny vysokým potenciálem na scintilátor, kde dochází ke generování fotonů, které jsou světlovodem přivedeny na fotokatodu fotonásobiče; zde jsou fotony konvertovány zpět na elektrony. Detekovaný signál je dále zesilován ve fotonásobiči a v předzesilovači na požadovanou úroveň, výsledný videosignál moduluje jas pozorovacího monitoru.



Obr. 1 Everhartův-Thornleyho detektor

3. MOŽNOSTI POUŽITÍ ET DETEKTORU

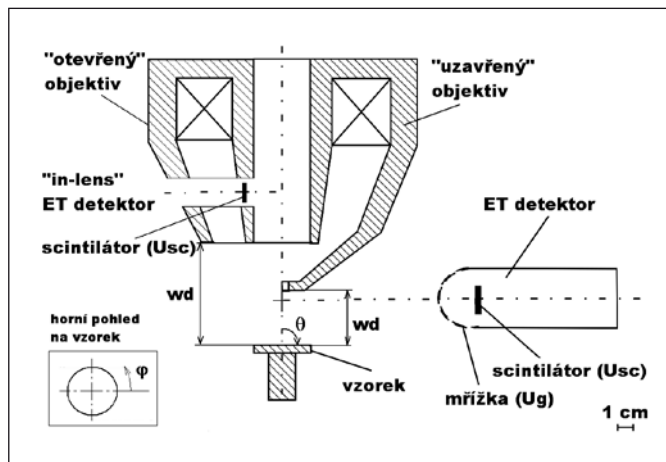
V současné době se ET detektor používá v různých mikroskopech, které se mohou lišit ve způsobu získávání signálních elektronů. Zásadní vliv na trajektorie sekundárních elektronů má elektrostatické a magnetické pole v místech, kudy se částice pohybuje. Primární svazek elektronů je fokusován na vzorek pomocí objektivu, který je ve většině případů tvořen magnetickou čočkou. Její geometrie ovlivňuje velikost magnetického pole v oblasti vzorku. Zjednodušeně lze říci, že nastávají dva případy. Magnetické

pole se uzavírá uvnitř objektivu, proto téměř žádné pole neprosakuje do oblasti vzorku a trajektorie SE jsou ovlivňovány zejména elektrostatickým polem ET detektoru. Druhým případem je objektiv, jehož magnetické pole silně proniká do oblasti vzorku, kde dosahuje svojí maximální hodnoty a významně ovlivňuje pohyb sekundárních elektronů. Emitované SE ze vzorku se v magnetickém poli začnou pohybovat po šroubovici a velká část se jich dostane do objektivu, kde mohou být detekovány tzv. in-lens ET detektorem.

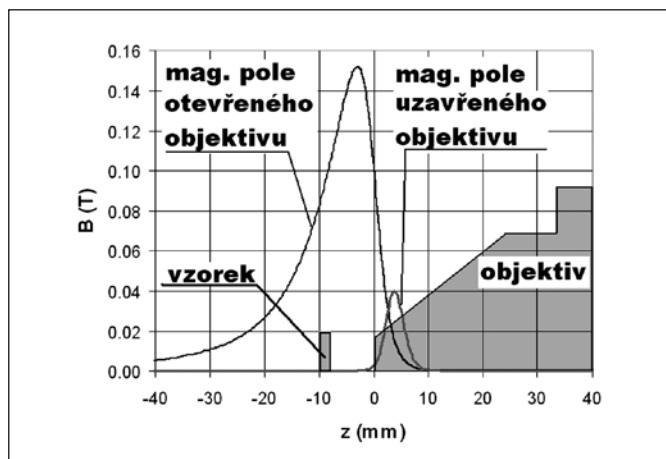
Rozložení elektrostatických a magnetických polí uvnitř komory mikroskopu je velmi složité a tudíž pro zmapování trajektorií SE je nezbytné použít vhodný software. K výpočtům osově symetrických uspořádání používáme program EOD (Electron Optical Design) [2], jehož výpočet je založen na metodě konečných prvků. Pro osově nesymetrická uspořádání lze použít program Simion 3D, verze 7.0 [3], který počítá rozložení pole metodou konečných diferencí.

4. ÚČINNOST DETEKCE PRO RŮZNÉ KONFIGURACE

Schéma simulovaného uspořádání je naznačeno na obrázku 2. Jak již bylo řečeno, rozložení magnetického pole objektivu má významný vliv na trajektorie SE. Objektiv, jehož magnetické pole se uzavírá uvnitř objektivu, budeme nazývat „uzavřený“ a naopak objektiv, jehož pole proniká ke vzorku, nazveme „otevřený“. Srovnání osového magnetického pole obou objektivů vidíme na obrázku 3. Na následujícím příkladu budou ukázány detekční vlastnosti ET detektorů v systémech s těmito objektivy, jejich výhody a nevýhody.



Obr. 2 Schéma simulovaného uspořádání; levá část řezu objektivu ukazuje uspořádání otevřeného objektivu s in-lens ET detektorem, pravá část geometrii uzavřeného objektivu. Pracovní vzdálenost w_d je mezera mezi vzorkem a koncem pólového nástavce příslušného objektivu



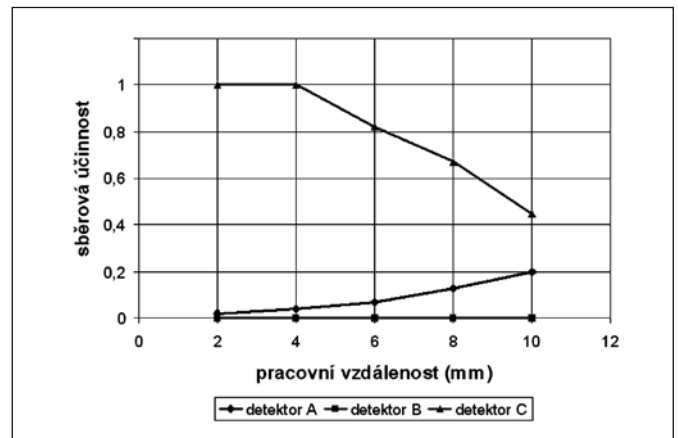
Obr. 3 Průběh magnetického pole na ose uzavřeného a otevřeného objektivu

5. VÝPOČET SBĚROVÉ ÚČINNOSTI DETEKTORU A JEHO ÚHLOVÉ CITLIVOSTI

Samotný ET detektor se skládá z několika samostatných funkčních bloků. Výsledná kvalita obrazu je ovlivněna jednotlivými částmi detekční trasy. Prvním a zároveň zásadním faktorem je však schopnost detektoru přitáhnout a zachytit signální elektrony. Tuto schopnost nazýváme sběrovou účinností detektoru, která je počítána jako relativní podíl sekundárních elektronů s kosinovým rozdělením emise, jež dopadnou na detektor, k celkovému počtu elektronů emitovaných ze vzorku. Výsledný obrazový kontrast závisí kromě na sběrové účinnosti i na úhlové citlivosti detektoru, tedy na tom, jaké elektrony emitované ze vzorku pod různými úhly vůči ose vzorku jsou detekovány více či méně nebo vůbec. Proto stejný vzorek zobrazený v mikroskopech od různých výrobců s vlastními konstrukčními řešeními detekčního systému i celého mikroskopu může vykazovat odlišný kontrast. Studium vlastností detekčních systémů vede k lepšímu porozumění a interpretaci mikroskopických obrazů [4].

V tomto článku si ukážeme některé vlastnosti detekčních systémů dvou elektronových mikroskopů lišících se právě použitým typem magnetické čočky objektivu. V systému s uzavřeným objektivem je pouze jeden ET detektor umístěn ve stěně komory pod objektivem (detektor „A“). Mikroskop s otevřeným objektivem je vybaven dvěma detektory, první je opět umístěn ve stěně komory jako v případě s uzavřeným objektivem (detektor „B“) a druhý je umístěn v objektivu, tzv. in-lens detektor (detektor „C“).

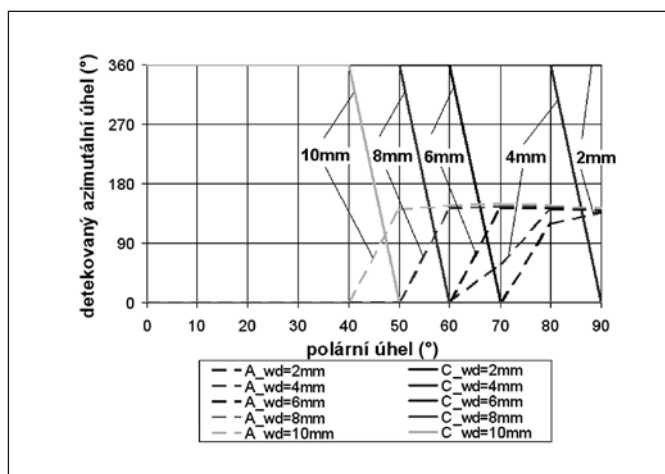
Sběrová účinnost uvedených tří detektorů byla spočítána z nasimulovaných trajektorií (obr. 4) [5]. Energie primárních elektronů byla pouze 1 keV, aby magnetické pole v oblasti vzorku bylo co možná nejmenší. Energie emitovaných SE byla 5 eV, což je vhodná hodnota energie pro vytvoření základní představy o sběrové účinnosti detektoru. Pro získání reálnějších výsledků je nutné do výpočtu zahrnout celé energetické spektrum emise sekundárních elektronů. Rovnici pro výpočet sběrové účinnosti je tedy třeba doplnit o funkci popisující energetické rozdělení emise sekundárních elektronů.



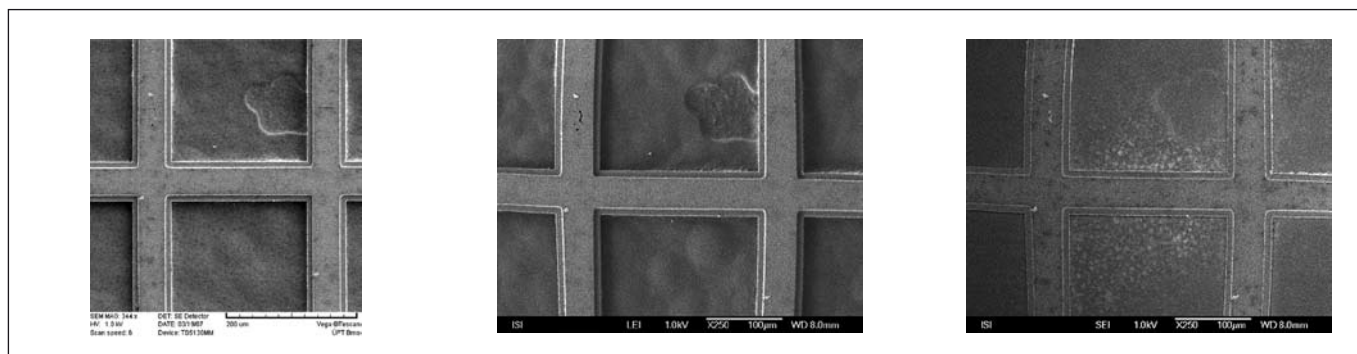
Obr. 4 Vypočítaná sběrová účinnost ET detektorů

Jak je patrné z obrázku 4, nejlepší sběrovou účinnost má detektor C a dosahuje ji při malých pracovních vzdálenostech. S rostoucí pracovní vzdáleností dochází k výraznému poklesu sběrové účinnosti. Naopak u detektoru A sběrová účinnost roste s pracovní vzdáleností. Toto lze jednoduše vysvětlit tím, že elektrostatické pole od mřížky detektoru při větších pracovních vzdálenostech lépe proniká ke vzorku a je tedy schopné ovlivnit více emitovaných sekundárních elektronů. Sběrová účinnost detektoru A je pro optimální pracovní vzdálenost okolo 20 %. Na detektor B nedopadají žádné sekundární elektrony emitované ze vzorku, proto je vypočtená sběrová účinnost rovna 0 pro všechny pracovní vzdálenosti. Je to způsobeno silným magnetickým polem v oblasti vzorku, které všechny emitované sekundární elektrony ze vzorku otočí zpět na vzorek a nebo naopak zfokusuje do objektivu, kde jsou detekovány detektorem C.

Dalším významným rozdílem mezi detektory je kromě sběrové účinnosti úhlová citlivost detektorů (obr. 5). Elektrony emitované ze vzorku svírají s osou objektivu polární úhel narůstající směrem k rovině vzorku, tedy $\theta=0^\circ$ pro SE emitované rovnoběžně s osou objektivu a $\theta=90^\circ$ pro elektrony kolmo vůči ose objektivu. Druhý úhel popisující směr emitovaného elektronu ze vzorku je azimutální úhel φ , měřený v rovině vzorku (viz obr. 2). Graf na obrázku 5 zobrazuje závislost detekovaného azimutálního úhlu emitovaného sekundárního elektronu pro příslušný polární úhel detektorů A a C. Detektor C je v uspořádání osově symetrickém, a proto pro daný polární úhel jsou detekovány buď všechny elektrony ($\varphi = 360^\circ$), nebo žádné ($\varphi = 0^\circ$). Toto neplatí pro detektor A, který je umístěn ve stěně komory mikroskopu. Detektor je schopný přitáhnout pouze částice emitované směrem k detektoru, tudíž nedetekuje plný azimutální úhel, ale pouze jeho část. V případě detektoru A je to přibližně 150° . Další odlišnost detektorů A a C je v preferenci různých polárních úhlů sekundárních elektronů. Detektor A detekuje elektrony s velkým polárním úhlem, to jsou elektrony, které se nejnáze dostanou z prostoru mezi pólovými nástavci objektivu a vzorkem. S rostoucí pracovní vzdáleností detektor detekuje elektrony s nižšími polárními úhly. Naopak je tomu u detektoru C, který preferuje zejména elektrony s malým polárním úhlem, které se snáze dostanou do objektivu a následně k detektoru. S rostoucí pracovní vzdáleností přestává detektor detekovat elektrony s velkým polárním úhlem. Tato skutečnost má za následek změny kontrastu ve výsledném mikroskopickém obraze.



Obr. 5 Úhlová citlivost detektorů A a C vyjádřena závislostí detekovaného azimutálního úhlu φ_{det} na příslušném polárním úhlu θ , pod kterým elektron opouští vzorek (viz obr. 2)



Obr. 6 Obraz měděné mřížky na uhlíkovém substrátu pořízený detektory A (vlevo), B (uprostřed) a C (vpravo)

6. PŘÍKLAD ZOBRAZENÍ PRO RŮZNÁ USPOŘÁDÁNÍ

Na jednoduchém preparátu měděné mřížky na uhlíkové podložce je zobrazen rozdíl jednotlivých detektorů (obr. 6) [5]. Snímky preparátu byly pořízeny na mikroskopech, jejichž vlastnosti odpovídají simulovaným systémům a jsou dostupné na Ústavu přístrojové techniky. Mikroskop Tescan VEGA TS 5130MM je rastrovací elektronový mikroskop s uzavřeným objektivem a ET detektorem umístěným ve stěně komory (detektor A). Jeol JSM 6700F, mikroskop s otevřeným objektivem a dvěma ET detektory, byl použit pro ověření nasimulovaných vlastností detektorů B a C. I detektorem B je zobrazen vzorek, ačkoli na obrázku 5 je vypočtená sběrová účinnost rovna 0 pro všechny pracovní vzdálenosti. Tato skutečnost je dána tím, že detektor B v reálném mikroskopu opravdu nedetekuje sekundární elektrony emitované ze vzorku po dopadu primárních elektronů, ale detekuje terciální SE vznikající po dopadu zpětně odražených elektronů na některé části mikroskopu. Přestože nejsou detekovány právě sekundární elektrony emitované přímo ze vzorku, výsledný obraz daného preparátu ukazuje strukturu vzorku. Informace o vzorku získané pomocí výše zmíněných tří detektorů nejsou totožné. Každý ET detektor v daném mikroskopu přináší unikátní informaci.

7. ZÁVĚR

Cílem tohoto článku je zjednodušeně nastínit problematiku detekce sekundárních elektronů v REM. Stejný vzorek zobrazovaný ET detektorem v různých mikroskopech může vykazovat odlišný kontrast. Výsledný obraz je ovlivněn typem použitého mikroskopu a způsobem získání signálních elektronů.

Tato práce byla řešena v rámci podpory grantu GA ČR pod č. GA102/05/2327 (řešitelka I. Müllerová).

Literatura

- [1] EVERHART, T. E., THORNLEY, R. F. M. Wideband detector for micro-micro-ampere low-energy electron currents. *Journal of Scientific Instruments*. 1960, vol 37, No. 7, p. 246-248.
- [2] LENCOVÁ, B., ZLÁMAL, J. The development of EOD program for the design of electron optical devices. *Microscopy and Microanalysis*. 2007, Vol. 13, sup. 3, p. 2-3. ISSN 1431-9276.
- [3] DAHL, D. A. SIMION for the personal computer in reflection. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2000, Vol. 200, No. 1-3, p. 3-25. ISSN 1387-3806.
- [4] KONVALINA, I. *Quantification of Detection Efficiency of the Detector of Secondary Electrons in SEM*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojínského inženýrství, 2007. 110 s.
- [5] KONVALINA, I., HOVORKA, M., WANDROL, P., MIKA, F. and MÜLLEROVÁ, I. Strategies for Collection of Secondary Electrons in the SEM. *Microscopy and Microanalysis*. 2007, Vol. 13, sup. 3, p. 78-79. ISSN 1431-9276.

Ing. Ivo Konvalina, Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno, tel.: 541 514 259, fax: 541 514 402, e-mail: konvalina@isibrno.cz

Ing. Ilona Müllerová, DrSc., Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i., Královopolská 147, 612 64 Brno, tel.: 541 514 300, fax: 541 514 402, e-mail: ilona@isibrno.cz

Konstrukce a testování solárního regulátoru v ostrovním fotovoltaickém systému

ÚVOD

Na Technické fakultě ČZU v Praze v Laboratoři fyzikální energetiky katedry fyziky se problémem akumulace energie zabýváme již delší dobu a výsledky pravidelně publikujeme i v časopisu *Jemná mechanika a optika* [1,2]. V předchozí práci [1] jsme prezentovali konstrukci a testování napěťové nabíječky, v tomto článku uvádíme poslední výsledky konstrukce a testování proudové nabíječky elektrochemického akumulátoru v ostrovním fotovoltaickém systému.

NABÍJENÍ AKUMULÁTORU KONSTANTNÍM PROUDEM

Jednou ze základních metod nabíjení akumulátorů je nabíjení konstantním proudem. Výhodou této nabíjecí metody, též označované jako nabíjení podle charakteristiky „I“ je především rychlé dodání náboje vybitému akumulátoru a rovněž snadná kontrola dodaného náboje dle vztahu:

$$Q = I \cdot t, \quad [C; A; s],$$

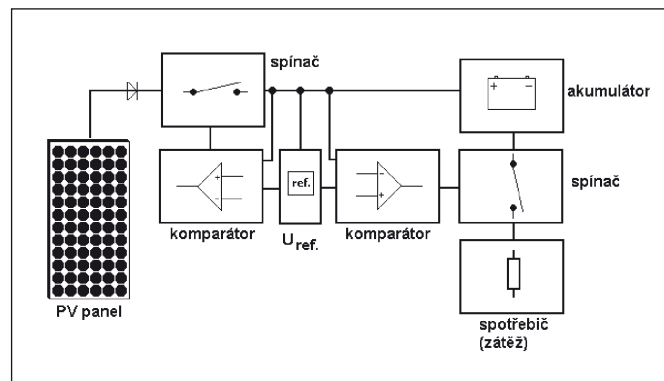
za předpokladu, že $I = konst.$ Nevýhodou této nabíjecí metody je pak riziko přebíjení akumulátoru. Je-li nabíjecí proud zvolen co největší pro rychlé nabití akumulátoru (max. velikost nabíjecího proudu je určena typem akumulátoru, pro olověný akumulátor se udává jako $I_{max} = I_{10} \approx C/10$, tj. desetina kapacity akumulátoru), pak nabíjení tímto proudem v konečných fázích nabíjení vede rovněž k poškození desek akumulátoru. Z tohoto důvodu se tato metoda k nabíjení akumulátorů používá velmi zřídka.

V upravené podobě lze tuto metodu nabíjení používat pro dobíjení akumulátorů v ostrovních fotovoltaických (PV) systémech. Zde jako zdroj elektrické energie slouží PV panel (PV kolektor), u kterého nelze ve většině případů dodržet podmínku konstantního proudu $I = konst.$, jelikož proud dodávaný PV panelem je závislý na intenzitě osvětlení. Název této nabíjecí metody proto není úplně přesný, nicméně vystihuje podstatu tohoto principu nabíjení elektrickým proudem. Na rozdíl od nabíjení konstantním napětím [1,2], kde je regulována hodnota nabíjecího napětí na konstantní hodnotu, je v tomto případě regulována hodnota nabíjecího proudu.

KONSTRUKCE JEDNODUCHÉ PROUDOVÉ NABÍJEČKY

V nejjednodušším případě je maximální možný nabíjecí proud dán výkonem PV panelu. Akumulátor a PV panel se volí tak, aby jmenovitý nabíjecí proud I_{10} byl větší nebo roven maximálnímu proudu PV panelu při přímém osvětlení poledním sluncem z jasného letního dne. Regulace nabíjecího proudu tak není potřeba. Úkolem regulátoru dobíjení je pak především funkce ochrany proti přebíjení akumulátoru a proti hlubokému vybití. Schematické znázornění tohoto regulátoru naší konstrukce je na obr. 1.

Regulátor porovnává napětí na akumulátoru s referenční hodnotou. Překročí-li toto napětí nastavenou hodnotu napětí plně nabitého akumulátoru, regulátor odpojí PV panel od akumulátoru. (V případě olověného 12V akumulátoru je toto napětí 14,4 V, nad tímto napětím začíná akumulátor plynout.) Poklesne-li toto napětí s určitou hysterezí pod nastavenou hodnotu, regulátor PV panel zase připojí a znovu probíhá nabíjení akumulátoru. Tato dvoupolohová regulace nabíjení je nejjednodušší, nicméně již ověřená léty používání v aplikaci dobíjení akumulátorů ve starších vozidlech.



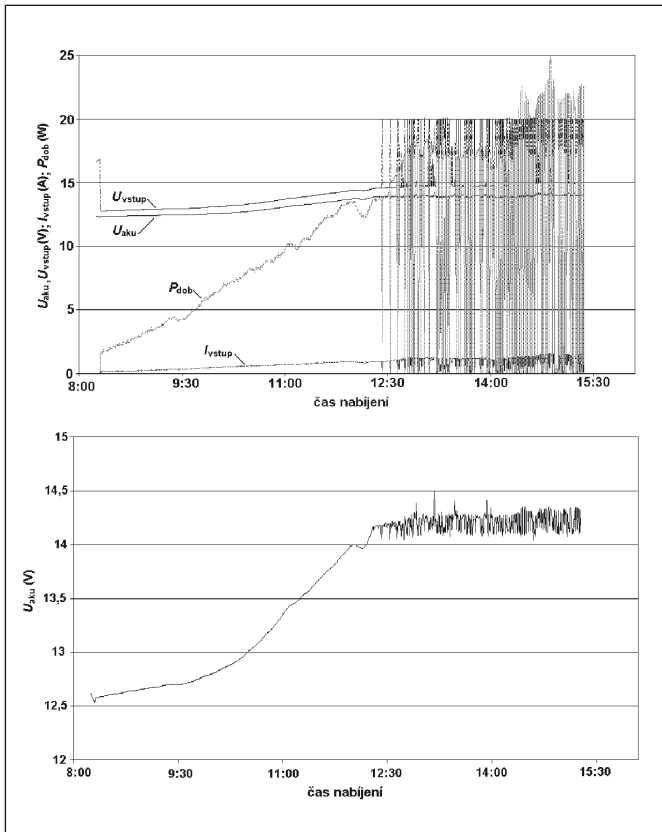
Obr. 1 Blokové schéma základního regulátoru dobíjení

Funkce ochrany proti hlubokému vybití je řešena obdobně. Při poklesu napětí akumulátoru pod nastavenou hodnotu vybitého akumulátoru (tzv. cutt-off voltage) je regulátorem odpojena zátěž. Při zvýšení napětí s určitou hysterezí dojde k opětovnému připojení zátěže. Zátěž byla regulovatelná s nastavitelnou velikostí odebraného proudu. V letním období byla nastavena hodnota trvale odebraného proudu 500 mA, v zimním období 300 mA. V období horších slunečních podmínek začátkem prosince nebyl systém schopen dodat dostatečné množství energie ani pro tento odběr.

TESTOVÁNÍ JEDNODUCHÉ PROUDOVÉ NABÍJEČKY

Graf našeho měření průběhu nabíjení při testu PV systému s výše popsaným typem regulátoru je na obr. 2 (U_{aku} je napětí akumulátoru, U_{vstup} je napětí PV panelu, I_{vstup} je proud dodávaný PV panelem, P_{dob} je dobíjecí výkon). Nabíjení v tomto případě probíhalo za jasných podmínek začátkem prosince nebyl systém schopen dodat dostatečné množství energie ani pro tento odběr.

Z tohoto záznamu je patrný počátek nabíjení, kdy se postupně zvyšuje výkon pro nabíjení a zároveň roste svorkové napětí akumulátoru. Postupný nárůst výkonu P_{dob} odpovídá charakteristice pevného PV panelu v důsledku pohybu Slunce po obloze. Průmět plochy panelu do roviny kolmé ke směru slunečního záření je dán kosínem úhlu dopadu. Při překročení hodnoty 14,2 V začne regulátor odpojovat a připojovat PV panel. Zřetelné je rozdělení nabíjení na dvě oblasti. V první oblasti je spínač trvale v sepnutém stavu ve druhé oblasti pracuje regulátor ve spínaném režimu vyznačujícím se zachycením veličin jak v průběhu sepnutého, tak rozepnutého spínače. Pro monitorované veličiny P_{dob} , I_{vstup} je vypočítaným grafem horní obálka průběhu, pro veličiny U_{vstup} , U_{aku} je vypočítaným grafem obálka spodní. Přestože je olověný akumulátor jako elektrochemický zdroj tvrdý, lze na obr. 2 pozorovat průběh svorkového napětí akumulátoru v závislosti na čase nabíjení. Tato závislost vykazuje značné zvlnění, jak regulátor připojuje a odpojuje PV panel k akumulátoru. Toto je způsobeno ionty v elektrolytu. Při odpojení akumulátoru od PV panelu se svorkové napětí vlivem zpětné difúze iontů v elektrolytu snižuje (v závislosti na velikosti odebraného proudu) až k hodnotě daného elektrochemického potenciálu akumulátoru. Při nabíjení naopak díky iontům v elektrolytu svorkové napětí akumulátoru vzroste.

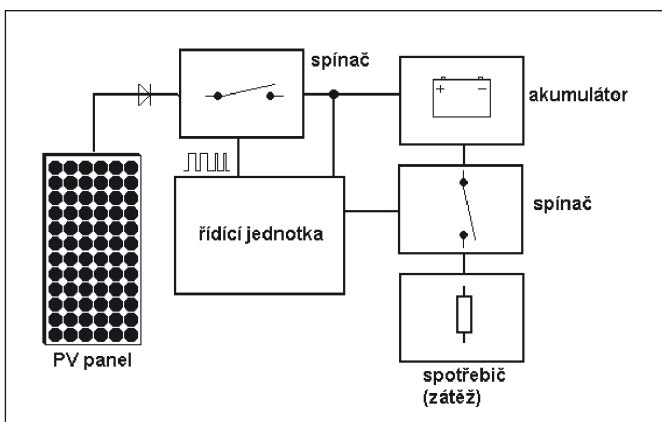


Obr. 2 Záznam nabíjení regulátorem dobíjení s dvoustavovou regulací během jasného dne

Během připojení PV panelu k akumulátoru může svorkové napětí vzrůst až o několik desetín voltu v závislosti na čase sepnutí spínače, v závislosti na velikosti napěťové hysterese pro odpojení PV panelu a v závislosti na vnitřním stavu akumulátoru (především stavu elektrolytu). Aby nebyl akumulátor vystaven napětí vyššímu než 14,4 V, je prahová hodnota napětí pro odpojení volena nižší, v našem případě 14,2 V.

KONSTRUKCE PROUDOVÉ NABÍJEČKY S PULSNĚ ŠÍRKOVOU MODULACÍ

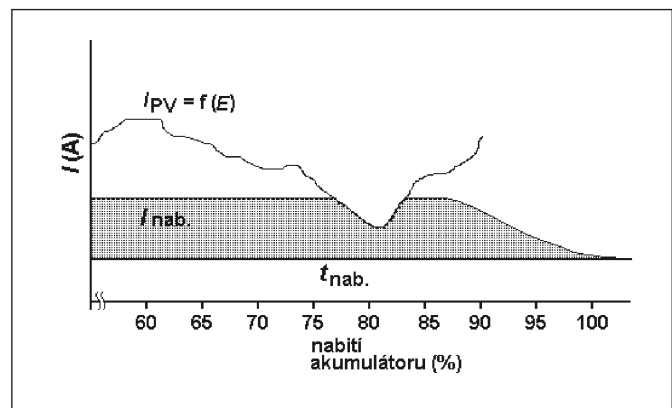
Nevýhodou tohoto jednoduchého způsobu nabíjení je především ne příliš šetrný způsob v konečných fázích nabíjení. Pro některé aplikace může být nevhodný i zvlněný průběh svorkového napětí akumulátoru. Jeví se proto výhodnější regulovat nabíjecí proud „jemněji“. Na obr. 3 je blokové schéma regulátoru s regu-



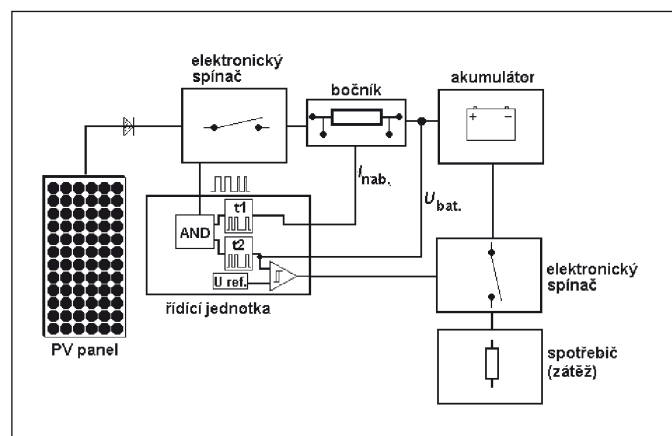
Obr. 3 Blokové schéma regulátoru s regulací nabíjecího proudu pomocí pulsně šířkové modulace

lací nabíjecího proudu pomocí pulsně šířkové modulace (PWM) v závislosti na napětí akumulátoru. Řídící jednotka složená z mikroprocesoru a přídatných periférií mění na základě měřeného svorkového napětí akumulátoru střídu řídicího signálu pro elektronický spínač. Střední hodnotu nabíjecího proudu odpovídající velikosti dodaného náboje pro nabíjení je tak možno regulovat od maximální hodnoty až po nulovou hodnotu. Pomocí tohoto způsobu regulace se nabíjecí proud (přesněji střední hodnota proudu) v konečných fázích nabíjení postupně zmenšuje (plynule či skokově v několika krocích). Tato metoda tedy umožňuje rychlé dodání náboje v počátečních fázích nabíjení a zároveň šetrné nabíjení akumulátoru v konečných fázích.

Možnost regulace nabíjecího proudu nabízí i další možnosti, například použít PV panel většího výkonu (předimenzovaný). Nabíjecí proud pak bude regulován v závislosti na stupni nabití akumulátoru zjištěného na základě napětí akumulátoru a dále bude regulován podle měřeného nabíjecího proudu tak, aby nebyla překročena maximální přípustná hranice proudu I_{10} , jak je schematicky zobrazeno na obr. 4 (I_{PV} je maximální proud dodávaný PV panelem, který závisí na intenzitě osvětlení E , I_{nab} je nabíjecí proud). Blokové schéma tohoto regulátoru naší konstrukce s omezením nabíjecího proudu je na obr. 5.



Obr. 4 Omezení nabíjecího proudu



Obr. 5 Blokové schéma regulátoru s omezením nabíjecího proudu

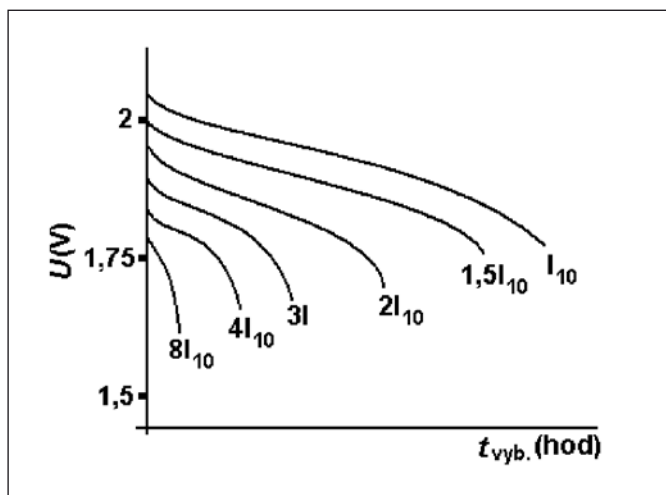
Samostatnou otázkou je v tomto případě předimenzování PV panelu a akumulátoru. To záleží především na stupni důležitosti napájeného zařízení. U aplikací s požadovaným vysokým stupněm spolehlivosti dodávky el. energie je výhodné dimenzovat výkon PV panelů tak, aby i při nízkých intenzitách osvětlení odpovídajících zataženému dni PV panel poskytl elektrickou energii pro dvoudenní činnost aplikace. V aplikacích s menším stupněm spolehlivosti lze dimenzovat PV panel na dodání energie pro celodenní činnost, popř. i méně.

DISKUSE

Domníváme se, že je výhodnější předimenzování PV panelu a následné omezení výkonu pomocí regulátoru, než předimenzování soustavy PV panelu a akumulátoru pro akumulaci el. energie na více dní. Vyšší investice do výkonnějšího PV panelu se vzhledem k vysoké životnosti (více než 20 let) rozdělí do nákladů na provoz více, než cena akumulátoru s vyšší kapacitou, jehož životnost je maximálně 5 let a poté je třeba jeho výměna. Navíc akumulace větší energie znamená i větší ztráty PV systému vzhledem k akumulaci účinnosti akumulátorů ($\eta_{aku} = 0,6 - 0,7$) a samovybití.

Pro správné řízení velikosti nabíjecího proudu v závislosti na stupni nabití akumulátoru je důležité stav nabití monitorovat. Stav nabití akumulátoru (olověného staničního, popř. startovacího) lze hodnotit podle hustoty elektrolytu (nejpřesnější ukazatel), svorkového napětí a částečně podle teploty elektrolytu. Teplota indikuje především konečnou fázi nabíjení, ovšem v průběhu nabíjení akumulátoru v PV systémech je zjišťování stavu nabití akumulátoru podle teploty obtížně realizovatelné a nepřesné. Údaj o teplotě by mohl mít pouze informativní charakter pro informaci o nežádáných stavech během nabíjení, pokud by teplota elektrolytu přesáhla 40 °C. Ze zbývajících možností je nejvýhodnější metoda měření svorkového napětí. Měření hustoty elektrolytu by bylo sice též realizovatelné, ale obtížněji reprodukovatelné pro řídicí jednotku. Bylo by též méně spolehlivé. Naproti tomu měření napětí pomocí A/D převodníku je spolehlivé a rychlé, (lze měřit prakticky nepřetržitě a v současnosti je to i levné řešení).

Požadované ustálení je v praxi nerealizovatelné, čímž vzniká určitá nepřesnost při stanovení stupně nabití. Především vlivem difúze iontů v elektrolytu je svorkové napětí při nabíjení vyšší, než je chemický potenciál akumulátoru v daném okamžiku. S tímto faktem je třeba počítat při návrhu solárního regulátoru. Pro přesné zjištění závislosti svorkového napětí na stupni nabití je třeba stano-



Obr. 6 Typické vybíjecí charakteristiky olověného akumulátoru (měřítka na vodorovné ose závisí na kapacitě akumulátoru)

vit v dostatečném počtu bodů nabíjecí a vybíjecí křivku. Pro přesné řízení nabíjení a ochranu proti hlubokému vybití je zjišťována průměrná hodnota vybíjecího proudu a podle tohoto údaje je sledována hodnota napětí akumulátoru na správné křivce charakteristiky. Typické závislosti svorkového napětí akumulátoru na čase vybíjení a velikosti vybíjecího proudu jsou na obr. 6. I přes určité nevýhody lze pomocí informace o svorkovém napětí akumulátoru kvalitně regulovat nabíjecí proud z PV panelu a dosáhnout tak dobrých výsledků v dlouhodobém provozu ostrovního PV systému.

Při nabíjení se pracovní bod na volt-ampérové charakteristice PV panelu pohybuje v blízkosti bodu maximálního výkonu, tzv. MPP (Maximum Power Point). Ovšem v celém rozsahu zatížení PV panelu a v rozsahu dopadající intenzity slunečního záření se tyto body více či méně vzdalují a PV panel tak není v některých případech plně vytížen, což vede ke zmenšení účinnosti celého PV systému. Pro dosažení maximálního výkonu z PV panelu se využívají regulátory nabíjení obsahující algoritmus udržující pracovní bod v blízkém okolí bodu MPP. Tento algoritmus se nazývá MPPT metoda (Maximum Power Point Tracking).

Regulátor obsahující MPPT algoritmus je též testován v rámci výzkumného záměru na TF ČZU v Praze a porovnání účinnosti tohoto regulátoru s regulátory pracujícími na principu nabíjení na „konstantní napětí“ a „konstantní proud“ hodláme publikovat v příštím článku.

ZÁVĚR

Výše popsané regulátory byly vyvinuty v naší laboratoři a jsou v současné době součástí ostrovního PV systému, na kterém je simulován autonomní provoz s definovanou denní spotřebou elektrické energie. V dosavadním provozu se dobře osvědčují.

Cílem výzkumu je stanovení spolehlivosti a účinnosti PV systému s tímto typem solárního regulátoru a stanovení el. energie, kterou může autonomní PV systém dodat napájené aplikaci za určitý časový interval (den, sezónu, rok apod.). Proto budou tyto regulátory nadále dlouhodobě sledovány v našem ostrovním PV systému a budou sbírána data při různých hodnotách zátěže a při různém počasí.

Práce probíhá v rámci výzkumného záměru MSM 6046070905.

Literatura

- [1] Mareš, J., Libra, M., *Testování solárního regulátoru v malém fotovoltaickém systému*, *Jemná mechanika a optika*, **52**, 10, (2007), str. 292 - 294
- [2] Mareš, J., Libra, M., *Dobíjení akumulátorů elektrické energie v ostrovních fotovoltaických solárních systémech*, *Jemná mechanika a optika*, **51**, 10, (2006), str. 274 - 276

Rozvojový program Dioptry a.s. Turnov

Hlavním výrobním programem Dioptry a.s. Turnov do současné doby byla výroba silikátových brýlových čoček. V prodejním sortimentu se Dioptra a.s. zaměřovala na prodej plastových brýlových čoček na základě spolupráce s firmou Hoya a silikátových brýlových čoček z vlastního výrobního programu.

Postupným útlumem prodeje silikátových brýlových čoček dochází k rozšiřování ostatních výrobních segmentů, a to hlavně o optické výrobky pro průmysl, lupy a svítidla a služby pro optiky.

Jednou z rozvojových výrobních oblastí je nanášení tenkých vrstev. Výrobní činnost je směřována na antireflexní vrstvy různých barevných odstínů pro brýlové čočky, na což vlastní naprašovací zařízení od fy BOC z Velké Británie. Zařízení je dosti specifické pro tuto oblast a jeho použití pro další skupiny výrobků je omezeno hlavně jejich velikostí.

V poslední době je zákazníky poptáváno nanášení různých typů tenkých vrstev na rozměrnější výrobky jako AR povlaky, filtry, zrcadla, různě propustné vrstvy apod.

Na základě těchto požadavků bylo rozhodnuto o zajištění nového moderního zařízení od fy PROVAC GmbH Liechtenstein typu Taurion 800, které bude uvedeno do provozu v průběhu letošního roku, viz obr. 1.

Jde o plně automatické, plasmové (PE-PDV) povlakovací zařízení, umožňující nanášet dielektrické a kysličníkové mnohavrstvé povlaky i za nízkých teplot. Toto unikátní průmyslově vyráběné zařízení využívá RF (radiofrekvenční) plasmu.

Na tomto zařízení bude možno vyrábět tenké vrstvy na povrchu optických prvků, které mají funkci protiodrazovou, filtrační i zrcadlovou.

Kapacita zařízení bude postupně naplňována požadavky zákazníků a tak Dioptra a.s. přispěje ke zvýšení technické úrovně dalších vyráběných výrobků nejen fy Dioptra, ale i ostatních našich odběratelů.

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



Konference Diffractive Optics 2007 Barcelona

Ve dnech 20. až 23. listopadu se na Fakultě fyziky Univerzity Barcelona uskutečnila další konference věnovaná jen a pouze různým aspektům difrakční optiky. Před zahájením samotné konference proběhl v úterý 20. listopadu celodenní workshop zaměřený na počítačové modelování a analýzu difrakční optiky.



Budova Fakultury fyziky Univerzity Barcelona je součástí rozsáhlého univerzitního kampusu

V počítačové učebně Fakultury fyziky bylo připraveno dvacet počítačů s nainstalovanou nejnovější verzí programu VirtualLab 3.5 (demo a příklady ke stažení na www.lightrans.com). Bohužel se hned po zahájení v devět hodin ráno ukázalo, že server nezvládá komunikaci se všemi počítači najednou s připojeným síťovým hardwarovým klíčem. Z dvaceti počítačů tak mohla najednou pracovat přibližně třetina, ostatní počítače se nacházely v různém stadiu zamrznutí. Tomu moc nepřidal ne úplně funkční dataprojektor, který se rozhodnul, že nebude zobrazovat červenou barvu. Účastníci workshopu tak byli částečně ochuzeni o vlastní podrobné praktické vyzkoušení modelování difrakčních optických prvků. Reálně to však nevedlo, neboť přednášející technický ředitel LightTrans, Dr. Hagen Schimmel, (v této firmě částečně spolupůsobí i prof. Frank Wyrowski) zvládnul výborně výklad i praktické ukázky modelování a analýzy různých difrakčních optických elementů s použitím metod jako například TEA, IFTA, LPIA. Na jaro 2008 připravují významná vylepšení, ať už softwarový balík zaměřený speciálně na mířky nebo rozšíření na analýzu prvků o rozměrech 10 000 x 10 000 bodů – samozřejmě jen na adekvátně výkonných pracovních stanicích.

Konference začala s malým zpožděním ve středu 21. listopadu uvítacím projevem Jari Terva a děkana Fakultury fyziky. Na konferenci se zaregistrovalo 125 účastníků z celého světa, kteří prezentovali výsledky své práce ve formě 45 ústních přednášek a 57 posterů rozdělených do dvou sekcí. Počet účastníků a prezentovaných prací byl nejvyšší v celé historii těchto akcí, které začaly dvěma

workshopy v Praze v letech 1992 a 1995 a pokračovaly první konferencí ve finské Savonlinně v roce 1997. V dvouletém intervalu následovaly německá Jena (1999), Budapešť (2001), Oxford (2003), Varšava (2005) až po letošní Barcelonu. Úvodním a hlavním přednášejícím byla rektorka Varšavské univerzity prof. Katarzyna Chalasinska-Macukow z Varšavské univerzity, která přehledně zhodnotila historii a současný stav difrakční optiky v příspěvku nazvaném „*New life*“ of diffractive optics.

Ze zvaných přednášek byly vynikající L. Li (Slanted lamellar gratings of arbitrary surface profiles in conical mounting: a new formulation). T. Levola (Wiewing images through gratings), R. Brunner (Practical aspect of diffractive and microoptical structures: Application for imaging systems and beam shaping) a mnohé další. Řada běžných přednášek a posterů měla vynikající úroveň, například M. S. Milán *Multiplexed diffractive lens for both longitudinal and transversal chromatic aberration compensation* a S. Ricciardi

Diffractive optical beamsplitter: application of the resonance properties of wavelength-scaled microcavity.

Česká účast byla velká, kdy sedm účastníků (nejsilněji FJFI ČVUT, dále ÚFE AV ČR, v.v.i., Optaglio, s.r.o., Policejní prezidium, VUT Brno) předneslo dva ústní příspěvky a představilo čtyři poster. Libor Kotačka (Optaglio) přednesl *Holography at 500.000 dpi: from Renaissance of portraits to holographic dust and Machine Readable Holographic Devices*. O den později Milan Květoň probíral *New theoretical model of a diffraction grating formation in photopolymer recording materials*.

Letošní konference Diffractive Optics ukázala další perspektivní možnosti a oblasti aplikací od mikrosvětla po nanosvět. Další konference bude v roce 2009.

Podrobnosti na konferenční stránce: <http://www.myeos.org/barcelona>.

Jan Pala

Kontakt: Mgr. Jan Pala, Ph.D., ÚFE AV ČR, v.v.i., Praha, mobil: 603 374 108, e-mail: pala@ufe.cz

CONTENTS

Formulas for intraocular lens power calculation

(M. Falhar) 35
This article summarises formulas used for calculation of intraocular lenses (IOL) power. A historical review is followed by a complete description of formula generations. The problems related to the calculation are discussed, i.e. using the cornea value K , determination of an effective lens position ELP in the dependency on the axial length, including local valid statistical inferences and an adaptation of the formulas to individual needs. Graphically presented formulas with tables can be selected for their best clinical use. The possible solution for future IOL applications with the flexible lens power is proposed.

Aspheric spectacle lenses (A. Mikš) 41
The theory of third-order aberrations of the system rotary symmetrical aspheric thin lenses and the relations for calculation of the shape rotary symmetrical aspheric spectacle lenses with zero astigmatism are stated. A comparison the possibility of the aspheric and spherical spectacle lenses is presented.

Educational chances in ophthalmic optics- optometry (S. Synek, S. Petrová) 44
This notification informs about different types of schools offering education in the fields of Eye Optics and Eye Optometry for students after their graduation from an elementary school or a high school.

Progress in optometry studies at the Palacky University in 2007 (J. Wagner, F. Pluháček) 46

New enhanced photovoltaic system at ČZU in Prague (V. Poulek, P. Bican, J. Mareš, M. Libra) 48

Fifty years from the founding of the Department of Precise Mechanics and Optics at the Technical University in Budapest (A. Ákos) 50

The Department of Precise Mechanics and Optics at the Technical University in Budapest was constituted fifty years ago. This only one Hungarian educational integrated university concept systematically

offers an education for technical, development, design and research engineers competent enough to solve efficiently the industrial tasks in the area of precise mechanics and optics in line with changes in the technical requirements and international expectations. The department staff recently participated in the large research activities and established relations with international scientific and professional communities, especially with the former Department of Precise Mechanics and Optics at the Technical University in Prague.

Technical calculation and measurement of a tunnel lighting equipment (P. Horňák) 51

prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc. - his sixty fifth birthday (J. Nevřala) 52

Environmental scanning electron microscopy and their application possibilities (V. Neděla, L. Roubalíková, F. Weyda) 53
Article is focused on environmental scanning electron microscopy as a universal method for investigation of insulating and water containing samples. Advantages of this microscopy method are demonstrated by experiments that study biological tissues of fossil insects embedded in amber or analyze morphological structure of root canal walls prepared by laser.

Key words: environmental scanning electron microscopy, AQUASEM II, amber, tissue of fossil insect, morphological analysis of root canal walls.

Secondary electron images in the scanning electron microscopes (I. Konvalina, I. Müllerová) 57

This article deals with the calculations of collection efficiency of the Everhart-Thornley detector in the different scanning electron microscopes. The effect of magnetic and electrostatic fields distribution in the chamber of microscope on the trajectories of the secondary electrons on the final image contrast is demonstrated for three detection systems.

Design and testing of solar controller in an island photovoltaic system (J. Mareš, M. Libra) 60

Development program of Dioptra Turnov (J. Karmášek) 63

Conference Diffractive Optics 2007 Barcelona (J. Pala) 63



IMEKO TC 2 Symposium on Photonics in Measurements 2008

Olympik Hotel, Prague, Czech Republic, August 25 – 26, 2008

Organized by Czech and Slovak Society for Photonics

Photonics has dramatically expanded and progressed in recent years. Photonics technologies and solutions are widely implemented in measuring and testing because of their flexibility, reliability and contact-less nature. The 18th IMEKO TC 2 Symposium on Photonics in Measurements 2008 will summarise the impact and contribution of Photonics to the field of measurements.

PROGRAM COMMITTEE

Miloš Klíma (Czech Republic) – Chair, klima@fel.cvut.cz

Armando Albertazzi Gonçalves, Jr (Brazil)

Petr Balling (Czech Republic)

Jan Brouček (Czech Republic)

Brian Culshaw (United Kingdom)

Christophe Gorecki (France)

Steffen Görlich (Germany)

Keneth T.V. Grattan (United Kingdom)

Patrick Guillaume (Belgium)

Fow-Sen Choa (USA)

Yuri V. Chugui (Russia)

Shangzhong Jin (People's Republic of China)

Gerd Jäger (Germany)

Bernard Journet (France)

Claus Keferstein (Switzerland)

Emil Košťál (Czech Republic)

Maciej Kucharski (Czech Republic)

Gerhard Linß (Germany)

Peter Nemeček (Slovak Republic)

Wolfgang Osten (Germany)

Tilo Pfeifer (Germany)

Pramod K. Rastogi (Switzerland)

Enrico Savio (Italy)

János Schanda (Hungaria)

Marek Šmíd (Czech Republic)

Hans J. Tiziani (Germany)

Rainer Tutsch (Germany)

František Uherek (Slovak Republic)

Steve Vanlanduit (Belgium)

Boxiong Wang (People's Republic of China)

ORGANIZING COMMITTEE

Miroslav Jedlička – Chair, jedlickam@volny.cz

Miloš Klíma

Emil Košťál

Maciej Kucharski

Petr Páta

Pavel Tománek

Milena Zeithamlová

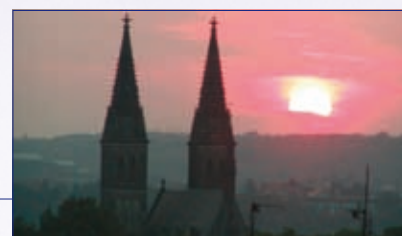
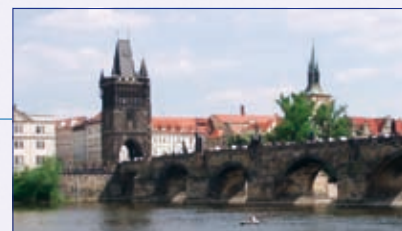
SYMPOSIUM TOPICS

1. Interferometry & Optical Testing Techniques
2. Development of Optical Measurement Systems
3. Optical Measurement in Micro – and Nanotechnologies
4. Image Processing and Simulation
5. Optoelectronic Sensor-Technologies and Light Sources
6. Applications for optical 1D and 2D sensors
7. Fiber Optical Sensors
8. Structured Illumination Techniques
9. Spectroscopy and Scattering Techniques

SYMPOSIUM DATE

IMEKO TC 2 Symposium 2008

August 25 – 26, 2008



REGISTRATION, ACCOMMODATION

Milena Zeithamlova
Action M Agency, Czech Republic
milena@action-m.com

REGISTRATION, REGISTRATION FEE, PAYMENT, CANCELLATION, ACCOMMODATION, SOCIAL PROGRAM

All relevant up-to-date information can be found on

<http://imekotc2.photon-czsk.org>
<http://prague2008.photon-czsk.org>

IMPORTANT DATES

Abstract Submission	April 4, 2008
Notification of Acceptance	May 5, 2008
Manuscript due Date	June 2, 2008
Early Registration	June 13, 2008
Accommodation Deadline	July 4, 2008
Cancellation of Registration and Accommodation	August 4, 2008
Late Registration	August 19, 2008

PHOTONICS PRAGUE 2008

The 6th international Conference on Photonics, Devices and Systems
August 27 – 29, 2008, Olympik Hotel, Prague, Czech Republic



Organized by Czech and Slovak Society for Photonics

PHOTONICS PRAGUE 2008 is the sixth conference in a series organised by the Czech and Slovak Society for Photonics (CSSF). It follows the national meeting in Olomouc (1992) and four International conferences in Prague (1995, 1999, 2002, 2005).

PROGRAM COMMITTEE

Pavel Tománek (Czech Republic) – Chair, ph2008@photon-czsk.org

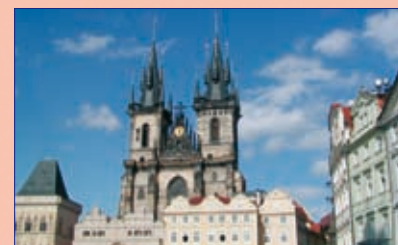
Peter Andersen (Denmark)
Oleg V. Angelsky (Ukraine)
Jose Luis Arce-Diego (Spain)
Mario Bertolotti (Italy)
Joseph Braat (The Netherlands)
Hyungsek Cho (Korea)
Jiří Čtyroký (Czech Republic)
Brian Culshaw (United Kingdom)
Chris Dainty (Ireland)
Ivan Glesk (USA)
Jiří Homola (Czech Republic)
Jean-Pierre Huignard (France)

Helena Jelínková (Czech Republic)
Satoshi Kawata (Japan)
Vladimir V. Kocharovskiy (Russia)
Jaroslav Kováč (Slovakia)
Malgorzata Kujawinska (Poland)
Roberto Morandotti (Canada)
Juergen Popp (Germany)
Reinhart Poprawe (Germany)
Wolfgang Schleich (Germany)
Dagmar Senderáková (Slovakia)
Irina Sorokina (Norway)
Pavel Tománek (Czech Republic)

Theo Tschudi (Germany)
Hugo Thienpont (Belgium)
Pavel Zemánek (Czech Republic)
Xing Zhu (China)

CONFERENCE TOPICS

1. Lasers and Photodetectors in Industry, Imaging and Sensors
2. Lasers for Medical Applications
3. Photonic Biosensors
4. Design, Simulation and of Photonic Devices
5. Photonic Crystals and Photonic Bandgap Structures
6. Diffractive Photonic Devices
7. Guided Wave Photonics
8. Organic Photonic Materials and Devices
9. Non-linear Materials, Devices and Applications
10. Photonics in Multimedia
11. Nanophotonic and Nanooptics
12. Solid State Lighting + LED, LD, OLED
13. Education in Photonics



CONFERENCE DATE

Photonics Prague 2008 August 27 – 29, 2008

CONFERENCE SITE

Hotel Olympik, Sokolovská 138, Prague 8, Czech Republic, <http://www.olympik.cz>

Organizers are pleased to welcome everybody interested in photonics research to the Czech capital, Prague, „city of a hundred spires“.

ABSTRACT SUBMISSIONS

Abstract submissions must normally be made online via the Abstract submission system. An abstract should not exceed 200 words and to facilitate the reviewing process should contain: title of the abstract, full names of author(s), appropriate affiliations, address, and e-mail address of principal (contact) author, number of selected topic, preferred type of presentation (oral/poster), 3 keywords. Abstracts will be subject to review by members of the Program Committee and will appear in the Book of Abstracts issued in a volume with ISBN code.

PAPER SUBMISSION

Authors will be notified of acceptance not later than May 5, 2008, together with guidelines for preparation of camera-ready manuscripts. The camera-ready papers should be submitted before June 2, 2008 for refereeing. Selected papers will be issued. The length of your paper will be 6 pages.