

11 - 12
2007

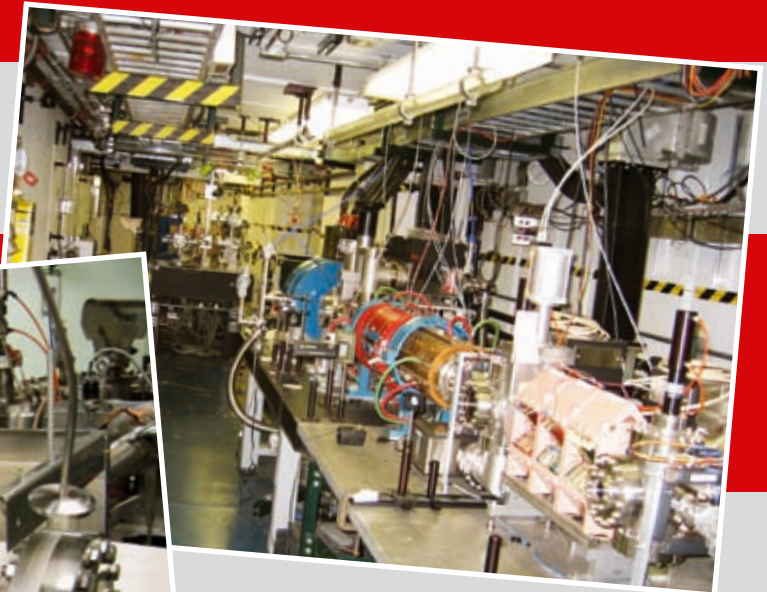
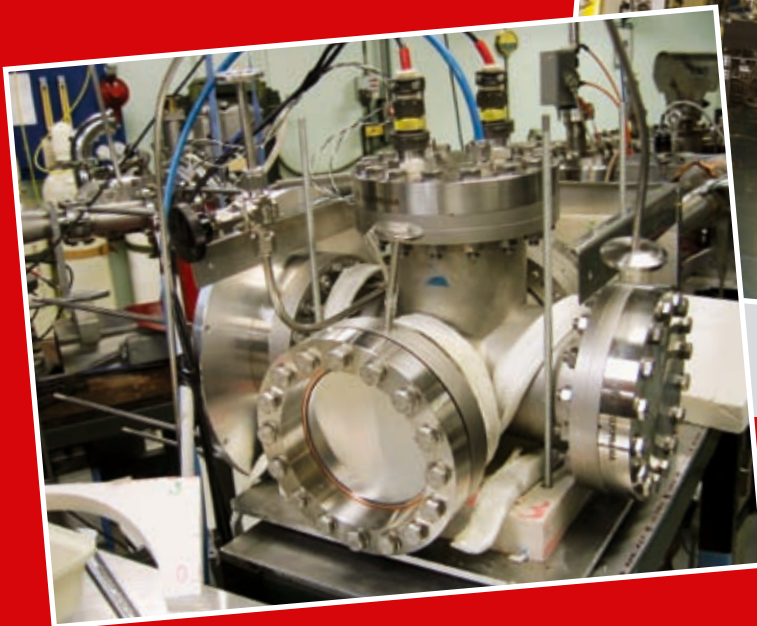
JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA
FINE MECHANICS AND OPTICS

Měření fluorescenčního zisku vzduchu projektem AIRFLY (viz str. 330)

AIRFLY

■ **Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Olomouc**





BOHEMIA MACHINE s. r. o., Zámecká 1177
Světlá nad Sázavou 582 91

15. VÝROČÍ BM s. r. o.



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 2007

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 52 11 - 12/2007

OBSAH

Srovnání kontaktního a optického měření povrchu laserem natavených vrstev (H. Chmelíčková, H. Lapšanská, H. Hiklová, M. Havelková)..... 307

Výukové kurzy optických měřicích metod pro detekci vibrací a nedestruktivní testování na Universitě Politecnica delle Marche (P. Šmíd, P. Horváth)..... 311

Použití snímačů tlaku v hydraulickém obvodu pro sledování průchodnosti materiálu (J. Mašek, P. Heřmánek, P. Procházka)..... 314

Měření objemového otěru polyetylenu u extrahovaných náhrad kolenního kloubu (V. Havránek, J. Gallo)..... 316

Simulační program Geant4 a jeho uplatnění pro potřeby Společné laboratoře optiky (L. Nožka, A. Kočnar)..... 321

Měření impedance (J. Krejčí)..... 326

Měřicí stroje se značkou WENZEL (Č. Nenáhlo)..... 329

Měření fluorescenčního zisku vzduchu projektem AIRFLY (L. Nožka)..... 330

Laboratorní měření průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem (F. Kumhála, M. Kroulík, V. Prošek)..... 331

Určenie tvaru ohybového kmitania vzorky s konštantným prierezom (G. Varga, I. Štubňa, A. Vážanová, R. Podoba, A. Trník)..... 334

Bohemia Machine slavila 15. výročí v novém (J. Trtík)..... 337

Z dílny starých mistrů..... 338

Doc. Ing. Martin Libra, CSc. slaví životní jubileum (J. Nevřala)..... 339

Z technické knihovny (J. Nevřala)..... 339

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 80 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), 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 MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Dagmar SENDEŘÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STUDENOVSKÝ - Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Anton ŠTRBA - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.),

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

FINE MECHANICS AND OPTICS

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

Director of Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic: 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 2007

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 52 11 - 12/2007

CONTENTS

Comparison of contact and optical measuring of laser remelting layers (H. Chmelíčková, H. Lapšanská, H. Hiklová, M. Havelková)..... 307

Study courses on optical measurement methods for vibration detection and nondestructive testing at Università Politecnica delle Matche (P. Šmíd, P. Horváth)..... 311

Application of pressure sensors in hydraulic circuits for material feed rate monitoring (J. Mašek, P. Heřmánek, P. Procházka)..... 314

Measurement of the polyethylene liner wear of the extracted total knee substitute (V. Havránek, J. Gallo)..... 316

Simulation code Geant4 and its usage for needs of the Joint Laboratory of Optics (L. Nožka, A. Kočnar)..... 321

Impedance measurement (J. Krejčí)..... 326

Measuring machines of trademark WENZEL (Č. Nenáhlo)..... 329

Air fluorescent gain measured by AIRFLY project (L. Nožka)..... 330

Mowing machine material feed rate measurement under laboratory conditions (F. Kumhála, M. Kroulík, V. Prošek)..... 331

Determination of the vibrating flexural mode of the sample with uniform cross-section (G. Varga, I. Štubňa, A. Vážanová, R. Podoba, A. Trník)..... 334

Bohemia Machine has celebrated its 15th anniversary in new (J. Trtík)..... 337

Doc. Ing. Martin Libra, CSc. celebrates his jubilee (J. Nevřala)..... 339

From technical library (J. Nevřala)..... 339

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: 80 Kč incl. VAT

Srovnání kontaktního a optického měření povrchu laserem natavených vrstev

Jednou z mnoha aplikací pulsního Nd:YAG laseru je přetavování tenkých nitridových vrstev, nanesených metodou PVD (Physical Vapor Deposition) na ocelové substráty. Očekávaným výsledkem je snížení porosity vrstev a zvýšení adheze k základnímu materiálu. Pro optimalizaci parametrů procesu byla provedena řada experimentů s proměnnou energií, délkou a frekvencí pulsu a v různých vzdálenostech povrchu vzorku od ohniska. Se zvyšující se hustotou plošné energie laserového svazku dochází k vypařování základního materiálu a trhlinám ve vrstvách. Proto je důležitá následná analýza, která byla provedena moderními metodami: laserovou konfokální mikroskopií a snímáním povrchu na kontaktním profilometru Talysurf. Získaná data převádí počítačové programy na plošná a prostorová zobrazení v různých modifikacích – profily, kontury, fotosimulace apod.

Klíčová slova: PVD – vrstvy, laser, přetavování, konfokální laserová mikroskopie, induktivní profilometr

1. ÚVOD

Průmyslové lasery jsou známy jako univerzální nástroje pro zpracování nejrůznějších materiálů, kovů i nekovů [1]. Rezáni a vrtání vyžadují malé průměry svazku 0,1 mm - 0,2 mm s nízkou divergencí a vysokou hustotou výkonu k natavení materiálu v úzké a hluboké řezné spáře. Naopak povrchové zpracování vyžaduje k vytvoření hladké a tenké vrstvy rovnoměrné rozložení intenzity výkonu v 2 mm - 3 mm široké laserové stopě [2]. K přetavení tenkých nitridových vrstev různého chemického složení – CrAlSiN, TiN, TiAlSiN a TiAlN - byl použit pulsní Nd:YAG laser se záměrem vytvořit vzorky se změněnou strukturou povrchu pro nové diagnostické metody – nekontaktní laserovou konfokální mikroskopií (LCM) nebo kontaktní induktivní profilometrií. LCM je nová metoda vyhodnocení struktury hmoty a povrchů, provedena byla ve spolupráci katedry materiálu a strojírenského inženýrství Fakulty strojní a Výzkumného centra nových technologií ZČU v Plzni. Laser s vlnovou délkou 408 nm zvyšuje rozlišovací schopnost pod 10 nm s maximálním zvětšením 14400 x. Na rozdíl od elektronové mikroskopie není potřeba na vzorky nanášet vodivou vrstvu, jejich příprava je velmi jednoduchá. Konfokální mód umožňuje vytvářet obrazy s větší hloubkou ostrosti a software vytváří 3D model povrchu včetně možnosti přímého měření v reálném prostoru. LCM má proto možnost využití v mnoha vědeckých oborech – elektronice, medicíně, biologii, materiálovém inženýrství a mnoha dalších. Dále nalezne využití ve studiu keramiky, kovů, plastů, textilií, papíru, skla nebo pevných živých tkání. Kontrola kvality povrchu kontaktní metodou se provádí přístrojem Form TALYSURF serie 2 v laboratořích SLO UP a FZÚ AV ČR v Olomouci, jehož hrot se pohybuje po povrchu a snímá vertikální souřadnici pro vytvoření 2D profilu. Měření je možné ve třech rozsazích s rozlišením 16 nm, 3 nm a 0,6 nm. Pomocí Ultra software je získáno velké množství přesných 2D dat. Měření profilu v rovnoběžných směrech v ose Y s intervalem 1 μm jsou zpracována na prostorové zobrazení. Data jsou analyzována softwarem TALYMAP, který umožňuje získat barevné foto-realistické obrazy, axonometrické projekce, konturové diagramy a další.

2. CHARAKTERISTIKA PVD VRSTEV

Všechny zkoumané nitridové vrstvy byly vyrobeny ekologicky šetrnou metodou PVD (Physical Vapor Deposition). Výhodami PV depozice jsou vysoká odolnost vrstev, nízký koeficient tření,

možnost vytvořit velké množství různých druhů (kombinací) vrstev, jejich malá a snadno reprodukovatelná tloušťka, možnost tvorby přesných tloušťek vrstev. Nejčastější metody pro vytváření tenkých vrstev jsou nízkonapěťové reaktivní obloukové odpařování ve vakuu a magnetronové naprašování. Vlastnosti vrstev (jako jsou např. tvrdost, struktura, chemická a teplotní stabilita, adheze) mohou být během procesu přesně kontrolovány. Pro svoje jedinečné vlastnosti, jako je vysoká tvrdost, odolnost vůči abrazivnímu, adhezivnímu, oxidačnímu a korozivnímu opotřebení, mají PVD vrstvy širokou oblast použití např., depozice na řezné a tvářecí nástroje. Dále se díky své chemické inertnosti PVD vrstvy používají v potravinářských a lékařských technologiích. U zkoumaných vrstev byla provedena analýza jejich chemického složení metodou GD-OES. Vrstvy TiN, TiAlSiN a CrAlSiN jsou monovrstvy, vrstva TiAlN je multivrstva, tzn. že tato vrstva se skládá z jednotlivých střídajících se vrstviček TiAlN. Multivrstvy mají oproti monovrstvám větší odolnost vůči porušování, zvláště vůči šíření trhlin. Všechny testované vrstvy byly deponovány na ocelové substráty o průměru 24 mm a tloušťce 6 mm (ČSN 12 050), které byly pro zvýšení tvrdosti zakaleny.

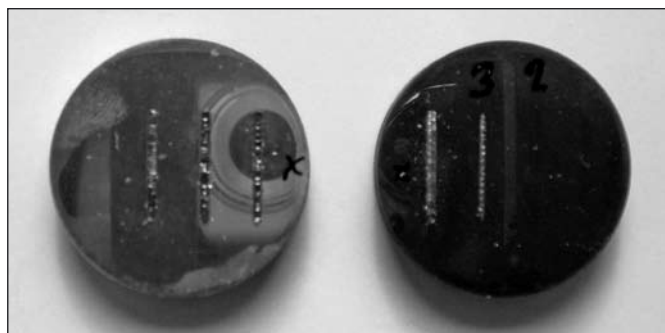
3. OPTIMALIZACE PARAMETRŮ PROCESU

Na základě teoretických výpočtů byla navržena tabulka parametrů procesu (*obr. 1*) s předpokládaným ohřevem povrchu vzorku na 1400 °C, 1000 °C, 700 °C a 400 °C. Rozhodující veličinou je rozdílná absorpce záření povrchem materiálu, dalšími proměnnými jsou délka pulsu t [ms], napětí čerpací výbojky U [V], průměr svazku na povrchu materiálu d [mm], vzdálenost od ohniska Z [mm], frekvence pulsů f [Hz], energie pulsu E [J] a průměrný výkon P [W]. Multimodový laserový svazek s parametrem kvality BPP (součin průměru svazku a jeho divergence) = 88 mm.rad a vlnové délce 1064 nm je fokusován čočkou s ohniskovou vzdáleností $F = 100$ mm na průměr 0,6 mm v ohniskové rovině [3]. K dosažení široké stopy s přibližně rovnoměrným rozložením intenzity energie je potřeba umístit vzorky do vzdálenosti 13 mm až 20 mm od ohniska, kde svazek diverguje na průměr 2 mm – 3 mm.

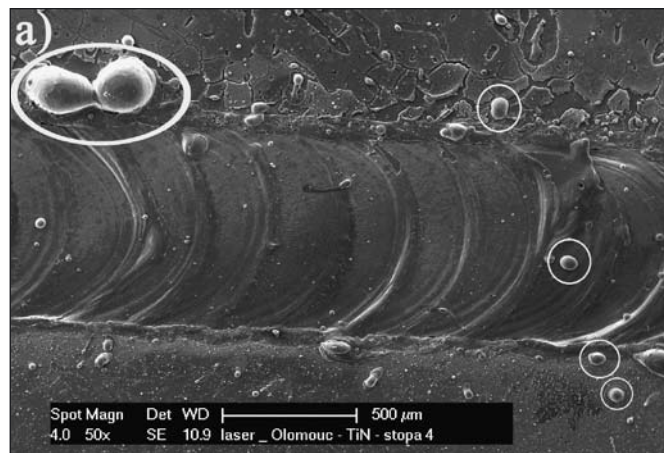
Plošná hustota energie teoretická byla přepočítána na reálnou hodnotu podle absorpce příslušného povrchu. Přejezdy o délce 12 mm a intervalu 6 mm byly vytvořeny na každém vzorku pro každou hodnotu teploty (*obr. 2*). Rychlost posuvu XYZ stolku byla vypočtena pro 75 % překrytí laserových stop.

vrstva substrát	absorpce 1064 nm	číslo stopy	Parametry procesu						
			t [ms]	d [mm]	Z [mm]	E [J]	Q_{Eteor} [J/cm ²]	Q_{Ereal} [J/cm ²]	P [W]
A3 CrAlSiN on CSN 12050	0,835	1	4	3	20	2,8	40	33	28,3
		2	7,3	3	20	6,4	91	76	63,7
		3	5,4	2	13	4,1	131	109	61,7
		4	6	2	13	5,4	172	144	80,9
B1 TiN on CSN 12050	0,27	1	8	2	13	5,9	188	51	87,8
		2	8	1,5	9	6	364	98	122
		3	9	1,5	9	8,1	491	133	163
		4	6,4	1	6	5,2	584	158	155
C2 TiAlSiN on CSN 12050	0,77	1	5	3	20	3,7	53	40	36,9
		2	3	2	13	2,2	70	54	32,4
		3	6,3	2	13	4,7	150	115	70,3
		4	7	2	13	6,4	204	157	96,4
D3 TiAlN on CSN 12050	0,625	1	7	3	20	5	71	44	50,2
		2	4,5	2	13	3,4	108	68	50,7
		3	5,3	2	13	4,9	156	98	73,5
		4	6	1,5	9	6,7	406	254	94,3

Obr. 1 Pracovní parametry laseru



Obr. 2 Vzorok s vrstvami TiN a TiAlSiN



Obr. 3 SEM zobrazení TiN vrstvy při teplotě $T = 1400\text{ °C}$

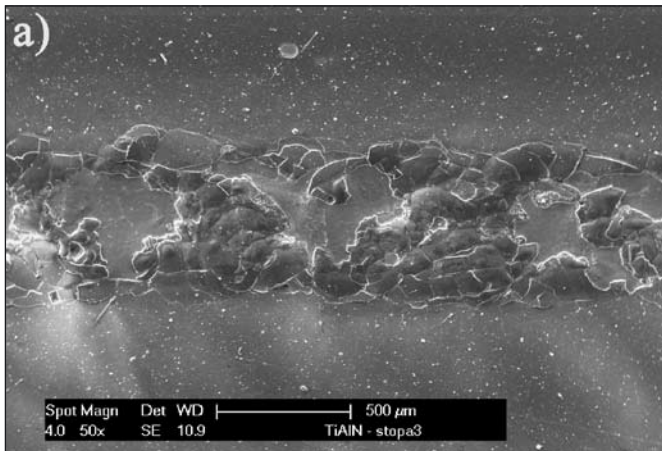
4. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

4.1. Stopa 4 - teoreticky vypočítaná teplota na povrchu vrstvy 1400 °C

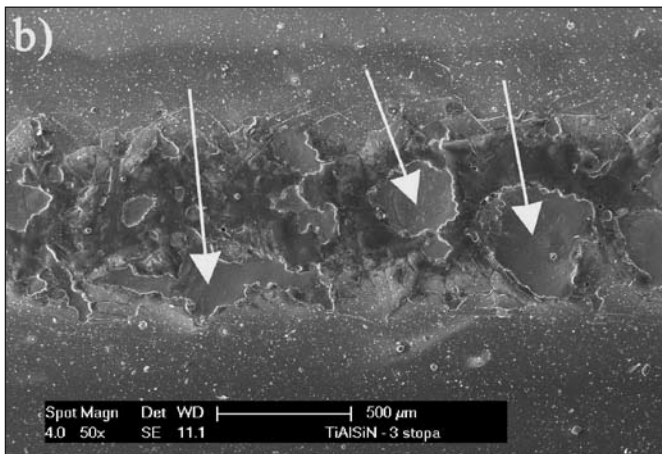
Při hustotě energie laserového svazku intervalu 150 – 250 J.cm⁻², který ohřál povrch vzorku na teoreticky vypočtenou teplotu 1400 °C, došlo u všech zkoumaných vrstev k úplnému odstranění vrstev v důsledku jejich roztavení a následného odpaření. Tím došlo k odkrytí substrátu v celé šířce laserové stopy, který byl také nataven. Tato skutečnost byla prokázána pomocí EDX analýz provedených v laserových stopách. Z obr. 3 je patrné, že laserová stopa je složena z roztavených segmentů odpovídajících jednotlivým laserovým pulsům, čímž došlo k vytvoření jamkovité morfologie stopy. Tato morfologie je charakterizována vytlačněním roztavené taveniny tvořené substrátem a zbytkem vrstvy na okraj každého laserového spotu, kde následně došlo k ztuhnutí taveniny. Na okrajích překryvů laserových spotů byly EDX analýzou detekovány všechny prvky obsažené ve vrstvě, kromě hliníku (u vrstev obsahujících hliník). Z toho vyplývá, že při laserovém ohřevu došlo jen k částečnému odpaření vrstvy, zbytek roztavené vrstvy se promísil s roztaveným substrátem za vzniku směsné taveniny [4].

4.2. Stopa 3 - teoreticky vypočítaná teplota na povrchu vrstvy 1 000 °C

V důsledku nízké teplotní odolnosti došlo u vrstvy TiN k jejímu vypaření a k odhalení substrátu při plošné hustotě výkonu 133 J.cm⁻². Charakter povrchového poškození vrstev TiAlN a TiAlSiN je podobný (obr. 4 a,b) a je důkazem dobré odolnosti těchto typů vrstev vůči vysokoteplotním rázovým šokům oproti vrstvě CrAlSiN při stejné hodnotě hustoty výkonu přibližně 100 J.cm⁻². Přesto došlo vlivem teplotních rázových šoků u těchto vrstev k jejich lokálnímu poškození - delaminaci. U vrstvy TiAlSiN došlo k lokální delaminaci celé tloušťky vrstvy a k odhalení substrátu. V místech, kde zůstala vrstva zachována, byl zjištěn značný úbytek křemíku. Změna obsahu křemíku byla pravděpodobně způsobena jeho difúzí do substrátu. U vrstvy TiAlN nedošlo v žádném místě stopy k odhalení substrátu, delaminace nastala jen u svrchní části vrstvy – zbytek vrstvy zůstal pevně adhezivně spojen se substrátem.



Obr. 4a SEM zobrazení TiAlN vrstvy při teplotě $T = 1000\text{ °C}$



Obr. 4b SEM zobrazení TiAlSiN vrstvy při teplotě $T = 1000\text{ °C}$

Toto zjištění je v souladu se strukturou vrstvy TiAlN jako multivrstvy, kdy se jednotlivé vrstvy TiAlN střídají, v důsledku čehož probíhá delaminace celé tloušťky vrstvy jen velmi obtížně. Z toho je patrné, že multivrstvené systémy lépe odolávají teplotním rázům než monovrstvené systémy vrstev. Značná teplotní pnutí při ohřevu a chladnutí vyvolala „rozlámání“ vrstvy CrAlSiN na jemné fragmenty. Dekoheze nastala jen ve svrchní části vrstvy. Pod dekohezně narušenou vrstvou byla zjištěna souvislá neporušená vrstva CrAlSiN s velmi nízkým obsahem křemíku, neboť křemík, podobně jako u vrstvy TiAlSiN, patrně difundoval do substrátu. Průchodem par vzniklých vypařováním substrátu a vrstvy došlo u vrstev TiAlSiN, TiAlN a CrAlSiN ke zvýšení pórovitosti těchto vrstev v oblasti laserových stop. Tento jev je zvláště patrný v místech, kde došlo k zeslabení tloušťky vrstvy v důsledku její delaminace nebo lokálního odpaření.

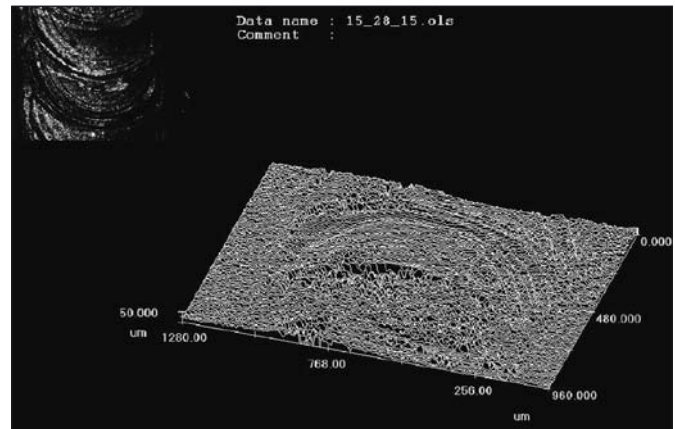
4.3. Stopa 2 – teoretická vypočtená teplota na povrchu vrstvy 700 °C

U vrstvy TiN došlo k teplotnímu poškození vrstvy a k celkovému odhalení substrátu, použitá hustota energie $98\text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ je příliš vysoká. U vrstvy TiAlSiN vznikly uprostřed laserových stop v důsledku teplotních rázů a následných teplotních pnutí trhliny, které jsou vzájemně propojeny. Výskyt těchto trhlín odpovídá rozložení teplotních pnutí na povrchu vzorku, neboť uprostřed laserové stopy jsou během ohřevu a chladnutí přítomny nejnepříznivější tahově-tlaková pnutí. V místech, kde došlo k odhalení substrátu, byl zjištěn značný úbytek křemíku. Obsah křemíku byl výrazně nižší, než jaký je v teplotně neovlivněném substrátu. Toto zjištění vede k domněnce, že vlivem teplotního rázu došlo k intenzivní difuzi křemíku směrem z povrchu substrátu dovnitř substrátu a to

i přes to, že zahřátí substrátu proběhlo jen na nižší teplotu, takže podmínky pro difuzi byly značně ztíženy. U vrstvy TiAlN došlo vlivem laserového ohřevu pouze ke zvýšení povrchové drsnosti. U této vrstvy nebyla zjištěna tvorba trhlín jako v případě vrstvy TiAlSiN. Z toho vyplývá, že vrstva TiAlN lépe odolává teplotním rázům a případná teplotní pnutí dokáže tato vrstva, oproti vrstvě TiAlSiN, lépe absorbovat. U vrstvy CrAlSiN došlo také v důsledku teplotního ohřevu ke zvýšení drsnosti povrchu, žádné trhliny ale zjištěny nebyly. Při teoreticky vypočítané teplotě 400 °C nedošlo k natažení vrstev, pouze k tepelnému ovlivnění.

5. LASEROVÁ KONFOKÁLNÍ MIKROSKOPIE

Pro měření laserových stop bylo s výhodou využito mikroskopického pozorování konfokálními mikroskopem Olympus LEXT, který používá jako světelného zdroje laserový paprsek o vlnové délce 408 nm . Pomocí tohoto mikroskopu byly provedeny 3D prostorové rekonstrukce laserových stop a dále byly bezdotykově zjišťovány povrchové charakteristiky stop, především jejich drsnosti. Hlavní a zásadní výhodou konfokální mikroskopie je možnost prostorové rekonstrukce mikroskopických objektů, která se vytvoří z několika desítek až stovek optických řezů jedním objektem, postupně snímaných při plynule se měnící hloubce zaostření (obr. 5). Těto významné vlastnosti konfokálního mikroskopu lze s výhodou využít zejména při sledování povrchových vlastností materiálů, tzn. povrchové morfologie, povrchových defektů, indentačních zkoušek, stop opotřebení při různých materiálových zkouškách [5]. Rozsah zvětšení laserového konfokálního mikroskopu Olympus LEXT se pohybuje od $120\times$ do $14\,400\times$ s rozlišením $0,12\text{ }\mu\text{m}$. Na rozdíl od řádkovacího elektronového mikroskopu není potřeba žádné vakuové komory, neboť vzorky se umísťují přímo na mikroskopický stolek. Vzorek nemusí být vodivý a nedochází u něho k jeho degradaci tak, jako u elektronového mikroskopu vlivem elektronového svazku. Výhodou oproti řádkovací elektronové mikroskopii je také možnost pozorovat zkoumaný objekt ve skutečných barvách, neboť LEXT je první systém, který umožňuje získat simultánní zobrazení vzorků ve skutečných barvách tím, že kombinuje laserové 3D zobrazení s plnobarevným zobrazením ve světlém poli.

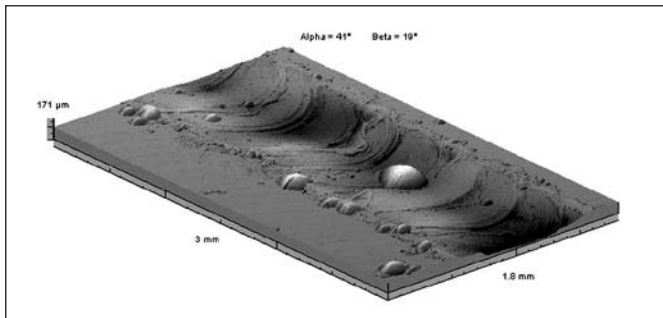


Obr. 5 Rekonstrukce laserové stopy TiN pro $T = 700\text{ °C}$ pomocí LCM

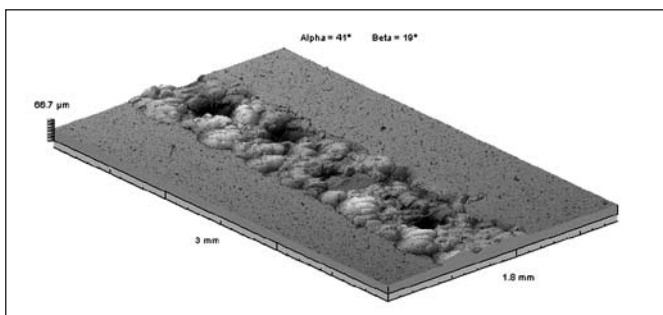
6. KONTAKTNÍ INDUKTIVNÍ PROFILOMETR

Laserem přetavené vrstvy byly zkoumány také kontaktní metodou – mechanickým induktivním profilometrem TALYSURF, který představuje hardwarový a zároveň softwarový nástroj pro kontaktní induktivní měření tvaru, vlnitosti a drsnosti povrchů. Tlak snímacího hrotu je tak malý, že nedošlo k mechanickému poškození vrstev [6]. Byla vybrána oblast o rozloze $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ přibližně uprostřed každé laserové stopy. Bylo zvoleno vertikální rozlišení 16 nm s rozsahem $0,8\text{ mm}$, minimální krok snímání $1\text{ }\mu\text{m}$ v ose X a $5\text{ }\mu\text{m}$ v ose Y , které zajistí dostatečné množství dat. Pro každou stopu byly vytvořeny axonometrické projekce (obr. 6), na kterých

jsou zřejmé krátery po laserových pulzech a částice odtavené směsi vrstvy a substrátu na okrajích stop, obraz je doplněn stupnicí ve všech osách. Na barevných foto-simulacích (obr. 7) je výška profilu znázorněna podle barevné škály, lze z nich odvodit barevný nebo černobílý konturový diagram (obr. 8), nebo z vybraného řezu vytvořit 2D profil, obvykle volíme příčný a podélný.



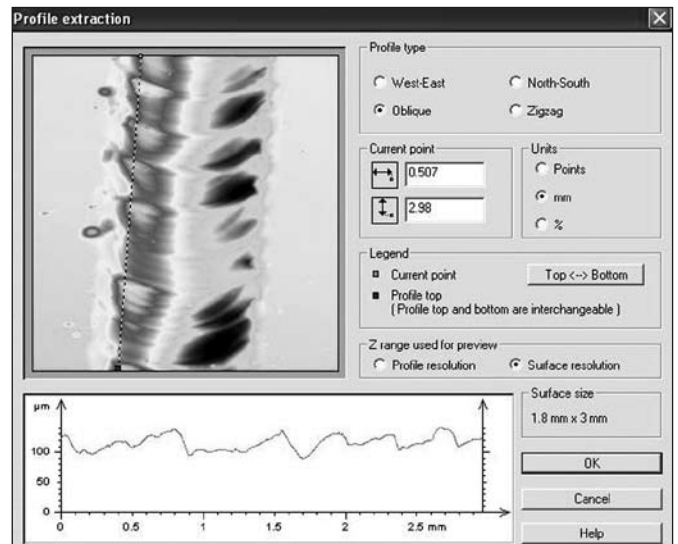
Obr. 6 Axonometrická projekce stopy TiN při teplotě $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 7 Fotosimulace stopy TiAlN pro teplotu $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ s podélným profilem

7. ZÁVĚR

Obě nové metody, jak nekontaktní laserová konfokální mikroskopie, tak kontaktní induktivní profilometrie, se ukázaly jako vhodné nástroje pro měření profilu povrchů laserem přetavených stop se srovnatelnou rozlišovací schopností $1\text{ }\mu\text{m}$. Vzorky není nutno pro měření nijak upravovat a nedochází k jejich mechanickému poškození. Ze získaných dat je možno díky kvalitnímu software vytvářet nejrůznější plošná i prostorová zobrazení profilu povrchu, od reálného zobrazení po grafické průběhy profilu v libovolném řezu. Výsledky budou použity k posouzení vhodnosti navržených pracovních parametrů laseru, které se v některých případech ukázaly být příliš vysoké.



Obr. 8 Konturový diagram stopy TiAlN pro teplotu $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

Poděkování

Práce byla vytvořena za podpory Projektu AV ČR č. KAN 301370701 a Projektu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. FI-IM2/054.

Literatura

- [1] IFFLANDER, R.: *Solid-State Lasers for Material Processing*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001
- [2] READY, J. F.: *LIA Handbook of Laser Materials Processing*. Laser Institute of America. Orlando FL, 2001
- [3] LASAG, *Operating instruction for KLS 246-102*, LASAG AG, Thun 1999
- [4] SCHAAF, P.: *Laser nitriding of metals*, Progress in Materials Science 47, Pergamon, 2002.
- [5] VIKOVÁ, M., VIK, M. *Využití konfokální mikroskopie v materiálovém výzkumu*, Textile v novém tisíciletí, 2006.
- [6] HAVELKOVÁ, M., HIKLOVÁ, H., VOJTĚCHOVSKÁ, J.: *Topografie povrchu pevných těles pomocí přístroje Form Talysurf*. Jemná mechanika a optika 7-8 (2006) 217-220.
- [7] CHMELÍČKOVÁ, H., HIKLOVÁ, H., HAVELKOVÁ, M., LAPŠANSKÁ, H., MEDLÍN, R., BENEŠ, P.: *Optical and contact non-destructive measurement of the laser remelting layers*. In OSTEN, W.; GORECKI, Ch.; NOVAK, E. L. (eds.) *Optical measurement systems for industrial inspection V*: Munich, Germany, 18-22 June, 2007. Washington: SPIE Vol. 6616, 2007, s. 661640-1 – 661640-8

RNDr. Hana CHMELÍČKOVÁ, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 516, e-mail: hana.chmelickova@upol.cz

Mgr. Hana LAPŠANSKÁ, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 634 284, e-mail: hana.lapsanska@upol.cz

RNDr. Helena HIKLOVÁ, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 506, e-mail: helena.hiklova@upol.cz

Mgr. Martina HAVELKOVÁ, Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 506, e-mail: martina.havelkova@upol.cz

Výukové kurzy optických měřicích metod pro detekci vibrací a nedestruktivní testování na Università Politecnica delle Marche (4. - 5. října 2007, Ancona, Itálie)

Ve starobylém italském přístavním městě Ancona, ležícím u Jaderského moře, hostila ve dnech 4. a 5. října 2007 místní Univerzita Politecnica delle Marche mladé vědce a inženýry ze všech koutů světa, mimo jiné z Itálie, Německa, České republiky, Spojených států amerických a Brazílie. Na fakultě strojní se zde konaly výukové kurzy, jejichž účelem bylo seznámit účastníky s různými optickými metodami pro měření vibrací těles a nedestruktivní testování, a to jak teoreticky, tak pomocí praktických prezentací v laboratořích. Českou republiku zde zastupovali dva pracovníci Společné laboratoře optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky v Olomouci, Pavel Horváth jako zástupce Univerzity Palackého a Petr Šmíd z Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR.



Obr. 1 Panoramatický pohled na historickou část a přístav města Ancona

Ancona (z řeckého Ankon) je hlavní město oblasti Marche a provincie Ancona. Město (obr. 1) se nachází ve střední části italského východního pobřeží, jižně od San Marina. Nedaleko, v dosahu 300 km, lze nalézt další italská historická města, severně Benátky, západně Florencii a jihozápadně Řím. Do Ancony lze



Obr. 2 Pohled na jednu z budov Fakulty strojní Università Politecnica delle Marche v italské Anconě

docestovat všemi dostupnými způsoby, autem, vlakem, lodí a letadlem. Na místní nádraží vedou vlakové spoje z Říma, Bari a Boloně. Lodí lze připlout z Albánie, Chorvatska, Řecka, Turecka a Černé Hory. A místní letiště Aeroporto Ancona Falconara, vzdálené asi 20 km od města Ancona, obsluhuje přímé lety z Říma, Milána, Mnichova, Londýna, Bukurešti a Moskvy.

Přítomnost univerzity v Anconě je výsledkem působení kulturních, společenských, ekonomických a historických sil. Počátky studií v Anconě sahají až do středověku, kdy již zde existovala fakulta právní. V roce 1562 papež Pius VI. udělil městu svolení založit „Studium Generale cuiuscumque Facultatis et Scientiae“ nabízející výuku občanského a církevního práva a teologie. Toto „Studium“ bylo v roce 1739 uzavřeno. Avšak v roce 1746 bylo na svolení papeže Benedikta XIV. znovu otevřeno, aby bylo opět po politickém převratu v letech 1797-1799 uzavřeno. Další snahy obnovit univerzitní vzdělání v Anconě se objevily až ve 20. letech minulého století, bohužel ale zůstaly pouze ve stádiu plánování. V 30. letech 20. století byly vypracovány plány na regionální univerzitní systém, jehož cílem bylo přivést do Ancony univerzitu. Tyto přípravné práce byly přerušeny 2. světovou válkou. Nakonec v roce 1959 městská rada odsouhlasila vytvoření sdružení pro rozvoj vyššího vzdělání v oblasti Marche a založení Fakulty ekonomie a obchodu, jako odloučené samostatné části, Univerzity v Urbino. Po uplynutí deseti let bylo v roce 1969 schváleno založení Independent University v Anconě s Fakultou strojní (obr. 2) a Fakultou lékařství a chirurgie. V roce 1971 byla prohlášena státní univerzitou a později byla k původním fakultám připojena i fakulta ekonomie a obchodu. V akademickém roce 1988/1989 vznikly dále fakulta zemědělství, Fakulta matematiky, fyziky a přírodních věd. V současné době má Università Politecnica delle Marche 5 fakult a v období 2002-2003 navštěvovalo univerzitu 13 tisíc studentů.

Kurzy optických měřicích metod byly pořádány italskou organizací A.I.VE.LA. (Associazione Italiana di Velocimetria Laser e Diagnostica Non Invasiva) sídlící na univerzitě v Anconě, v jejímž čele stojí profesor Dr. Enrico Primo Tomasini z katedry mechaniky hostitelské Univerzity Politecnica delle Marche. Organizace A.I.VE.LA. byla založena v červenci 1991 na podporu vývoje metod laserové velocimetrie. Mezi její hlavní úkoly se řadí rozvoj výměny informací mezi vědci, univerzitami, organizacemi, společnostmi a firmami, jež zajímají vědecké a technologické aktivity v oblasti laserové velocimetrie. Dalším jejím cílem je podpořit a rozšířit studium a výzkum laserové velocimetrie včetně aplikací formou technických zpráv, publikací, mítinků, výukových kurzů a konferencí. Organizace se rovněž věnuje podpoře technického vzdělávání v oblasti laserové velocimetrie.

Počínaje rokem 2004 se jednalo o již v pořadí 4. ročník kurzů. Za účelem pořádání těchto kurzů vznikl projekt MARLENE (MeAsurements by LasEr techNiqueS, MSCF-CT-2003-504127), jež je finančně podporován Evropskou komisí v rámci akce Marie Curie Conferences & Training Courses. Tématickou náplň všech dosud pořádaných kurzů a konferencí ukazuje následující seznam.

• Short Course on Laser Vibrometry	Ancona, 21. června 2004
• 6th Intl Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques	Ancona, 22. - 25. červen 2004
• Short Course on Laser Doppler Velocimetry	Ancona, 9. června 2005
• Short Course on Particle Image Velocimetry (PIV)	Ancona, 10. června 2005
• Short Course Vibration Measurements by Laser Techniques	Ancona, 19. června 2006
• 7th Intl Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques	Ancona, 20. - 22. červen 2006
• Short Course on Vibration Measurements by Full-field optical techniques	Ancona, 4. října 2007
• Short Course on Shearography	Ancona, 5. října 2007

Program letošních kurzů byl bohatý a lze jej shlédnout níže. Každý den byl rozdělen do dvou výukových bloků. Dopolední blok sestával z přednášek, odpolední blok tvořily paralelní laboratorní sekce, na jejichž organizaci se podílely vedle místní katedry mechaniky také zástupci německých firem isi-sys a Steinbichler Optotechnik GmbH.

4. října 2007 - Course on Vibration Measurement by Full-field optical techniques

08.15 - 08.50	REGISTRATION
08.50 - 09.00	WELCOME by Prof. E.P. Tomasini, Università Politecnica delle Marche, Italy
09.00 - 11.00	LECTURE: Full-field vibration measurements: holographic and speckle techniques by Dr. G. PEDRINI, Universität Stuttgart, Germany
11.30 - 11.40	INTRODUCTION TO THE LAB SESSIONS by Prof. N. Paone, Università Politecnica delle Marche, Italy
11.40 - 13.15	LECTURE: „A laboratory introduction to optics“ by E. H. Nösekabel, Steinbichler Optotechnik GmbH, Germany
15.00 - 17.30	PARALLEL LAB SESSIONS organised in collaboration with Department of Mechanics, Università Politecnica delle Marche, isi-sys, Germany, and Steinbichler Optotechnik GmbH, Germany

5. října 2007 - Short Course on Shearography

09.00 - 11.00	LECTURE: Fundamentals and applications of digital shearography for damage detection in composite materials by Prof. A. ALBERTAZZI, Federal University of Santa Caterina, Brasil
11.30 - 13.30	LECTURE: „NDT applications by dynamic excitation and vibration measurement with Shearography“ by Dr. P. MÄCKEL, isi-sys, Germany
15.00 - 16.30	PARALLEL LAB SESSIONS organised in collaboration with isi-sys, Germany, and Steinbichler Optotechnik GmbH, Germany



Obr. 3 Profesor Dr. Enrico Primo Tomasini z Università Politecnica delle Marche zahajuje dvoudenní běh výukových kurzů

Zahájení kurzů provedl profesor Dr. Enrico Primo Tomasini (obr. 3). Ve svém projevu přivítal všechny zúčastněné, podal základní informace o organizaci A.I.VE.L.A. a projektu MARLENE, a nakonec sdělil informace o celém průběhu kurzů.



Obr. 4 Profesor Dr. Giancarlo Pedrini z Univerzity ve Stuttgartu přednáší o využití holografie a jevu koherenční zrnitosti pro měření vibrací

Úvodní přednášku prvního dne pronesl profesor Dr. Giancarlo Pedrini z Univerzity ve Stuttgartu (obr. 4). Posluchače nejprve seznámil formou teorie a demonstračí se základními principy laseru, interferometrie, optického jevu koherenční zrnitosti, holografie, záznamových zařízení a materiálů a holografické interferometrie. Dále vysvětlil principy, výhody a nevýhody digitální holografie, měřících metod na bázi jevu koherenční zrnitosti a metod využívajících střihu optické vlny. Veškerý výklad doplnil o ukázky výsledků realizovaných měření v průmyslu. Poté profesor Dr. Nicola Paone z Università Politecnica delle Marche informoval přítomné účastníky o bezpečnostních pravidlech, jež bylo nutné dodržovat v navštívených laboratořích. Další zajímavá přednáška pak probíhala již přímo v laboratoři katedry energetiky. Doktor Ernst-Heinrich Nösekabel z německé firmy Steinbichler Optotechnik GmbH se zde pokusil poutavou demonstračí seznámit účastníky s přístroji používanými v optické laboratoři. Dále předvedl stavbu Michelsonova interferometru, na němž ukázal vlastnosti laserového záření a možnosti jeho využití při získávání informací o studovaných objektech. Na závěr demonstroval rekonstrukci hologramů.

V odpoledním laboratorním bloku byly Dr. Peterem Mäckelem z německé firmy isi-sys v laboratořích představeny komerční přístroje této firmy pro nedestruktivní testování založené na principech shearography a korelace obrazů. Doktorka Elena Achimova z Univerzity Politecnica delle Marche dále demonstrovala, mimo jiné, přenosný přístroj na bázi vláknové optiky využívající metodu ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) pro detekci defektů ve struktuře ocelových desek pomocí v nich indukovaných vibrací. Nakonec Dr. Ernst-Heinrich Nösekabel prezentoval komerčně vyráběný přístroj firmy Steinbichler Optotechnik GmbH na bázi metody ESPI.



Obr. 5 Profesor Armando Albertazzi z Federal University of Santa Caterina v Brazílii seznamuje posluchače s metodou digitální shearography

Druhý den zahájil přednáškou profesor Dr. Armando Albertazzi z Federal University of Santa Caterina v Brazílii (obr. 5), ve které referoval o teorii, principech a aplikačním využití metody digitální shearography. Svůj poutavý projev opět doplnil o ukázky výsledků praktických měření defektů těles, například potrubí pro vedení těžké vody nebo listu vrtule helikoptéry. Následně Dr. Peter Mäckel seznámil posluchače s využitím metody digitální shearography pro nedestruktivní testování těles, v nichž jsou externím zdrojem indukované vibrace. Představil měřicí senzory firmy isi-sys a ukázal jejich aplikační potenciál. V odpoledním laboratorním bloku bylo možné shlédnout praktické ukázky činnosti dalších měřicích senzorů firem isi-sys a Steinbichler Optotechnik GmbH.

Při zakončení dvoudenního běhu kurzů profesor Dr. Enrico Primo Tomasini poděkoval všem zúčastněným za jejich zdárný průběh a přednesl nabídku ke spolupracím a k výměnným pobytům studentů. Na závěr ještě profesor Tomasini informoval o chystané mezinárodní konferenci na téma *Vibration Measurements by Laser Techniques* doplněnou o jednodenní výukový praktický kurz o základech laserových metod pro měření vibrací těles. Bližší informace o chystané konferenci lze nalézt na webových stránkách organizace A.I.VE.LA.: <http://www.aivela.org>.

I když byl dvoudenní běh kurzů časově náročný, bylo poskytnuto dosti prostoru k osobním konzultacím, četným dotazům a navázání kontaktů pro případnou budoucí spolupráci. Účast na dvoudenním běhu výukových kurzů by nemohla být realizována bez finančního příspěví projektů Nanostrukturální makroskopické systémy – technologie přípravy a charakterizace (projekt AV ČR č. KAN301370701) a Výzkumné centrum – Optické struktury, detekční systémy a související technologie pro nízkofotonové aplikace (projekt MŠMT ČR č. 1M06002).

Mgr. Petr Šmíd, Ph.D., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel.: 585631575, e-mail: petr.smid@upol.cz

Mgr. Pavel Horváth, Ph.D., Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, tel.: 585631569, e-mail: pavel.horvath@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 obrázky v souboru typu *.doc. Bitmapové soubory pro černobílé kresby musí mít rozlišení alespoň 600 dpi, pro černobílé fotografie nejméně 200 dpi a pro barevné nejméně 300 dpi. Při generování obrázků v COREL DRAW do souboru typu *.EPS převedte text do křivek. U souborů typu *.JPG používejte takový stupeň komprese, aby byla zachována co nejlepší kvalita obrázku. Velikost písma v obrázcích by neměla klesnout pod 1,5 mm (při předpokládané velikosti obrázku po zalomení do tiskové strany).

Pokyny k předávání příspěvku

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

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

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

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

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

Použití snímačů tlaku v hydraulickém obvodu pro sledování průchodnosti materiálu

ÚVOD

Stanovení průchodnosti materiálu na sklizňových strojích je důležité pro využití techniky v systému precizního zemědělství. Principy zjišťování okamžité průchodnosti materiálu ve sklizňových strojích jsou různé a závisí jak na druhu materiálu, tak na pracovním mechanismu stroje. Odlišnosti měřicích zařízení spočívají v tom, jaký princip měření průchodnosti se používá. Pro stanovení okamžitého hmotnostního toku okopanin (obr. 1) se používají systémy s nárazovou deskou (Schmittman, Kromer, 2002), dopravník s tenzometrickou váhou (Isensee, Lieder, 2001), či měření napínaví síly hnacího řemenu dopravníku (Schwenke a kol., 2002). Jinou možností je využití parametrů hydraulických obvodů, jež jsou ve sklizňových strojích zastoupeny ve velké míře. Pro stanovení okamžité průchodnosti dopravovaného materiálu, v tomto případě brambor, byly použity snímače tlaku hydraulické kapaliny v obvodu pro pohon dopravníku.

MATERIÁL A METODY

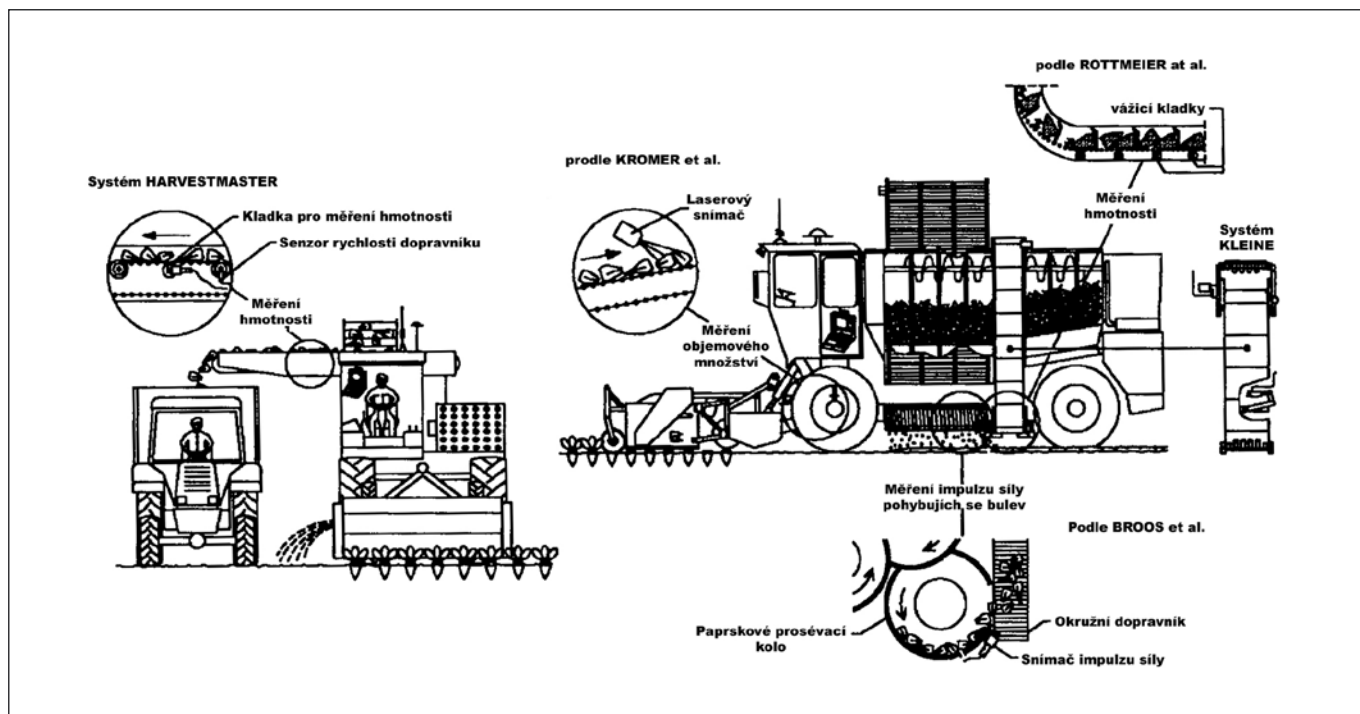
Pro zjišťování okamžité průchodnosti brambor byl sestaven laboratorní model části sklizeče tak, aby bylo možné měřit provozní parametry a simulovat zatížení jako při nasazení v reálných provozních podmínkách. Sklizeč je v tomto případě reprezentován prosévacím prutovým dopravníkem, který bývá ve sklizeči osazen jako poslední dopravní článek. Tedy dopravují se po něm jen hlízy bez příměsí. Vlastní hydraulický obvod se skládá z hydraulického agregátu, který obsahuje všechny základní prvky (nádrž, čistič, zubové čerpadlo, regulační škrťací ventil, pojistný tlakový ventil a rozváděč). Pomocí rychlospojek je k hydraulickému agregátu

připojen přes vedení rotační hydromotor orbitálního typu o geometrickém objemu 50 cm³. Tento hydromotor pohání prutový prosévací dopravník. Před a za spotřebičem (hydromotorem) jsou připojeny snímače měřicí aparatury. Vlastní měřicí aparatura obsahuje komponenty od firmy Hydrotechnik. Pro měření tlaku byly použity piezoelektrické snímače. Tento typ snímačů má velký odpor a malý svod, dobrou linearitu i stabilitu a je vyráběn pro velký rozsah tlaků, což je výhodné pro použití v mnoha aplikacích. Pro tento účel postačí snímače s rozsahem tlaku 0 až 25 MPa. Pomocí těchto snímačů je snímán tlakový spád na hydromotoru, který slouží ke stanovení okamžité průchodnosti materiálu.

Průtok kapaliny v hydraulickém obvodu je realizován na základě snímače GFM 30, který je založen na principu průtoku kapaliny přes ozubená kola. Dalšími měřeními hodnotami je měření frekvence otáčení hydromotoru a měření teploty hydraulického oleje. Kontrola teploty je důležitá především s ohledem na změnu viskozity oleje. Měření probíhají po zahřátí oleje na provozní teplotu, která je po celou dobu měření konstantní, takže nedochází ke změnám viskozity v průběhu měření.

Data od snímačů jsou zaznamenávána a vyhodnocována v ruční měřicí jednotce Multi System 5000 a poté přenesena do PC.

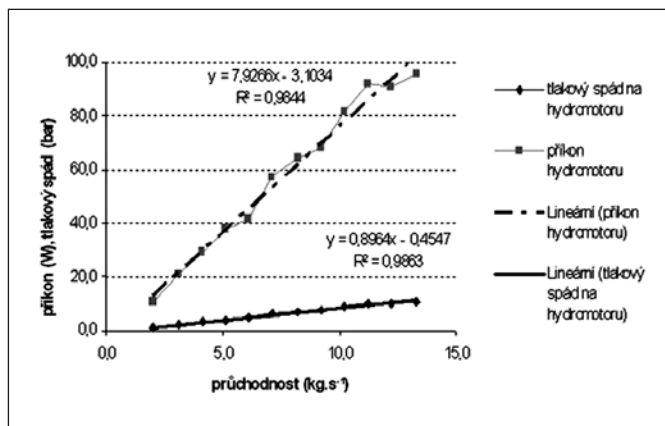
Uvedený systém pohonu prutového prosévacího dopravníku a měřicí aparatura jsou při vlastním měření doplněny o pomocný pásový dopravník. Na pásovém dopravníku je v určeném úseku uloženo předem stanovené množství brambor podle měřené průchodnosti. Tak je možné nasimulovat libovolnou průchodnost materiálu a provádět dostatečný počet opakování pro stejnou hodnotu průchodnosti.



Obr. 1 Možnosti sledování výnosu okopanin na sklizeči

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z naměřených hodnot pro frekvenci otáčení prutového prosévacího dopravníku 100 min^{-1} byl sestaven graf a je možné konstatovat, že sledováním příkonu a tlakového spádu na hydromotoru je možné určit průchodnost (hmotnostní tok) materiálu – brambor na prutovém prosévacím dopravníku. Podle závislosti tlakového spádu na hydromotoru a příkonu na hydromotoru na průchodnosti brambor v laboratorním zařízení je patrné, že průběh je lineární (obr. 2).



Obr. 2 Závislost příkonu a tlakového spádu na hmotnostním toku materiálu

V obou případech výsledky ukazují na 98% variabilitu naměřených hodnot. Z výsledků je také patrné, že pro sledování průchodnosti může postačit sledování pouze tlakového spádu na hydromotoru za předpokladu, že se nebude měnit frekvence otáčení pohonu prutového prosévacího dopravníku, která v praktickém použití na sklizeči skutečně nenastává. Pro přesná exaktní měření je však sledování průtoku nutné.

Výsledky tohoto měření byly získány při měření v jedné pracovní rovině. Dalším krokem byla simulace vlivu terénu na přesnost měření. Při měření byl postupně měněn sklon pracovní roviny tak, jak se mění v důsledku svažitosti při pojiždění stroje po skutečném pozemku. Výsledky měření opět ukázaly lineární závislost tlakového spádu (na hydromotoru) na hodnotě průchodnosti materiálu, ale křivka proložená naměřenými hodnotami svírala s osou x jiný úhel.

Při každé změně úhlu sklonu pracovní roviny docházelo ke změně sklonu proložené křivky. Toto měření jednoznačně dokázalo, že pro získání validních dat je nutné doplnit měřicí aparaturu o náklonové čidlo a na základě údajů z tohoto čidla provést korekci naměřených hodnot tlakového spádu.

ZÁVĚR

Měřením v laboratorních podmínkách byla prokázána vhodnost systému pro měření okamžité průchodnosti materiálu pomocí snímání tlakového spádu na hnacím hydromotoru dopravníku. Výhodou tohoto principu je jeho jednoduchost, neboť je nutná pouze malá úprava stávajícího hydraulického obvodu, a to umístění snímačů tlaku před a za hnací hydromotor. Pokud by se nesledovala průchodnost u stacionárního zařízení, tak není nutné použít v obvodu náklonové čidlo pro korekci naměřených hodnot a eliminaci vlivu proměnného sklonu dopravníku. Zde popsaná metoda má význam pro systém tzv. precizního zemědělství, kde po doplnění o přijímač DGPS signálu lze vytvářet výnosové mapy sklizené plodiny tak, že naměřené hodnoty průchodnosti jsou přiřazovány k jednotlivým lokacím polohy a vytvářejí grafický přehled hodnot výnosu plodiny na daném pozemku.

Literatura

- [1] ISENSEE, E., LIEDER, W. (2001): Ertragmessung in der Rübenernte. Landtechnik, 4, ročník 56, KTBL 2001, s. 272 -273.
- [2] SCHMITTMANN, O., KROMER, K-H. (2002): Teilflächenspezifische Ertragmessung von Zuckerrüben. Site-Specific Yield Measurement of Sugar Beet. Proceedings of Conference: Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, ISBN 3-18-091716-4, s. 259 – 264.
- [3] SCHWENKE, T., DEMMEL, M., ROTHMUND, M., ROTTMEIER, J. (2002): Ertragsermittlung im selbstfahrenden Zuckerrüben Köpf-Rode-Bunker. Local Yield Detection in a Self-propelled Sugar Beet Harvester. Proceedings of Conference: Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, ISBN 3-18-091716-4, s. 253 – 258.

Měření objemového otěru polyetylenu u extrahovaných náhrad kolenního kloubu

Úvodní studie kontaktní metody

*Implantace totální endoprotézy (TEP) kolenního kloubu je neúčinnějším způsobem terapie pokročilých stadií artrózy kolenního kloubu. Avšak, podobně jako v případě TEP kyčle, je jejím nejslabším místem polyetylenová vložka, která se používáním kloubu progresivně opotřebovává. Přitom vzniká velké množství polyetylenových částic, které vyvolávají agresivní reakci hostitele, v jejímž důsledku dochází k resorpci kosti a aseptickému uvolnění TEP. Článek uvádí mechanickou kontaktní metodu k *in vitro* měření objemového otěru polyetylenu u TEP kolenního kloubu, zmiňuje se rovněž o gravimetrické metodě. Přehledově jsou zmíněny vlastnosti vložek a obecné požadavky na vhodné měřicí metody.*

ÚVOD

Implantace totální endoprotézy (TEP) je neúčinnější metodou léčby pokročilé artrózy kolenního kloubu [1]. Dodnes jsou nejčastěji implantovány TEP s polyetylenovou (PE) artikulační vložkou, která se během používání kloubu opotřebovává (otírá), přičemž rozsah a typ tohoto opotřebení jsou mimořádně důležité, neboť spoluurčují rychlost selhání implantátu. Souvisí to s tím, že různé typy otěru tvoří odlišné velikosti a tvary PE částic, čímž je určena jejich biologická kapacita [2]. V literatuře můžeme nalézt několik přístupů ke stanovení otěru PE u TEP kolenního kloubu [3-6], avšak jejich počet je celkově menší nežli je tomu u TEP kyčle, což poukazuje zejména k metodologickým obtížím.

Navrhovaná metoda měření dovoluje stanovit velikost objemového (a tím i hmotnostního) úbytku PE vložky vůči neopotřeбенému stavu, a to i selektivně v různých částech jejího povrchu, viz *obr. 1*. Výstupem by tedy měl být soubor údajů využitelných pro analýzu problematiky předčasných, nadměrných nebo neočekávaných opotřeбенí PE vložek TEP kolenního kloubu.

Celkové opotřeбенí extrahované PE vložky můžeme rozdělit na adhezivní otěr artikulačního povrchu a na hrubou degradaci povrchu, která mění jeho strukturu, drsnost i tvar (*obr. 2*). Dále je nutné myslet na to, že se u modulárních implantátů opotřebovává i neartikulační plocha PE vložky, která je v kontaktu s kovovým tibiálním nosičem, viz *obr. 3*. Kromě toho dochází k plastické deformaci PE, kterou nepovažujeme za opotřeбенí.

Artikulační plochy, které nás nejvíce zajímají, mají obecný tvar, který lze aproximovat částí *tříosého elipsoidu*. Proto se nedají použít některé metody vhodné pro měření úbytku PE u TEP kyčelních kloubů, např. kapalinná. Teoreticky nejpřesnější metodou zůstává gravimetrická metoda, ovšem i tato má praktické nevýhody. Neznáme například, v které lokalitě PE vložky k úbytku došlo a navíc je nezbytné znát přesně hmotnost originální vložky, což je možné pouze v rámci prospektivně organizované studie.

Potenciálně použitelné metody lze zhruba rozdělit na *kontaktní*, kdy sondou přístroje skenujeme povrch náhrady a *nekontaktní* metody, které využívají možností optické topografie povrchu PE vložky. V obou případech ovšem musíme mít přístup k souboru předem vytvořených referenčních dat reprezentujících nepoškozené implantáty (referenční sbírka), se kterými komparujeme náměr.

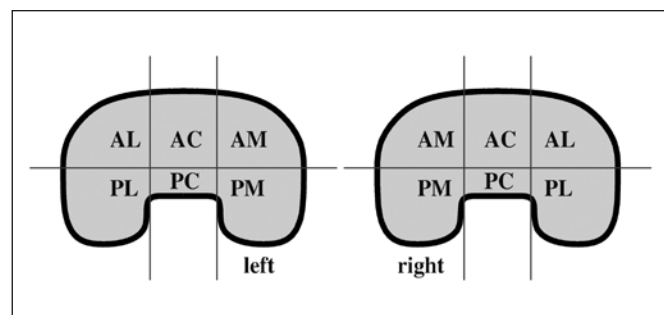
Od vhodné měřicí metody se očekává nejen přiměřená přesnost, ale i schopnost lokalizovat místa s maximem objemového úbytku (podle *obr. 1*) a dále necitlivost k povrchovým změnám PE jako jsou nestejná drsnost, podpovrchová degradace s nadzvednutím větší štěpiny PE nebo zpuchřování (*obr. 2*). Za zmínku stojí rovněž citlivost na poškození vložky, k němuž dochází během extrakce implantátu, jako jsou různé ostré rýhy na povrchu PE či odštěpky. K tomu přistupují kritéria objektivnosti a pracnosti uvažované metody.

POPIS POZOROVANÝCH POŠKOZENÍ

Typologie poškození artikulačních povrchů má význam pro volbu použité měřicí metody. Rozpětí pozorovaných nálezů je u TEP kolenního kloubu velmi široké – od minimálně opotřeбенých vložek, přes opotřeбенí bez povrchové degenerace se zachováním hladkosti i lesklosti, až po různě zdrsňelé, či jinak značně narušené povrchy. Rozdílná je i lokalizace nálezů (*obr. 1, 2*).

Zcela specifický je pak úbytek spodní plochy PE vložky, která je v kontaktu s kovovou tibiální komponentou. Projevuje se jako jemné obroušení původně rovinného povrchu, viz *obr. 3*.

Rýhy a úlomky, k nimž došlo během revizní operace, jsou lokalizovány nejčastěji na přední a spodní ploše PE vložky a do celkového výsledku by neměly být započítávány.



Obr. 1 Členění polyetylenové vložky TEP kolenního kloubu; levá a pravá varianta: segmenty AL = anterolaterální; AC = anterocentrální; AM = anteromediální; podobné značení se používá i pro posteriorní část komponenty (první písmeno P)



Obr. 2 Pohled na extrahovanou PE vložku TEP kolenního kloubu s různými typy opotřebení artikulárního povrchu, včetně fraktury

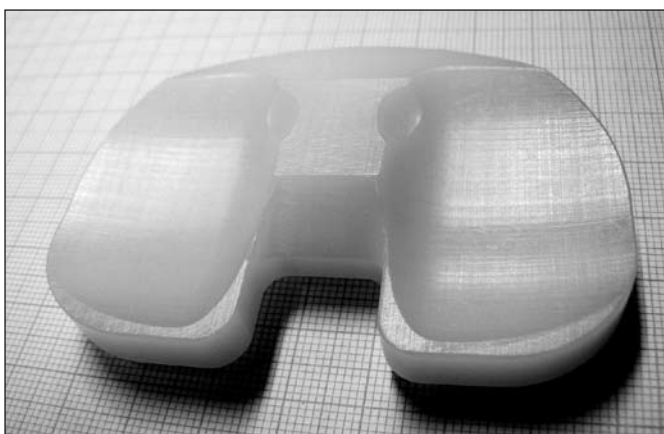


Obr. 3 Foto neartikulárního povrchu PE vložky, kterým je komponenta přiložena ke kovové tibiální komponentě

ÚVODNÍ ROZBOR KONTAKTNÍ KOMPARAČNÍ METODY

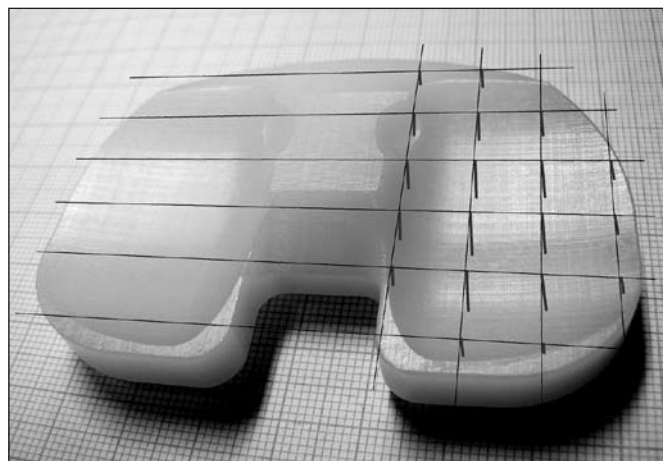
Princip komparační metody

U PE náhrad měříme výškovou topologii ve vrcholech pravouhlé sítě. Rozdíly těchto hodnot mezi nepotřebovaným a měřeným vzorkem násobené plochou oka sítě udávají objemový rozdíl. Měřený vzorek snímáme safírovou sondou a zjišťujeme y souřadnice v bodech x, z , které následně srovnáváme s etalonem (obr. 4).



Obr. 4 Nová nepoužitá PE vložka TEP kolenního kloubu. Na povrchu jsou pouze stopy po mechanickém opracování vzniklé při výrobě

Měření v našem případě proběhlo na měřicím mikroskopu Mcopta Přerov s dotykovou sondou o průměru 3 mm. Měřili jsme celkem tři vložky Aesculap Search UHMWPE T2 lišící se tloušťkou. K dispozici jsme měli komponenty 8, 12 a 14 mm. Jako etalon sloužila nepoškozená 12mm vložka. Velikost T2 odpovídá půdorysným rozměrům 70 x 46 mm.



Obr. 5 Schematické znázornění měřicí sítě. Osa x je vodorovná, osa z svislá a měříme vzdálenosti y

Přesnost metody

Validnost metody vyžaduje splnění několika podmínek. První je souhlasnost vrcholů sítě u vzorové a měřené náhrady, tedy definované upevnění všech vzorků do stejné polohy. Pro upevnění využíváme originálního kovového dřívku, který patří k náhradě a zajišťuje reprodukovatelnost polohy na desítky mikrometrů.

Na věrohodnost výsledku může mít rovněž vliv struktura povrchu náhrady. U nových je povrch hladký a málo členitý, což u exponovaných náhrad nemusí platit. Uplatní se tedy jak drsnost povrchu, tak lokální nerovnosti menší než rozměry sondy a měřicí sítě.

Dalším parametrem je vzdálenost bodů měření, tedy plocha oka sítě. Se zmenšováním vzdálenosti sice přesnost roste, ovšem zároveň se s druhou mocninou zvětšuje počet měřicích bodů a tím i doba měření. Minimální použitelnou vzdálenost jsme na základě rozměrů safírové sondy (průměr 3 mm) odhadli na 2 mm. V dalším tedy půjde o to, nakolik lze tuto vzdálenost prodloužit.

VLIV HUSTOTY SÍTĚ NA PŘESNOST

Přibližný odhad potřebné hustoty měřicí sítě můžeme provést postupnou redukcí počtu měřicích bodů a stanovením vzrůstající chyby. Měřili jsme 8mm náhradu vůči 12 mm referenci a to v síti 2 x 2 mm, což nám po výpočtu poskytne referenční hodnotu objemového úbytku. Následnou redukcí počtu bodů stanovíme odchylku velikosti úbytku.

Jako vztahovou hustotu sítě tedy máme krok 2 mm, potom postupně zředíme oka na 2 x 4, 4 x 2 a 4 x 4, viz tab. 1. Následné výpočty objemového úbytku pak provádíme s menším počtem bodů.

Tabulka 1 Závislost velikosti objemového úbytku na hustotě měřicí sítě

Velikost oka [mm, mm]	2 x 2	4 x 2	2 x 4	4 x 4
Objemový úbytek [mm ³]	128	149	136	152

Volba hustoty měřicí sítě

Vzhledem k nejpřesnější hodnotě pro oko 2 x 2 mm má nejmenší odchylku síť 2 x 4 mm, tedy z souřadnice má krok 2 mm a x krok 4 mm. Rozdíl je 8 mm³, tedy relativní odchylka je 6 %, což můžeme považovat za vyhovující. Při dalším zředění již narůstá chyba výrazněji.

VÝROBNÍ TOLERANCE

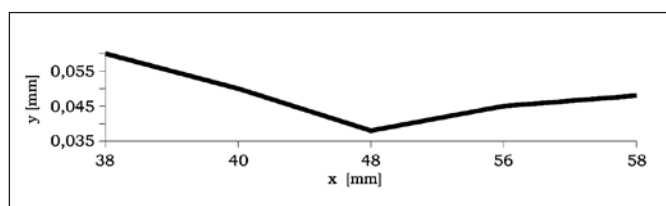
Další orientační měření mělo sloužit k ověření výrobních tolerancí, které jsou limitující pro citlivost komparačních metod měření objemového úbytku. Měřili jsme přímost rovinného úseku vložky a dále souměrnost artikulacních ploch vložky podle příčné roviny.

V horní části náhrad použitého provedení se mimo artikulacní plochu nachází neopotřebovaný rovinný úsek. Změřením jeho přímosti můžeme získat údaj o přesnosti výroby i o přesnosti upevnění vzorku.

Naměřená data pěti bodů pro referenční a exponovaný vzorek o síle 12 a 8 mm jsou uvedena v tab. 2 a 3. Za počátek bereme středovou hodnotu a pro zbývající body stanovíme rozdíly y hodnot.

Tabulka 2 Přímost lineárního úseku referenční 12 mm vložky

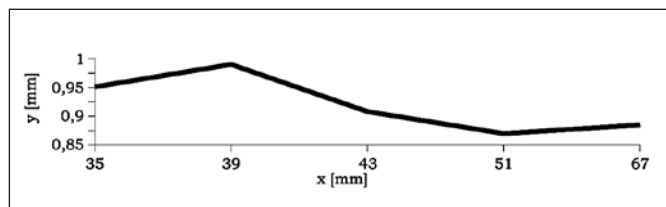
x [mm]	38	40	48	56	58
y [mm]	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05



Graf 1 Tvar lineárního úseku referenční 12 mm náhrady

Tabulka 3 Přímost lineárního úseku exponované 8 mm vložky

x [mm]	35	39	43	51	67
y [mm]	0,95	0,99	0,91	0,87	0,89



Graf 2 Tvar lineárního úseku exponované 8 mm náhrady

Z průběhu obou grafů 1 i 2 vidíme, že uvažovaný úsek není přímočarý na žádném vzorku a odchylky jsou v řádu setin mm. Proto postačuje metoda s touto citlivostí.

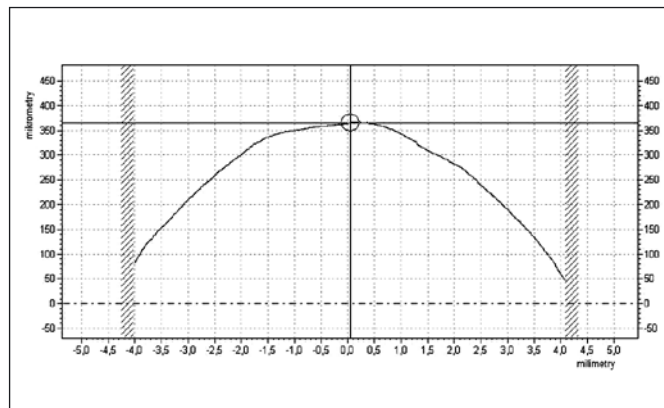
Dalším testem je srovnání obou polovin referenční náhrady, přičemž vycházíme z předpokladu, že náhrady mají být zrcadlově souměrné (platí pro většinu dříve používaných implantátů). Porovnávali jsme tedy y hodnotu odpovídajících si bodů vpravo a vlevo od svislé středové roviny. Takovýchto dvojic je pro velikost náhrady T2 a 2 mm síť 273.

Největší rozdíl y ve dvojicích bodů byl 0,347 mm, přičemž průměrná hodnota byla 0,051 mm. Ovšem rozdíl mezi y hodnotami z pravé a levé části nabýval jak kladných, tak záporných hodnot. Největší záporná hodnota byla 0,228 mm a aritmetický průměr z absolutních hodnot rozdílů byl 0,086 mm.

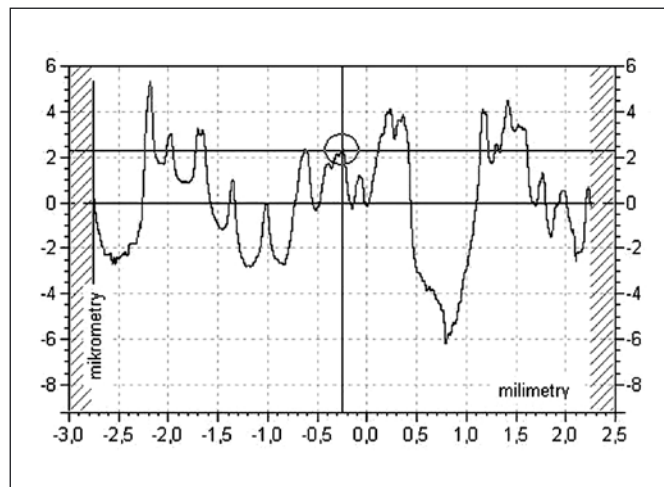
Z průměrných hodnot vyplývá, že přesnost vyrobené náhrady spolu s přesností měřicí metody je lepší než desetina mm. Ojedinelé rozdíly jsou ale v desetínách mm. To limituje požadavky na citlivost měření lineárního opotřebování povrchu PE vložky TEP kolenního kloubu komparační metodou.

MĚŘENÍ DRSNOSTI

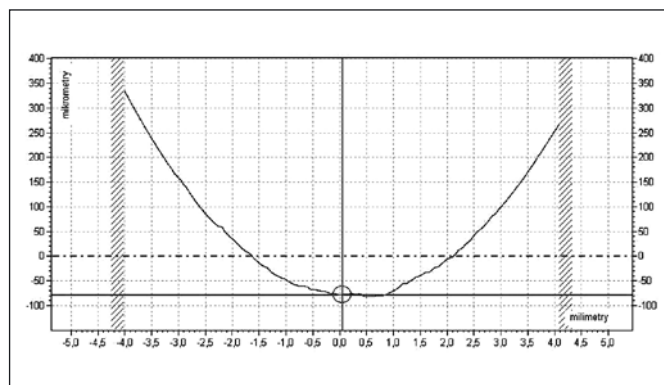
V rámci přípravy na měření jsme se snažili orientačně stanovit také drsnost povrchu uvedených vložek. Vybrali jsme novou referenční 12 mm a poměrně značně opotřebovanou 8mm náhradu. Měření probíhalo na drsnoměru Form Talysurf Series 2 od fy Taylor Hobson. Drsnoměr měří profily o délce 8 mm v různých částech vzorků a matematicky, pomocí Gaussova filtru, odstraní vliv tvaru měřené plochy na hodnotu drsnosti. Po filtraci se délka záznamu profilu zkrátí na 5 mm a náměr tedy přináší informace o lokálních nerovnostech studovaného povrchu. Následující obrazy uvádí náměr v artikulacním úseku náhrad i mimo něj spolu s průběhem po filtraci.



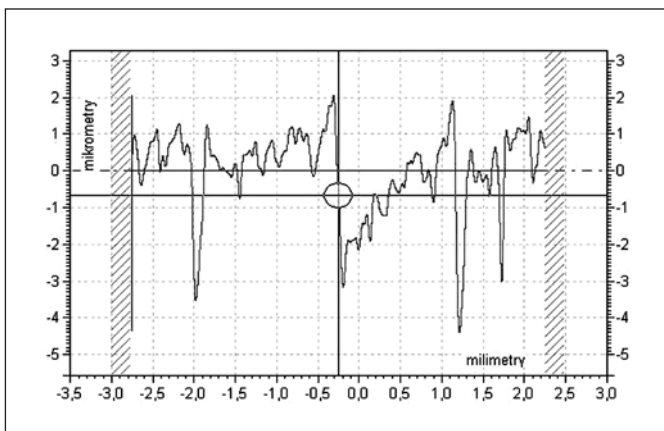
Obr. 6 Náhrada 12 mm. Naměřený úsek ve středu náhrady mimo artikulacní plochu



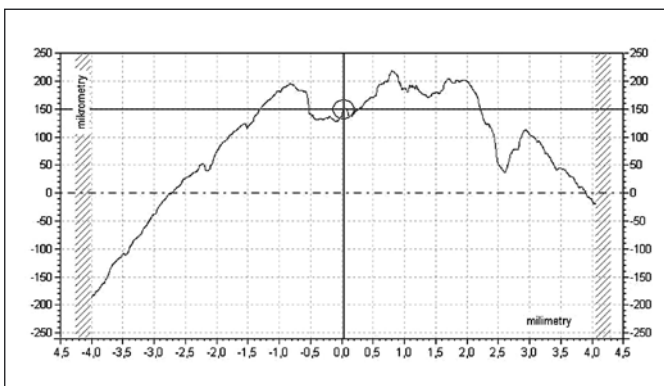
Obr. 7 Náhrada 12 mm. Vyfiltrovaná data z obr. 5



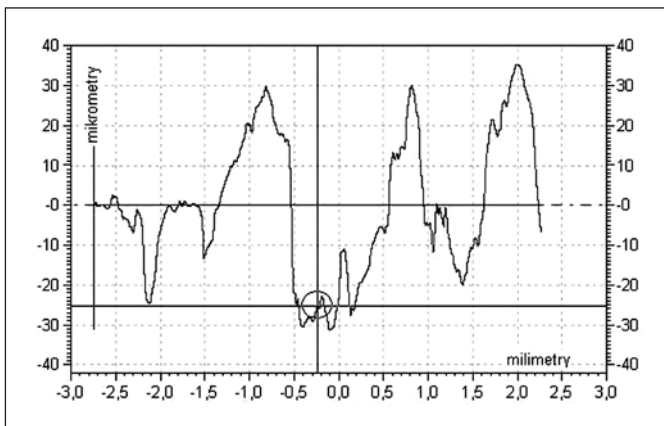
Obr. 8 Náhrada 12 mm. Naměřený úsek uprostřed artikulacní plochy



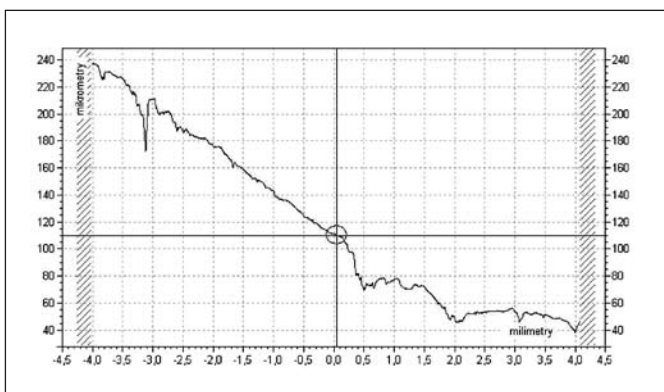
Obr. 9 Náhrada 12 mm. Vyfiltrovaná data z obr. 7



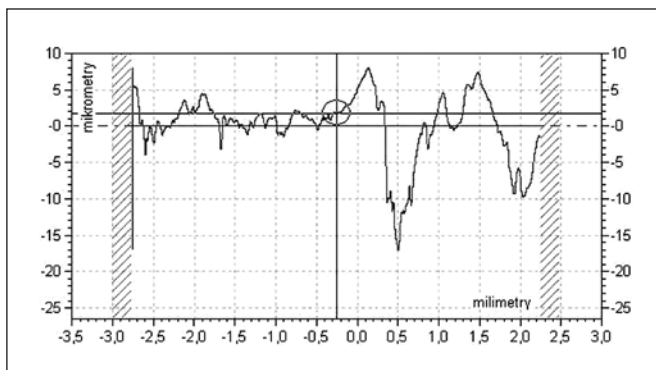
Obr. 10 Náhrada 8 mm. Naměřený úsek ve středu náhrady mimo artikulární plochu



Obr. 11 Náhrada 8 mm. Vyfiltrovaná data z obr. 9



Obr. 12 Náhrada 8 mm. Naměřený úsek uprostřed artikulární plochy



Obr. 13 Náhrada 8 mm. Vyfiltrovaná data z obr. 11

Velikost drsnosti

Ze získaných obrazů vyplývá, že u referenční náhrady se drsnost pohybuje v rozsahu do 5 μm . U exponované poškozené náhrady se drsnost zvýšila na 30 μm . Drsnost je vyšší v místech, která nejsou artikulární, kde tedy nepůsobí přímo adhezivní nebo abrazivní vlivy. Dále je patrná určitá prostorová frekvence opakování mikrotvaru s periodou asi 2 mm, která patrně souvisí se způsobem opracování původního povrchu.

GRAVIMETRIE

Gravimetrická metoda vychází ze znalosti měrné hmotnosti PE, například u implantátu PFC (fy Johnson&Johnson) je $\rho = 0,934 \text{ g/cm}^3$. Z rozdílu mezi hmotnostmi neopotřebované a extrahované PE vložky můžeme stanovit úbytek jejího objemu. Jelikož zpravidla neznáme přesnou výrobní hmotnost použité vložky, vážíme většinou její ekvivalent stejné velikosti a provedení (referenční sbírka). Přínosem by bylo zvážit také vložku odlišné tloušťky, ale jinak stejného provedení, a původní hmotnost měřené vložky určit výpočtem ze známého rozdílu tloušťek.

PŘEPOČET HMOTNOSTI

Nejprve musíme stanovit půdorysnou plochu náhrady. Planimetrováním jsme zjistili velikost aktivního průmětu u testovaných náhrad (PFC velikost 70 x 46, T2) $S = 2367 \text{ mm}^2$. Chybějící či přebývající objem je potom dán plochou násobenou rozdílem tloušťek referenčních a opotřebovaných náhrad, tedy nominálně -4 a +2 mm. Zvážené a přepočtené hmotnosti spolu s odpovídajícím přepočteným objemem pro již zmíněnou vložku PFC (T2, 12 mm) s měrnou hmotností PE $\rho = 0,934 \text{ g/cm}^3$ jsou uvedeny v tab. 4.

Tabulka 4 Hmotnosti náhrad a tomu odpovídající objemy

tloušťka [mm]	naměřená hm. [g]	přepočtená hm. [g]	přepočtený obj. [mm ³]
12	23,587	23,587	25254
8	14,97	14,965 + 8,843 = 23,808	25490
14	27,860	27,860 - 4,422 = 23,438	25094

Z Tab. 4 vyplývá, že přepočítaná hmotnost 8mm náhrady, která je opotřebovaná, je vyšší než referenční hmotnost. Z toho lze vyvodit závěr, že výrobní rozdíly tloušťek nejsou přesně 4 a 2 mm.

PŘESNOST TLOUŠŤKY

Pro nejistotu přepočtu hmotnosti odpovídající 10 mm³ objemového úbytku vychází nejistota tloušťky $10/2367$ (pro velikost PFC komp. 70 x 46 mm) = 4 μm . Přepokládáme-li, že 8mm náhrada nemá objemový úbytek, pak se její tloušťka liší asi o setinu milimetru od jmenovité hodnoty.

PŘESNOST METOD

Výrobní tolerance náhrad, které limitují přesnost komparačních metod měření, odhadujeme na základě nepřesnosti rovinné plochy a zrcadlové souměrnosti na setiny mm. Pro půdorysnou plochu náhrady 2367 mm² a odchylku tloušťky např. 0,05 mm vychází objem 118 mm³. Tento fakt vede k nutnosti ustavit přesně souhlasnou polohu referenčního a měřeného vzorku v y-ovém směru.

Struktura povrchu, tedy drsnost případné lokální prohlubeniny, má o řád nižší velikost, tedy ji zatím nemusíme uvažovat. Jiným případem je však zpuchýřování, které vede ke změnám výškové topologie i v mm řádu.

Jako postačující rozteč měřících bodů pro kontaktní metodu se jeví 4 mm ve vodorovném a 2 mm ve svislém směru, což vede k nejistotě měření menší než 10 %.

Při použití gravimetrické metody nemůžeme počáteční výrobní hmotnost zjišťovat výpočtem z jinak silných náhrad, neboť rozdíl tlouštěk nejsme schopni změřit s dostatečnou přesností. Diskutabilní je rovněž míra tolerance hmotností vložek stejného provedení a velikostí.

PERSPEKTIVY METOD

Kontaktní metoda bez použití automatického snímání je časově náročná a vyžaduje přesně definované mechanické upevnění vzorků. Její přesnost může být ovlivněna charakterem povrchu, např. zpuchýřováním. Jejím hlavním omezením jsou ale výrobní nepřesnosti série stejných náhrad, kdy referenční komponenta má jiný tvar než extrahovaná, čímž vzniká chyba měření úbytku.

Gravimetrická metoda je nejpřesnější, pokud známe původní hmotnost dané vložky, ovšem její výsledek je pouze sumární, neumožňuje lokalizovat místa objemového úbytku, případně je porovnávat. Metoda rovněž neodliší úbytek vzniklý odštípnutím při reoperaci od úbytku během expozice náhrady.

ZÁVĚR

Mechanická kontaktní komparační metoda se jeví, vzhledem k měřicímu zařízení dosahujícímu mikronové přesnosti, jako vhodná pro etalonové měření. Ovšem rozbor omezujících vlivů

jako jsou výrobní rozdíly mezi měřenou a referenční vložkou, případně charakter měřeného povrchu, její přesnost výrazně snižují. Z našeho prvního přiblížení vychází relativní nejistota kolem 10 % a absolutní chyba v řádu 100 mm³. Předpokládáme, že dalším vývojem měřicího postupu se nám podaří nejistotu snížit a opotřebení přesněji kvantifikovat.

Poděkování

Článek vznikl s podporou Projektu MŠMT COST č. OC168 Hodnocení oteru endoprotéz pomocí optických 3D metod.

L i t e r a t u r a

- [1] Gossec, L., et al.: OMERACT/OARSI initiative to define states of severity and indication for joint replacement in hip and knee osteoarthritis. *J Rheumatol*, 34(6): 1432-5, 2007.
- [2] Gupta, S. K., et al.: Osteolysis after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 22(6): 787-99, 2007.
- [3] Edwards, S. A., et al.: Analysis of polyethylene thickness of tibial components in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*, 84: 369-71, 2002.
- [4] Gill, H. S., et al.: In vivo measurement of volumetric wear of a total knee replacement. *Knee*, 13(4): 312-7, 2006.
- [5] Kop, A. M., Swarts, E.: Quantification of polyethylene degradation in mobile bearing knees: a retrieval analysis of the Anterior-Posterior-Glide (APG) and Rotating Platform (RP) Low Contact Stress (LCS) knee. *Acta Orthop*, 78(3): 364-70, 2007.
- [6] Sofka, C. M., Adler, R. S., Laskin, R.: Sonography of polyethylene liners used in total knee arthroplasty. *AJR Am J Roentgenol*, 180 (5): 1437-41, 2003.

Simulační program Geant4 a jeho uplatnění pro potřeby Společné laboratoře optiky

K potřebě simulace procesů na úrovni částicové fyziky je v současné době používán nejpropracovanější softwarový nástroj Geant4. Geant4 umí simulovat velkou množinu interakcí jak na úrovni vysokoenergetické a nízkoenergetické částicové fyziky, tak také na úrovni vlnové optiky, elektřiny a magnetismu. Protože je Geant4 velmi komplexní, představuje článek tento simulační nástroj především z pohledu potřeb pracovníků Společné laboratoře optiky FZÚ AV ČR a UP Olomouc, kteří jej využívají pro simulaci fluorescenčních teleskopů pro potřeby observatoře Pierra Augera a simulaci detektoru částic pro projekt ATLAS.

1. ÚVOD

Softwarový nástroj Geant4 je produkt vyvíjený mnoha spolupracujícími institucemi v čele s CERN, ESA (European Space Agency), SLAC a Helsinky Institute of Physics. V současné době je převážně používán vědeckými pracovišti zabývajícími se problematikou fyziky vysokých energií (CERN, SLAC, Fermilab apod.). Umožňuje simulovat rozsáhlé experimenty, které tato pracoviště realizují (např. projekt ATLAS, DELPHI) a pomáhá tak při jejich úpravách a odstraňování některých problémů.

2. STRUKTURA GEANTU4

Geant4, v současné době ve verzi 4.9, je v podstatě knihovna tříd (objektový typ) v jazyce C++, jejichž použitím vytváříme simulační program. Každá z těchto tříd implementuje určitou specifickou část kódu simulace a jejich vhodným „poskládáním“ vytváříme v jazyce C++ program určený pro danou simulaci. Tyto třídy lze rozdělit do následujících logických kategorií:

- **Run a Event:** tato kategorie tříd se vztahuje k řízení běhu simulace (tzv. run) a vytváření událostních kroků (tzv. event) simulace, např. tvorby sekundárních částic.
- **Řízení trasování:** jedná se o kategorii tříd, které řídí krokování (trasování) běhu simulace. Sledují šíření všech částic existujících v daném kroku simulace a uplatňují na nich relevantní fyzikální procesy.
- **Geometrie a CAD rozhraní:** třídy v této kategorii spravují geometrii detektorů a vzájemnou polohu jejich komponent. Geant4 obsahuje návrhář geometrických objektů založený na standardu ISO STEP a je tak schopen spolupracovat s CAD systémy.
- **Magnetická pole:** pomocí tříd této kategorie je možné začlenit do detektorů magnetické pole. Objektový návrh, na kterém je Geant4 založen, umožňuje změnu numerických algoritmů v odvozených třídách definovat i pole odlišná od magnetického.
- **Definice částic a materiálu:** třídy této kategorie umožňují definovat částice, které se mohou zúčastnit simulace, a materiály používané v detektorech.
- **Fyzikální procesy:** rozsáhlá kategorie tříd spravujících všechny známé fyzikální procesy, které se účastní interakcí mezi částicemi. Odvozením od příslušných základních tříd lze definovat třídy popisující nové (dosud nezačleněné) fyzikální procesy, či zcela umělé fyzikální procesy.
- **Snímání interakcí a digitalizace:** dvě úzce propojené kategorie, které spravují informace o interakcích (pozice, čas vzniku částice, energie, hybnost a geometrické informace). Tyto informace jsou určeny především pro modely AD převodníků, trigrovací logiky nebo čítače impulsů.

- **Vizualizace a řízení simulace:** kategorie tříd spravující vizualizaci detektoru a trajektorií částic a zadávání příkazů pro řízení simulace. Geant4 podporuje v podstatě jakýkoliv typ vizualizace neboť objektově orientovaný návrh tohoto nástroje umožňuje implementaci konkrétních vizualizačních nástrojů plně oddělit od zbytku kódu standardním rozhraním. Nejpoužívanějšími vizualizačními technikami jsou OpenGL, DAWN a WRML.
- **Rozhraní s ostatním softwarem:** tato kategorie zahrnuje třídy, pomocí kterých můžeme vytvářet různá uživatelská rozhraní (GUI) a komunikaci s ostatními softwarovými technologiemi, např. databázovými systémy OODBMS, MySQL apod.

3. FYZIKÁLNÍ PROCESY MODELOVANÉ GEANTEM

3.1. Rozsah modelování

Geant4 je určen pro modelování procesů, které spadají především do oblasti částicové fyziky. Jedná se o procesy, které se týkají interakce částic s hmotou:

- rozpad částic,
- elektromagnetické interakce při vysokých energiích: fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, gamma konverze na pár e^+e^- nebo $\mu^+\mu^-$, tranzitivní radiace, scintilace, Čerenkovův jev, fotoabsorpce, ionizace, bremsstrahlung (brzdné záření – ztráta energie elektronů a pozitronů emisí fotonů v poli atomového jádra), anihilace e^+e^- na gamma záření nebo na pár $\mu^+\mu^-$, synchrontronní radiace,
- elektromagnetické interakce při nízkých energiích: Comptonův rozptyl (včetně lineárně polarizovanými gama paprsky), Rayleighův rozptyl, elektronová ionizace, fluorescence, hadronová a iontová ionizace, energetické fluktuační v absorpčním prostředí,
- hadronové interakce: interakce lepton-hadron, fotojaderné a elektrojaderné interakce, elastický rozptyl nukleon-nukleon a hadron-nukleon při středních a vysokých energiích, neelastická interakce hadron-nukleon, anihilace nukleon-antinukleon.

Podrobnější výčet včetně krátkého popisu interakcí modelované Geantem je v [1]. Každý fyzikální proces je v Geantu reprezentován třídou, která proces popisuje a určuje, za jakých podmínek nastává. Vedle uvedených fyzikálních procesů umožňuje objektově orientovaný návrh tohoto nástroje definovat uživatelské procesy (i zcela umělé).

3.2. Modelování procesů při nízkých energiích

Nízkoenergetické procesy v Geantu reprezentují elektromagnetické interakce částic s elektronovým obalem materiálu detektoru. Jsou jimi fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl při nízkých energiích, Rayleighův rozptyl, bremsstrahlung, ionizace a fluorescence.

Současná implementace těchto procesů je věrohodná pro energie od 250 eV do 100 GeV a týká se prvků s atomovým číslem od 1 do 99. Simulace těchto procesů zahrnuje dvě fáze výpočtu:

- výpočet celkového účinného průřezu fyzikálního procesu,
- vytvoření konečného stavu částice v trasovacím kroku simulace, sledování stavových veličin částice a sekundárních částic vzniklých procesem (emise fotonů).

Obě fáze jsou založeny na teoretických modelech procesů a na použití relevantních, empiricky získaných dat, která jsou uložena v databázi Geantu.

Databáze Geantu

Pro výpočet účinných průřezů nízkoenergetických fyzikálních procesů a konečného stavu částice po trasovacím kroku je použito databáze empiricky získaných dat uložených v databázi Geantu. Tato data byla získána z volně přístupných datových knihoven:

- EPDL97 (Evaluated Photons Data Library) [2, 3],
- EEDL (Evaluated Electrons Data Library) [4, 3],
- EADL (Evaluated Atomic Data Library) [5, 3],
- Stopping Power Data [6, 7, 8, 9],
- hodnoty vazebných energií od Scofielda [10].

Tato databáze poskytuje data pro výpočet:

- celkových účinných průřezů pro fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, Rayleighův rozptyl a bremsstrahlung,
- celkových účinných průřezů elektronových podslupek atomů pro fotoelektrický jev a ionizaci,
- energetických spekter sekundárních částic při interakci s elektrony,
- Hubbelova *FF* faktoru pro Rayleighův rozptyl,
- vazebných energií elektronů ve všech podslupkách,
- pravděpodobností přechodů mezi podslupkami pro fluorescenci.

Data pokrývají energetický rozsah od 1 eV do 100 GeV pro Rayleighův a Comptonův rozptyl, do nejnižších vazebných energií pro každý prvek pro fotoelektrický jev a ionizaci a do 10 eV pro bremsstrahlung.

Výpočet celkového účinného průřezu interakce

Celkový účinný průřez σ_E je v závislosti na energii částice E odvozen z příslušných hodnot v databázi. Databáze poskytuje hodnoty účinných průřezů pro diskrétní hodnoty energie. Celkový účinný průřez se při simulaci počítá následující interpolací [1]:

$$\log(\sigma(E)) = \frac{\log(\sigma_1)\log(E_2/E) + \log(\sigma_2)\log(E/E_1)}{\log(E_2/E_1)}, \quad (1)$$

kde E_1 a E_2 jsou nejbližší nižší a vyšší energie, pro které jsou v databázi známé hodnoty účinného průřezu σ_1 , resp. σ_2 .

Pro výpočet střední volné dráhy λ částice, která interaguje s materiálem přes daný fyzikální proces, je třeba započítat účinné průřezy všech prvků tvořících materiál:

$$\lambda = \frac{1}{\sum_i \sigma_i(E)n_i}, \quad (2)$$

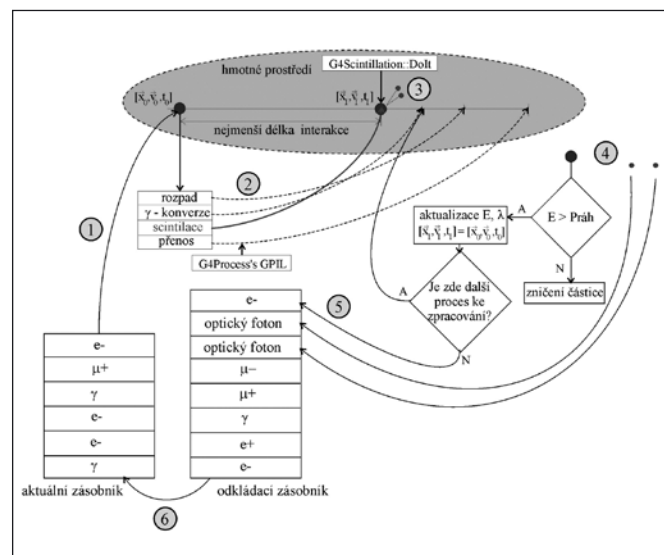
kde σ_i je účinný průřez fyzikálního procesu a n_i je atomová hustota i -tého prvku.

5. ZJEDNODUŠENÝ CYKLUS SIMULACE

Před započítáním simulace je třeba v programu registrovat seznam částic, které se mohou v simulaci vyskytovat jako primární nebo sekundární částice. Pro každý druh částice je potřeba registrovat seznam všech fyzikálních procesů, kterým se mohou

při simulaci podrobit. Před každým krokem simulace má Geant4 k dispozici seznam částic, které se v tomto kroku podrobí simulaci. Na začátku simulace to bývá pouze jedna primární částice. Geant4 má tyto částice uložené v *aktuálním zásobníku*. Celý proces simulace je zjednodušeně znázorněn na *obrázku 1*. V každém kroku simulace se provedou následující dílčí kroky (čísla korespondují s obrázkem):

1. Z aktuálního zásobníku se vybere jedna částice, k níž je přiřazen seznam fyzikálních procesů, kterých se může v daném hmotném prostředí zúčastnit.
2. Z tohoto seznamu se vybere ten proces, který má v daném prostředí největší účinný průřez (nejkratší délku interakce).
3. Částice se přesune o nejmenší délku interakce a je podrobena fyzikálnímu procesu, v příkladu na obrázku 1 je tím procesem scintilace, při které dojde k vytvoření dvou fotonů.
4. Sekundární částice (zde fotony), vzniklé při působení fyzikálního procesu na částici, jsou zapsány do *odkládacího zásobníku*. Primární částice při působení fyzikálního procesu (scintilace) ztratí část své energie. Pokud je tato menší než určitý práh (zadávaný pro každý druh částice na začátku simulace), je částice zničena. Pokud je její energie větší než práh, bude její energie, hybnost a poloha aktualizována. Pokud se v seznamu procesů nachází další fyzikální procesy, zopakují se dílčí kroky 2, 3.
5. V opačném případě se částice zapíše do odkládacího zásobníku.
6. Z aktuálního zásobníku se vyberou postupně všechny částice, na které se uplatní registrované fyzikální procesy. Na konci kroku simulace se obsah odkládacího zásobníku přepíše do (prázdného) aktuálního zásobníku.



Obr. 1 Zjednodušené schéma kroku simulace

4. MODELOVÁNÍ OPTICKÝCH PROCESŮ

Při modelování optických procesů je foton považován za vlnu, pokud je jeho vlnová délka mnohem menší než typický rozměr atomu. Optické fotony jsou v Geantu popisovány odlišně než energetické gama fotony a vztahují se na ně optické procesy. Patří mezi ně následující:

- Čerenkovův jev: simulace procesu emise fotonů při průchodu nabitě částice opticky disperzním prostředím rychlostí větší než je rychlost světla v tomto prostředí. Pro výpočet počtu emitovaných fotonů se používá Poissonovo rozdělení a statistické rozdělení energie fotonů je dáno funkcí:

$$f(E) = 1 - \frac{1}{n^2(E)\beta^2}, \quad (3)$$

kde n je index lomu v závislosti na energii E částice a $\beta = v/c$.

- **Scintilace:** Při scintilaci materiálu dochází k izotropní emisi fotonů s náhodně rozloženou lineární polarizací v rovině kolmé ke směru jejich šíření. Důležitou charakteristikou scintilačního materiálu je tzv. scintilační zisk, tedy počet emitovaných fotonů na jednotku energie, a vlastní faktor rozšíření spektra scintilátoru, která obecně rozšiřuje statistické rozdělení počtu emitovaných fotonů. Skutečný počet emitovaných fotonů během trasovacího kroku simulace kolísá kolem střední hodnoty v intervalu o šířce:

$$\delta n = \text{FaktorRozšířeníSpektra} \cdot \sqrt{\text{StředníPočetFotonů}}, \quad (4)$$

přičemž uvažujeme Poissonovo rozdělení četnosti emitovaných fotonů. Scintilační materiál je dále charakterizován svým fotoemisním spektrem a spektrálním rozložením vyhasínání emise. V Geantu je scintilace rozložena na rychlou a pomalou scintilaci s příslušnou časovou konstantou exponenciálního vyhasínání. Relativní zastoupení rychlé scintilace je dáno jejím ziskovým zastoupením.

- **Absorpce fotonu:** implementace absorpce fotonu je založena na vyřazení fotonu během trasování na základě známé absorpční délky fotonu v materiálu, kterou je třeba zadat do programu. Přitom je možné pracovat se spektrální závislostí absorpční délky v daném materiálu.
- **Rayleighův rozptyl:** energetická závislost účinného průřezu Rayleighova rozptylu je, stejně jako u ostatních relevantních nízkoenergetických fyzikálních procesů, odvozena z empiricky získaných dat uložených v databázi Geantu. Celkový účinný průřez je vypočítán podle aproximační rovnice (1). Úhel θ koherentně rozptýleného fotonu je trasován podle rozdělení polarizace fotonu:

$$\Phi(E, \theta) = (1 + \cos^2 \theta) \sin \theta \cdot FF^2(E, \theta), \quad (5)$$

kde FF je Hubbelův faktor, jehož hodnoty jsou empiricky zjištěné a uloženy v databázi Geantu. Při nízkých energiích je Hubbelův faktor izotropický a neovlivňuje úhlové rozdělení rozptýleného fotonu, zatímco při vysokých energiích formuje úhlovou distribuci do několika význačných směrů. Proto se tento faktor nazývá formovací faktor (odtud označení FF).

- Optické procesy na rozhraní dvou prostředí: v simulacích lze použít tři druhy přechodu fotonu rozhraní – přechody dielektrikum-dielektrikum, dielektrikum-kov a dielektrikum-černé prostředí. V posledním případě je černým prostředím v Geantu míněno takové prostředí, pro které nejsou definovány optické vlastnosti. V takovém případě je foton pohlcen bez jakékoliv detekce nebo vyvolání fyzikálního procesu. Při simulaci na rozhraní dielektrikum-dielektrikum je použito Fresnelových vzorců.

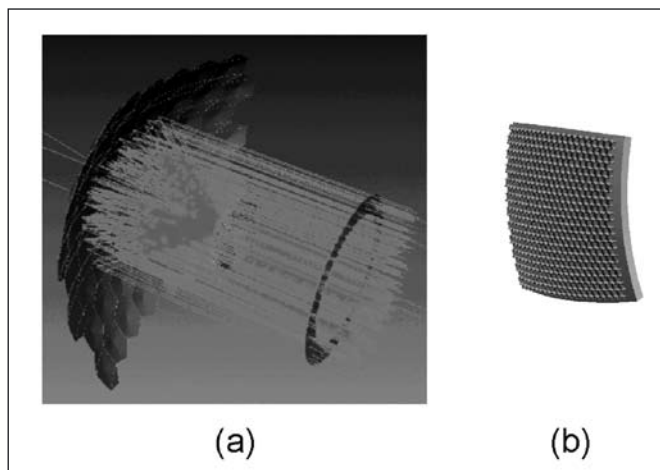
Model povrchu optického rozhraní

Pro komplexnější popis odrazu a lomu fotonu na optickém rozhraní Geant4 implementuje model UNIFIED, který je určen pro popis šíření světla při odrazu a lomu na obecně drsných površích. Model popisuje odraz a lom pomocí sady konstant, které je třeba do simulačního programu zadat. Více informací lze najít ve stěžejní práci od A. Levina a C. Moisanu z roku 1996 [11].

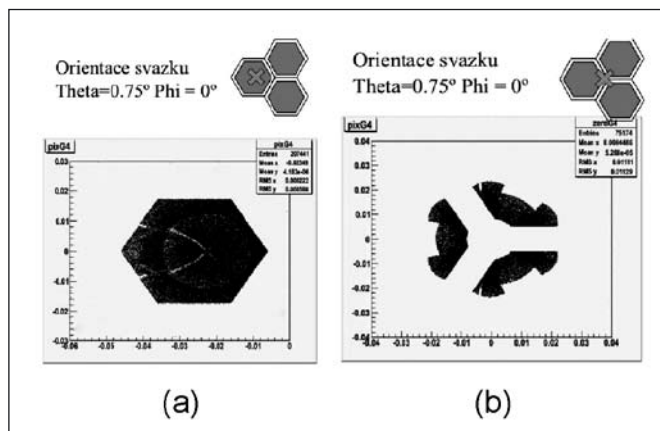
Modelování optického teleskopu

Společná laboratoř optiky Fyzikálního Ústavu AV ČR a UP Olomouc se podílí na rozsáhlém projektu výstavby observatoře Pierra Augera [12], která slouží ke sledování vysokoenergetických částic přicházejících z vesmíru. Součástí této observatoře jsou fluorescenční detektory, jejichž úkolem je zachycovat slabé fluorescenční záření, které vzniká při průletu těchto částic atmosférou. Polovina z 24 teleskopů je vyrobena na půdě laboratoře. Přitom každý z našich teleskopů je vytvořen ze 64 zrcadlových segmentů [13]. Pro potřeby kalibrace teleskopů a analýzy dat bylo potřeba vytvořit simulaci optické a detekční části jednotlivých teleskopů. Bylo potřeba zohlednit optické parametry separátně všech zrcadlo-

vých segmentů (poloměr křivosti, odraznost, pozice v teleskopu), korekčního prstence [14] a chování detektoru světla (kamera tvořená polem fotonásobičů). Programový návrh simulace v Geantu dovoluje pracovat s daty online staženými z příslušných databází zrcadlových segmentů a fotonásobičů. Simulace byla provedena ve spolupráci s LIP institutem v Lisabonu. Na obrázku 2 je vidět příklad vizualizace simulace s detailním zobrazením kamery. Na obrázku 3 je příklad výsledku analýzy stopy po průchodu světelného svazku pod úhlem $0,75^\circ$ při dopadu a) na jeden fotonásobič, b) mezi tři sousední fotonásobiče.



Obr. 2 Vizualizace simulace optické části FD teleskopu



Obr. 3 Simulace stopy na části kamery

5. SIMULACE DETEKTORŮ ČÁSTIC

Na našem pracovišti se také zabýváme simulací detektorů částic. Jedná se o specializované zařízení vyvíjené pro potřeby detektoru ATLAS konstruovaného v CERN, Švýcarsko, Ženeva. Ten je v současnosti (listopad 2007) ve fázi dokončovacích prací a je umístěn na kruhové dráze hadronového urychlovače LHC (Large Hadron Collider) o poloměru 27 km v hloubce 100 m pod povrchem země. Předpokládaná energie částic, kterými by hlavně měly být protony, je až 7 TeV. Více informací o projektu a postupujících pracích lze najít na [15].

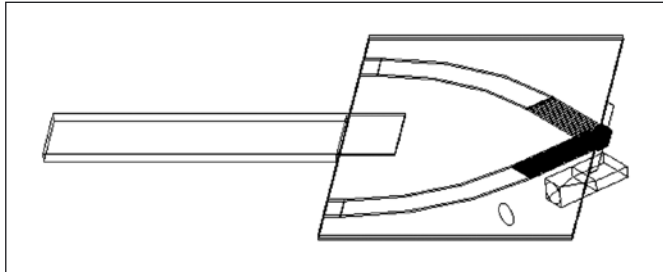
ALFA – Absolute Luminosity For ATLAS

Detektor ALFA slouží pro měření absolutní luminosity svazku částic pohybujících se uvnitř urychlovače. Luminosita L je parametr vypovídající o kvalitě svazku v urychlovači. Spočítat se nepřímo ze známé polohy vychýlené částice po srážce v bodě interakce. Závislost luminosity na poloze částice lze vypočítat podle vztahu:

$$L = \frac{N_1 N_2 f}{A}, \quad (6)$$

kde N_1 , N_2 je počet kolidujících částic ve svazku, f je frekvence oběhu a A je průřez svazku.

Základem detektoru je využití scintilace v scintilačních vláknách, která jsou umístěna na keramických deskách. Z každé strany desky je přilepena jedna vrstva vláken (průřez čtvercový 0,5 x 0,5 mm) navzájem kolmých. Ty pak vytváří mřížku s velikostí jednoho bodu 0,5 x 0,5 mm, rozlišení je tedy 500 μ m. Jednoduchý model jedné takové desky je na obrázku 4.



Obr. 4 Část detektoru ALFA 10_2_16 s aktivní plochou ve formě scintilačních vláken a se scintilátorem

Pro určení polohy a směru částice je uvedené rozlišení nedostačující. Proto se za sebou řadí několik desek (až deset) tak, aby se vzájemným posunutím zmenšila plocha výsledného bodu a tím se zlepšilo rozlišení. Při použití deseti keramických desek by mělo být dosaženo teoretického rozlišení až 14,4 μ m [16, 17], které je ve skutečnosti těžko dosažitelné.

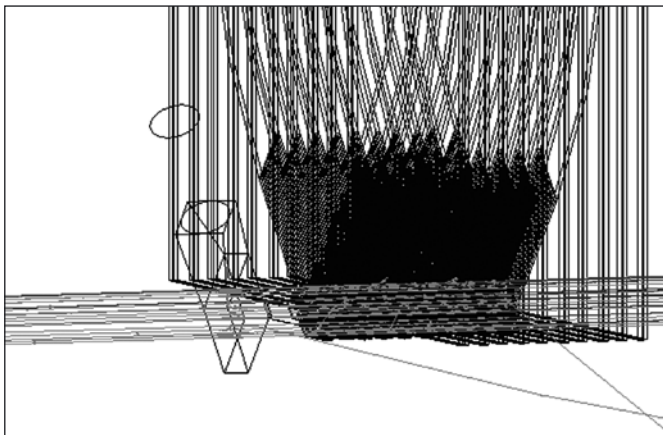
Všechny části detektoru byly v Geant4 vytvořeny podle návrhů a materiálů použitých při konstrukci, jako například scintilační vlákna, která se skládají z jádra (polystyren), pláště (PMMA – polymethylmetaakrylát) a z napařené vrstvy hliníku.

Nejprve jsme simulace provedli s geometrií, která přesně odpovídala návrhům z výkresů. Takový případ se označoval jako *Ideal geometry*. Poté, co byly vyrobeny jednotlivé detektory, byly velmi přesně proměřeny jejich fyzické rozměry [18] a ty byly zakomponovány do nového modelu detektorů, které se dále označovaly jako *Real geometry*.

Simulace probíhaly tak, že se zkompletovaný detektor umístil do definovaného prostoru *World*. Dále se určil zdroj částic, jeho umístění, počáteční směr, druh a energie částic. Průběh letu částic byl pečlivě sledován a zaznamenán do souboru tak, aby mohla být při pozdější analýze rekonstruována dráha letu.

Cíle a výsledky simulací detektoru ALFA

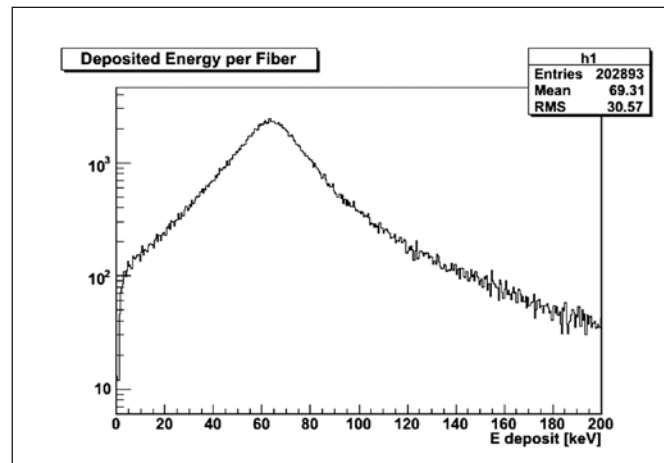
Náš příspěvek na tomto projektu spočíval v uskutečnění simulací v Geant4. Analýza uložených dat byla provedena pomocí programu ROOT.



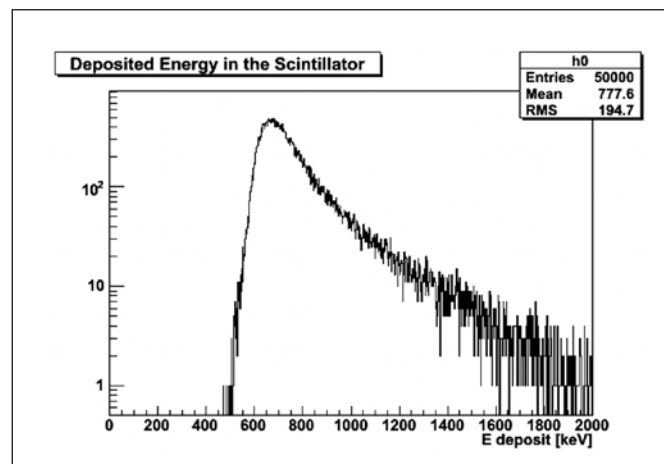
Obr. 5 Detektor ALFA 10_2_16 s vizualizací průletu částic. Provedeno pomocí rozhraní OpenGL

Bylo provedeno několik simulací pro každý z detektorů v závislosti na použité částici a její energii; elektrony o energiích 1 až 10 GeV v kroku po 1 GeV a protony o energiích 100 a 300 GeV a 1 a 7 TeV. Ukázka průletu několika částic detektorem je na obrázku 5.

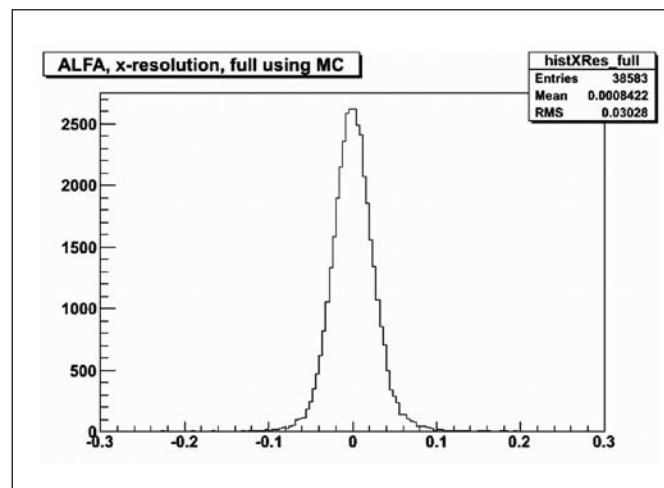
Z analyzovaných dat je možné zjistit např. jaká energie se zachytí ve vlákně během jedné události (obrázek 6), energie zachycená v scintilátoru za jednu událost (obrázek 7) atp.



Obr. 6 Histogram vyjadřující závislost energie zachycené v jednom vlákně



Obr. 7 Histogram vyjadřující závislost energie zachycené v scintilátoru

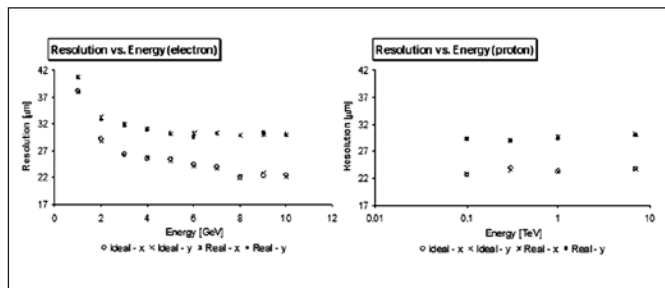


Obr. 8 Histogram určující rozlišení detektoru pro jeden druh částic a jednu energii

Důležitým bodem simulací bylo spočítání celkového rozlišení detektoru pomocí histogramu, vyjadřujícího rozdíl mezi skutečnou polohou částice a vypočítanou hodnotou ve dvou různých osách x a y – obrázek 8.

Na obrázku 9 jsou výsledky simulací pro dané energie a částice, což je hlavním výsledkem práce.

Zjištěné hodnoty byly použity pro porovnání s daty získanými ze skutečného testu detektoru na svazku urychlovače [19]. Další práce bude vedena podle požadavků týmu vyvíjejícího detektor.



Obr. 9 Závislost prostorového rozlišení v osách x a y na energii částice

6. ZÁVĚR

V uvedeném článku byl představen softwarový nástroj Geant4 používaný pro simulování fyzikálních procesů na úrovni částic. Primárně je využíván částicovými fyziky, jak bylo ukázáno v kapitole 5 o detektoru částic. Přesto může být tento nástroj užitečný i pro optické aplikace, buď samostatně, nebo v kombinaci s částicovou fyzikou, kdy je v mnoha případech generován foton.

Poděkování

Tyto výsledky vznikly v rámci projektu 1M06002 za podpory Ministerstva školství České republiky a projektu AV ČR KAN301370701.

Literatura

[1] Physics Reference Manual, <http://geant4.web.cern.ch/geant4/G4UsersDocuments/UsersGuides/Physics-ReferenceManual/html/PhysicsReferenceManual.html>
 [2] CULLEN D., HUBBELL J.H., KISSEL L.: EPDL97: the Evaluated Photon Data Library, '97 version, UCRL 50400, Vol. 6, Rev. 5
 [3] http://www.nea.fr/html/dbdata/nds_evaluated.htm

[4] PERKINS S.T., CULLEN D.E., SELTZER S.M.: Tables and Graphs of Electron-Interaction Cross-Sections from 10 eV to 100 GeV Derived from the LLNL Evaluated Electron Data Library (EEDL), Z=1-100, UCRL-50400, Vol. 31
 [5] PERKINS S. T., CULLEN D.E., CHEN M.H., HUBBELL J.H., RATHKOPF J., SCOFIELD J.: Tables and Graphs of Atomic Subshell and Relaxation Data Derived from the LLNL Evaluated Atomic Data Library (EADL), Z=1-100, UCRL-50400, Vol. 30
 [6] ANDERSEN H. H., ZIEGLER J.F.: The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 3, Pergamon Press, 1977.
 [7] ZIEGLER J.F.: The Stopping and Ranges of Ions in Matter. Vol. 4, Pergamon Press, 1977.
 [8] ZIEGLER J. F., BIERSACK J. P., LITTMAN U.: The Stopping and Ranges of Ions in Solids. Vol. 1, Pergamon Press, 1985.
 [9] ALLISY A. et al (ICRU): Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles, ICRU Report 49, 1993.
 [10] SCOFIELD J. H.: Radiative Transitions, in Atomic Inner-Shell Processes, B. Crasemann ed., Academic Press, New York, 1975, pp. 265-292.
 [11] MOISAN C., LEVIN A.: A More Physical Approach to Model the Surface Treatment of Scintillation Counters and its Implementation into DETECT, TRIUMF Preprint TRI-PP-96-64, Oct. 1996.
 [12] MANTSCH P. et al.: Pierre Auger Collaboration, Proc. of 29th International Cosmic Ray Conference 2005, Pune, Italy (2005), 115-124.
 [13] VLČEK M.: The Pierre Auger Project overview. Acta Univ. Palacki. Olomuc., Physica 40-41, 2001
 [14] PALATKA M., HRABOVSKÝ M., SCHOVÁNEK P., ŘÍDKÝ J., GRYGAR J., SOUKUP L.: Bifocal Optical System of the Schmidt Camera (Design of the Corrector Ring), The Pierre Auger GAP2000- 002, <http://www.auger.org>.
 [15] <http://atlas.web.cern.ch/Atlas/index.html>
 [16] JENNI P., NESSIM.: ATLAS Forward Detectors for Luminosity Measurement and Monitoring, CERN/LHCC/2004-010, <http://cern.ch/>.
 [17] ASK S a kol.: Luminosity Measurement at ATLAS: Development, Construction and Test of Scintillating Fibre Prototype Detectors, Nuclear Instrument Methods Phys. Res., A 568 (2006) 588-600.
 [18] BRAEM A., JORAM C., MAPELLI A., KOCNAR A., POSPICHAL J.: Metrology results of the ALFA 2006 prototype detectors, ATL-COM-LUM-2006-007, <http://cern.ch/>.
 [19] ASK S., HOFAMANN S., STENZEL H.: Spatial Resolution Study of ALFA from the CERN Testbeam in 2006, ATL-COM-LUM-2007-002, <http://cern.ch/>.

Mgr. Libor Nožka, Společná laboratoř optiky FZÚ AV ČR a UP Olomouc, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 573, e-mail: libor.nozka@upol.cz

Ing. Antonín Kočnar, Společná laboratoř optiky FZÚ AV ČR a UP Olomouc, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 524, e-mail: antonin.kocnar@upol.cz

Měření impedance

1. OBECNÁ ČÁST

K popisu dějů v obvodech střídavého proudu se používá symbolického vyjádření veličin pomocí komplexních čísel. Daná veličina je znázorněna vektorem, který je umístěn v Gaussově rovině komplexních čísel a nazývá se fázor.

Označení fázorů se v tisku provádí nejčastěji tučným písmem. Absolutní hodnota fázoru se označuje standardním písmem. Pomocí fázorů je definován obecný pojem odporu, který se nazývá impedance a označuje se písmenem Z .

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

kde U je fázor napětí, I je fázor proudu. Absolutní hodnoty těchto fázorů odpovídají efektivním hodnotám napětí U a proudu I .

Zavedením pojmu impedance je možné určovat velikosti střídavých elektrických veličin a vzájemné fázové posuny jejich průběhů.

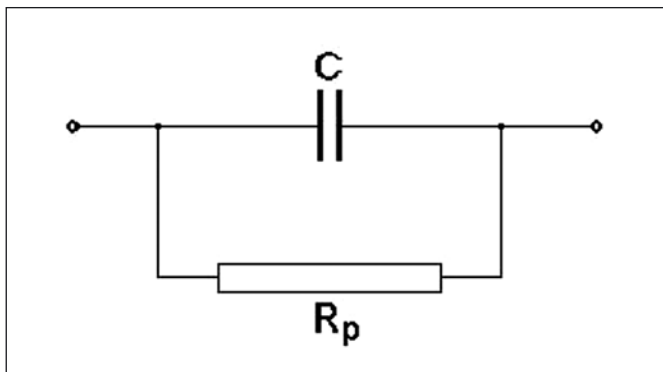
Převrácená hodnota impedance se nazývá admitance a označuje se písmenem Y .

$$Y = \frac{1}{Z}, \quad (2)$$

Pojmů impedance a admitance se využívá při řešení elektrických obvodů obsahujících pasivní prvky (rezistory, kondenzátory a cívky) a aktivní prvky (diody, tranzistory a integrované obvody).

Pro reálné prvky elektrických obvodů se vytvářejí náhradní schémata, která respektují skutečné vlastnosti těchto prvků a prokazují jejich odlišnost od vlastností prvků ideálních, které jsou ve shodě s definicí.

Náhradní schéma reálného kondenzátoru (obr. 1) je v nejjednodušší podobě tvořeno paralelním spojením ideálního kondenzátoru o kapacitě C a rezistoru o odporu R_p , který představuje ztráty v dielektriku (paralelní ztrátový odpor).



Obr. 1 Náhradní schéma reálného kondenzátoru

Pro toto náhradní schéma je výhodné zjišťovat admitanci reálného kondenzátoru. Tato admitance je dána součtem admitancí jednotlivých komponent, a proto platí vztah

$$Y_C = \frac{1}{R_p} + j\omega C, \quad (3)$$

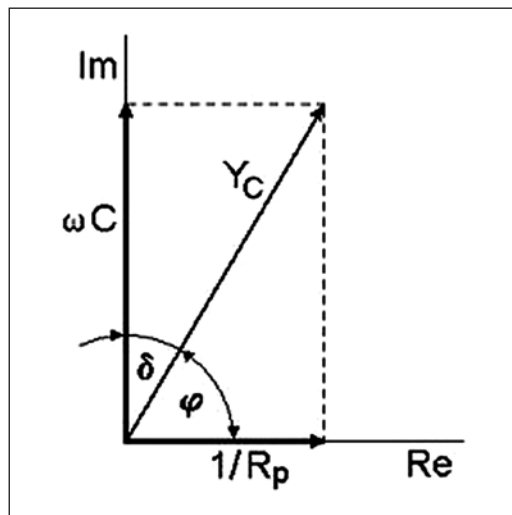
kde $1/R_p$ je admitance rezistoru (vodivost), $j\omega C$ je admitance ideálního kondenzátoru.

Při zapojení ideálního kondenzátoru do obvodu střídavého proudu je napětí na kondenzátoru zpožděno za proudem o úhel $\varphi = \pi/2$. U reálného kondenzátoru, jehož admitance je určena vztahem (3), je fázový úhel φ mezi napětím a proudem vždy menší než $\pi/2$. Odchylna fázového úhlu φ od hodnoty $\pi/2$ se nazývá ztrátový úhel a označuje se δ . Hodnota $\text{tg}\delta$ je ztrátový činitel kondenzátoru (dissipation factor D).

Fázorový diagram admitance kondenzátoru popsané vztahem (3) je na obr. 2. Protože podle definice (2) platí pro admitanci kondenzátoru vztah $Y_C = 1/Z_C$, lze z obr. 2 odvodit tyto vztahy

$$\cos \varphi = \frac{Z_C}{R_p}, \quad (4)$$

$$\sin \varphi = \omega C Z_C. \quad (5)$$



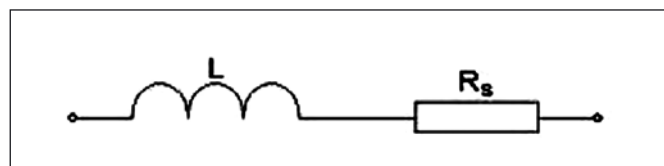
Obr. 2 Fázorový diagram admitancí pro kondenzátor

Náhradní schéma reálné cívky je na obr. 3 a je v nejjednodušší podobě tvořeno sériovým spojením ideální cívky o indukčnosti L a rezistoru o odporu R_s , který představuje odpor vinutí včetně hysterezních ztrát (sériový ztrátový odpor).

Pro toto náhradní schéma je výhodné zjišťovat impedance reálné cívky. Tato impedance je dána součtem impedancí jednotlivých komponent, a proto platí vztah

$$Z_L = R_s + j\omega L, \quad (6)$$

kde R_s je impedance rezistoru (odpor) a $j\omega L$ je impedance ideální cívky (indukční reaktance).



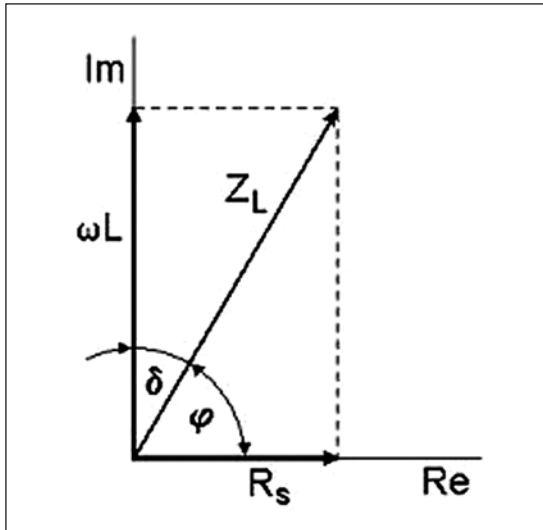
Obr. 3 Náhradní schéma reálné cívky

Při zapojení ideální cívky o indukčnosti L do obvodu střídavého proudu, je proud tekoucí cívku zpožděn o úhel $\varphi = \pi/2$ za napětím na cívce. U reálné cívky, jejíž impedance je popsána vztahem (6), je fázový posun φ vždy menší než $\pi/2$. Odchylna fázového posunu φ od hodnoty $\pi/2$ se nazývá ztrátový úhel a označuje se δ . Činitel jakosti cívky Q je určen vztahem $Q = \text{tg } \varphi$.

Fázorový diagram impedance cívky popsané vztahem (6) je na obr. 4 a podle něho platí tyto vztahy:

$$\sin \varphi = \frac{\omega L}{Z_L}, \quad (7)$$

$$\cos \varphi = \frac{R_S}{Z_L}, \quad (8)$$

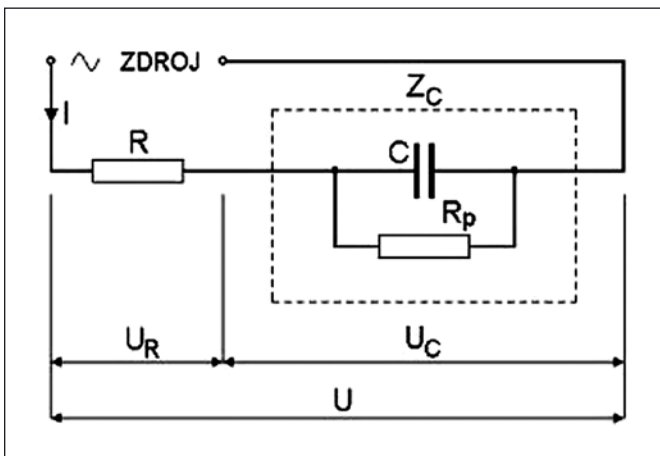


Obr. 4 Fázorový diagram impedance cívky

a) Měření reálného kondenzátoru (obr. 5)

Měření se uskutečňuje v obvodu, ve kterém je kondenzátor o impedanci Z_C zapojen do série s rezistorem o známém odporu R . Tento sériový obvod je napájen střídavým napětím sinusového průběhu o kruhové frekvenci ω a efektivní hodnotě U . Obvodem protéká společný proud o efektivní hodnotě I . Měření vyžaduje true RMS voltmetry s vysokým vstupním odporem a nízkou vstupní kapacitou.

V obvodu se měří celkové napětí U , napětí na rezistoru U_R a napětí na kondenzátoru U_C . Na základě těchto hodnot lze určit impedanci kondenzátoru Z_C .



Obr. 5 Schéma zapojení pro měření kondenzátoru

Pro měřená napětí platí rovnice

$$U_C = Z_C I, \quad (9)$$

$$U_R = R I. \quad (10)$$

Úpravou rovnic (9) a (10) vychází pro absolutní hodnotu impedance Z_C

$$Z_C = R \frac{U_C}{U_R}, \quad (11)$$

Fázový úhel φ , ztrátový úhel δ a ztrátový činitel $\text{tg } \delta$ lze odvodit z vektorového diagramu měřených napětí (obr. 6).

Při splnění podmínky $U^2 \geq U_R^2 + U_C^2$ je možné pro výpočet úhlu γ použít kosinovou větu

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2 - 2 U_R U_C \cos \gamma, \quad (12)$$

$$\gamma = \arccos \frac{U_R^2 + U_C^2 - U^2}{2 U_R U_C}. \quad (13)$$

Po výpočtu úhlu γ z rovnice (13) platí pro ztrátový úhel δ vztah

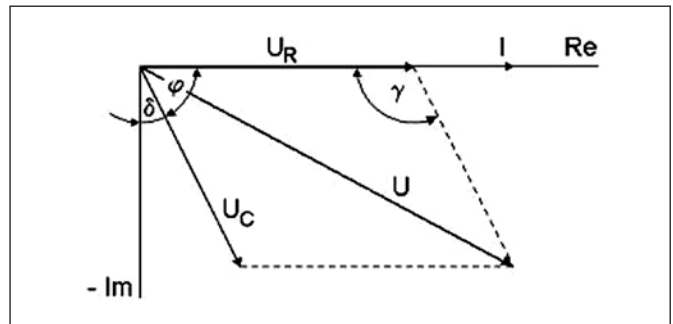
$$\delta = \gamma - \frac{\pi}{2} \quad (14)$$

a pro fázový úhel vztah

$$\varphi = \pi - \gamma. \quad (15)$$

Absolutní hodnota impedance Z_C se vypočte podle vztahu (11).

Z fázorového diagramu admittance kondenzátoru Y_C (obr. 2) lze určit podle vztahů (5) a (4) kapacitu C kondenzátoru a hodnotu paralelního ztrátového odporu R_p . Fázový úhel φ je určen vztahem (15).



Obr. 6 Vektorový diagram napětí na reálném kondenzátoru

b) Měření reálné cívky (obr. 7)

Měření se uskutečňuje v obvodu, ve kterém je cívka o impedanci Z_L zapojena do série s rezistorem o známém odporu R . Tento sériový obvod je napájen střídavým napětím sinusového průběhu o kruhové frekvenci ω a efektivní hodnotě U a protéká jím společný proud I . Měření vyžaduje true RMS voltmetry s vysokým vstupním odporem a nízkou vstupní kapacitou. V obvodu se měří celkové napětí U , napětí na rezistoru U_R a napětí na cívce U_L . Na základě těchto hodnot lze určit impedanci cívky Z_L .

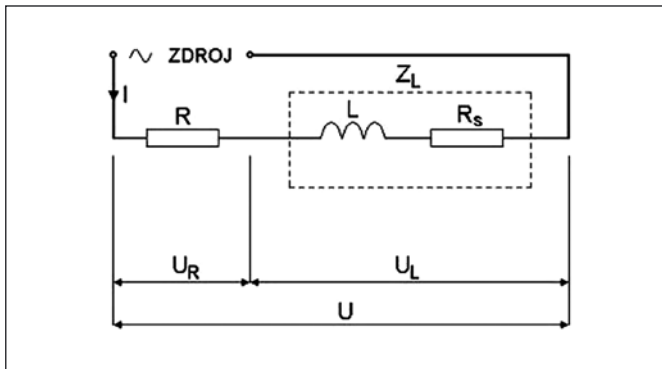
Pro měřená napětí platí rovnice

$$U_L = Z_L I, \quad (16)$$

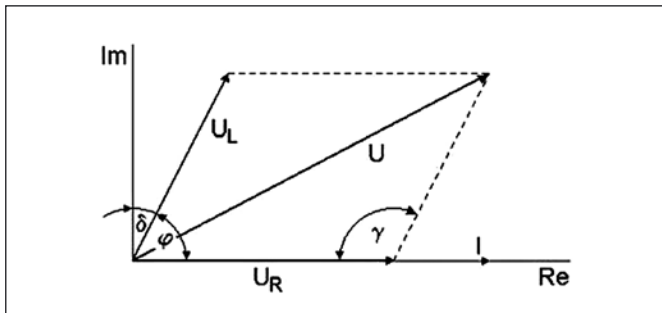
$$U_R = R I. \quad (17)$$

Úpravou rovnic (16) a (17) vychází pro absolutní hodnotu impedance Z_L reálné cívky vztah

$$Z_L = R \frac{U_L}{U_R}. \quad (18)$$



Obr. 7 Schéma zapojení pro měření cívky



Obr. 8 Vektorový diagram napětí na reálné cívce

Ztrátový úhel δ , fázový úhel φ a činitel jakosti $Q = \operatorname{tg} \varphi$ cívky lze odvodit z vektorového diagramu měřených napětí (obr. 8).

Při splnění podmínky $U^2 \geq U_R^2 + U_L^2$ je možné pro výpočet úhlu γ použít kosinovou větu

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2 - 2 U_R U_L \cos \gamma, \quad (19)$$

$$\gamma = \arccos \frac{U_R^2 + U_L^2 - U^2}{2 U_R U_L}. \quad (20)$$

Po výpočtu úhlu γ z rovnice (20) platí pro ztrátový úhel vztah

$$\delta = \gamma - \pi/2, \quad (21)$$

a pro fázový úhel

$$\varphi = \pi - \gamma. \quad (22)$$

Absolutní hodnota impedance cívky Z_L se vypočte podle vztahu (18). Z fázorového diagramu cívky na obr. 4 lze určit podle vztahu (7) indukčnost L cívky a ze vztahu (8) sériový ztrátový odpor R_s .

2. EXPERIMENT

Popsaná metoda měření impedance byla vyzkoušena v laboratorních podmínkách. Byl měřen etalon reálného kondenzátoru C , vytvořený paralelní kombinací kondenzátoru s kapacitou 2,0 nF s přesností 1 % a rezistoru 200 k Ω s přesností 1 %. Jako voltmetry byly použity multimetry Agilent 3401A se vstupním odporem 1 M Ω a vstupní kapacitou 100 pF. Tyto voltmetry měří true RMS hodnotu střídavého napětí.

Chyba měření voltmetrů nepřekračuje v rozsahu (0,1 – 100) kHz hodnotu 0,55 % z měřené hodnoty, $\pm 0,08$ % z měřicího rozsahu 10 V. Je tak možné vypočítat chybu měření. Za předpokladu rovnoměrného rozdělení chyb je nejistota typu B určena vztahem

$$u_B = \frac{m_U}{\sqrt{3}}, \text{ kde } m_U \text{ je vypočítaná chyba měření napětí.}$$

Vstupy voltmetrů jsou s měřeným místem spojeny twistovými páry vodičů, které významně omezují vliv vnějšího rušení.

Při měření etalonu bylo dosaženo příznivých hodnot relativních nejistot podle tab. 1 a 2, což svědčí o dobré přesnosti měření. Mohlo být tak přistoupeno k měření impedance válcových vzorků brambor různých odrůd tak, jak bylo plánováno.

Vzorek byl součástí střídavého obvodu, jehož frekvence se změnila od 100 Hz do 500 kHz.

Výpočty při měření zajišťoval program VEE Pro, který byl navržen pracovníky laboratoře. Program v reálném čase matematicky zpracovává změřené hodnoty napětí a frekvence a určuje velikost absolutní hodnoty impedance Z_C a její fázový úhel. Výpočtem reálné části impedance je určena velikost ztrátového odporu a výpočtem imaginární části impedance velikost kapacity kondenzátoru. Program kompenzuje vliv kapacity koaxiálního kabelu na hodnotu měřené impedance.

Tab. 1 Výpočet nejistot při měření napětí voltmetry Agilent 3401A
Chyba $m_U = 0,047$ V při měření napětí U .
Chyba $m_U = 0,2187$ V při měření napětí U_R .
Chyba $m_U = 0,047$ V při měření napětí U_C .

	Měření celkového napětí U	Měření napětí U_R na odporu R_n	Měření napětí U_C na impedanci
Napětí [V]	7,0533	0,2187	7,0422
Standardní nejistota u_B [V]	0,027	0,0053	0,027
Relativní nejistota U_R (%)	0,67	4,2	0,66

Tab. 2 Výpočet nejistot při měření etalonu

Chyba $m_C = 0,2$ nF (kapacita)

Chyba $m_R = 36$ k Ω (odpor)

	Měření kapacity C	Měření odporu R
Hodnota	2,2 nF	240 k Ω
Standardní nejistota u_B	0,115 nF	20,8 k Ω
Relativní nejistota U_R	5,25 %	8,7 %

3. ZÁVĚR

Absolutní hodnota impedance Z_C je určena vztahem (11) a její relativní nejistota je dána odmocninou ze součtu kvadrátů relativních nejistot $u_R(U)$, $u_R(U_R)$ a $u_R(U_C)$. Po výpočtu je relativní nejistota absolutní hodnoty impedance $u_R(Z_C) = 4,33$ %. Tato hodnota nezpůsobuje významnou chybu při měření impedance.

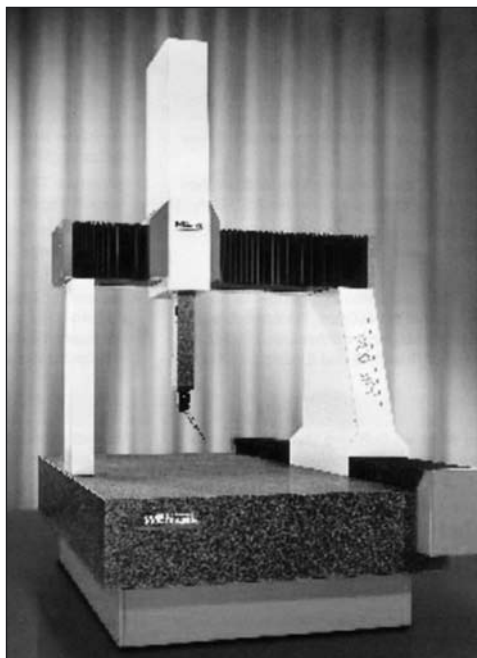
Práce vznikla v rámci řešení výzkumného záměru MSM 6046070905.

Literatura

- [1] SEDLÁČEK, M. - HAASZ, V.: Electrical measurement and instrumentation, Prague 2007
- [2] BOHÁČEK, J.: Metrologie elektrických veličin, Vydavatelství ČVUT 1994
- [3] FAJT, V. - JAKL, M.: Přesná měření elektrických veličin, Praha 1979
- [4] KŘIŠŤAN, L.: Příručka pro navrhování elektronických obvodů, SNTL, Praha 1982
- [5] Brož, J.: Základy fyzikálních měření, SPN Praha 1983
- [6] BARTSCH, J.: Matematické vzorce, Praha 1987

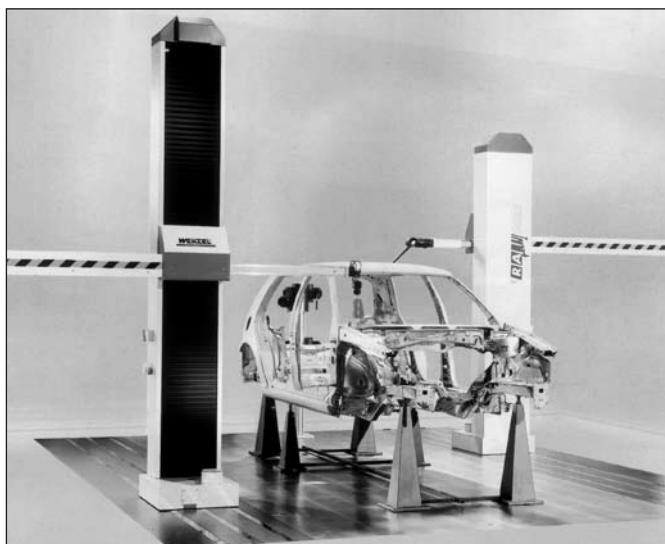
MĚŘICÍ STROJE SE ZNAČKOU WENZEL

V letošním roce se uskutečnilo několik zajímavých mezinárodních výstav a veletrhů (např. seminář *Měřicí technika pro kontrolu jakosti* v Plzni, veletrh zabezpečování jakosti CONTROL v Sinheimu nebo MSV Brno), kde bylo možno vidět některé zajímavé měřicí přístroje. V několika následujících číslech našeho časopisu si přiblížíme výrobní profil některých význačných výrobců měřicí techniky, které se uvedených akcí zúčastnily.



Obr. 1 CMM LH 108

Dnes Vám chceme přiblížit měřicí stroje firmy WENZEL PRÄZISION. Firma byla založena v roce 1968 ve Wiesthalu (Německo) se zaměřením na výrobu přesných měřidel. V roce 1980 vyrobila svůj první souřadnicový měřicí stroj. Do současné doby bylo dodáno různým zákazníkům více než 5,500 měřicích strojů různých typů. Firma má četná zahraniční zastoupení, v České republice je to pražská společnost BRT servis s.r.o.



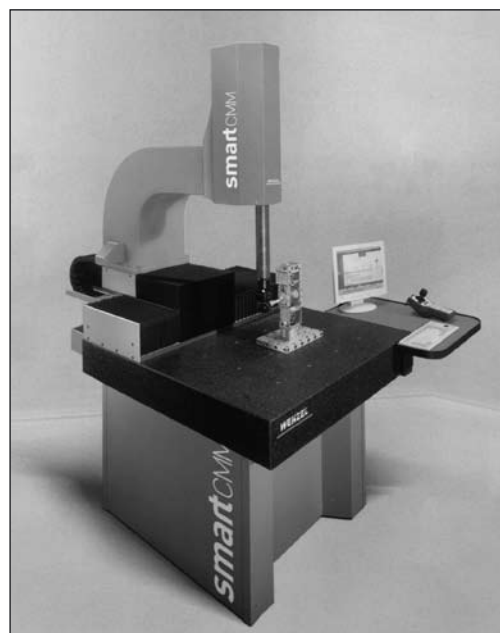
Obr. 2 Dvoustanový stroj RAFplus

SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE

Základním výrobním oborem jsou souřadnicové měřicí stroje (dále jen CMM – Coordinate Measuring Machines). Řada vyráběných typů zahrnuje stroje s různou technickou úrovní a různou přesností.

CMM řady LH jsou stroje portálového typu, všechny osy jsou uloženy na vzduchových ložiskách. Stroje jsou vybaveny různými dotykovými senzory, od jednoduchých měřicích sond až po přesné snímací systémy. Nejmenší stroj této řady (LH 54) má měřicí rozsahy $X = 500$ mm, $Y = 600$ mm, popř. 1000 mm, $Z = 400$ mm. největší stroj (LH 1512) $X = 1500$ mm, $Y = \text{max. } 5000$ mm, $Z = 1200$ mm. U malých typů této řady nepřekročí největší dovolená chyba $MPE_E (1,5 + L/350) \mu\text{m}$ za předpokladu použití snímací hlavy SP 25. Použití strojů řady LH je neobyčejně široké, od kontroly kvality výroby, přes vývoj prototypů až po reverzní inženýrství. Řada CMM LH-Gantry jsou velké stroje mostové konstrukce, stroje řady LHF (portálového typu) jsou určeny rovněž pro měření velkých rozměrů ($X = 3000$ mm, $Y = \text{max. } 6000$ mm, $Z = 2000$ mm).

Stojanové stroje s vodorovným ramenem řady RSplus, RA a RAplus představují širokou škálu jedno- a dvoustanových strojů, určených převážně pro automobilový průmysl, např. pro kontrolu karosérií a jejich dílů. Stroje dodávají v různých uspořádáních, jako ručně řízené, s motorickými posuvy nebo s CNC řízením.

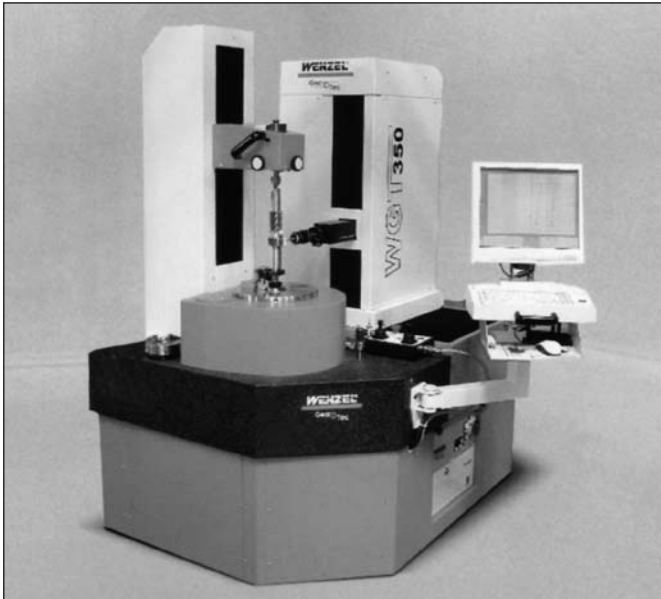


Obr. 3 Smart CMM

Mimo uvedené typové řady CMM připomínáme ještě dva měřicí stroje: Dílenský stroj **Smart CMM** je výložníkové konstrukce. Protože se předpokládá, že tento stroj bude pracovat v drsných dílenských podmínkách, jsou všechna vedení a měřítka zakrytována, stroj může být nasazen ve velkém rozmezí teploty okolního prostředí. Vyrábí se ve dvou typech, s měřicími rozsahy $X = 500$ mm, popř. 1000 mm, $Y = 450$ mm, $Z = 400$ mm.

Další souřadnicový stroj, určený pro práci ve výrobním prostředí i v měřicích laboratořích, je přesné měřicí centrum **Muthos**. Mostová konstrukce stroje přispívá k jeho velmi dobré tuhosti a chvění, typické pro obrobnu, je kompenzováno aktivními tlumiči. Předpokladem pro měření přímo v produkčním procesu je rychlost měření, charakterizovaná posuvovými rychlostmi, resp. zrychleními: max. 680 mm/s, popř. max. 2600 mm/s² (vektorově), takže **Muthos** se svými posuvovými rychlostmi, resp. zrychleními se blíží měřicím

robotům. Měřicí rozsahy CMM Muthos jsou $X = 1000$ mm, $Y = 1600$ mm a $Z = 800$ mm, rozlišitelnost $0,1 \mu\text{m}$. Stroj je uzpůsoben pro práci v širokém intervalu teplot, při měření v teplotním intervalu (18 až 22) °C nepřekročí největší dovolená chyba MPE_E hodnotu ($1,5 + L/300$) mm (L je měřená délka v milimetrech).



Obr. 4 Měřicí centrum pro kontrolu ozubení WGT350

Jako snímací hlavy se u těchto strojů používají různé typy hlav, např. PH6, měřicí senzory TP 20, TP 200, dále motorické a otočné hlavy PHS a řada skenovacích hlav, např. velmi přesná SP25/80, univerzální SP 600 a další. Pro bezdotyková měření je k dispozici optický senzor Phoenix, který je vybaven CCD kamerou s vysokým rozlišením pro zobrazení v rovině X - Y a multiplexní laserovou triangulací pro měření v ose Z .

U strojů Wenzel se používá měřicí a vyhodnocovací software Metrosoft CM, který vytvořila švýcarská sesterská společnost

METROMECC ve spolupráci s technologicky vyspělými podniky ze strojírenství, automobilového, leteckého a kosmického průmyslu. Software může pracovat s různými snímacími systémy (optický i dotykový).

MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL

Také v této oblasti nabízí firma WENZEL několik řešení. Příkladem může být měřicí centrum WGT 350/500, které slouží k měření čelních a kuželových ozubených kol, šneků a šnekových kol, odvalovacích fréz, ale také dalších strojírenských prvků, např. hřídelů, včetně vačkových a neznámých tvarů (radiální a axiální skenování). Lze kontrolovat ozubená kola \varnothing (5 až 350, popř. 500) mm, modulu $m = (0,5$ až 15 , popř. $20)$ mm. Měřicí systém tvoří čtyři osy (čtvrtá osa je realizována přesným otočným stolem). Jako měřicí prvky jsou použity snímače Renishaw, např. skenovací hlava SP 600 nebo SP 80. Software GearTec podporuje měření a vyhodnocování parametrů různých druhů ozubení a je certifikován v PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt).

Souřadnicové měřicí stroje se používají také často ke kontrole ozubených kol. Do soustavy tří pravouhlých souřadnic CMM je integrován přesný otočný stůl, kterým je realizována čtvrtá, rotační souřadnice. Na letošním mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně byl vystaven výložníkový stroj smartGEAR, uzpůsobený ke kontrole ozubení. Stroj je vybaven otočným dělicím stolem a 3D skenovací hlavou, největší dovolená chyba $MPE_E = (4,5 + L/300)$ μm , kde L je měřená délka v milimetrech. Měření ozubených kol lze také provádět na univerzálních CMMS, např. řady LH s integrovaným otočným stolem (max. 800 mm), větší ozubená kola, do 2000 mm, se kladou přímo na měřicí stůl.

ZÁVĚR

Systém zabezpečování kvality firmy WENZEL je orientován procesně a byl certifikován podle DIN EN ISO 9000:2000, VDA 6, část 4 a DIN EN ISO 14001. Společnost WENZEL byla také akreditována od DKD (Deutscher Kalibrierdienst) jako kalibrační laboratoř pro souřadnicové měřicí stroje. O velmi dobré úrovni vyráběných strojů svědčí bavorská státní cena za kvalitu, udělená zakladateli firmy, panu Werneru Wenzelovi v roce 2000.

Čeněk Nenáhlo, dipl. tech.

Kontakt: Čeněk Nenáhlo, dipl. tech., Česká metrologická společnost, Novotného lávka 5, 116 68 Paha 1, tel./fax: 221 082 254

Měření fluorescenčního zisku vzduchu projektem AIRFLY

Při průletu částic kosmického záření horními vrstvami atmosféry dochází k interakci mezi nimi a molekulami vzduchu. To tvoří základ detekce těchto částic fluorescenčními detektory (FD). Znalost účinnosti fluorescenční emise je nezbytným předpokladem pro absolutní kalibraci fluorescenčních detektorů používaných v projektech typu Pierre Auger Observatory a dalších, které se zabývají otázkami vysokoenergetických kosmických záření s použitím FD detektorů. Cílem experimentu AIRFLY je změření fluorescenčního zisku ve vzduchu v závislosti na energii částice v rozmezí 50 až 800 MeV s přesností lepší než 5 %.

Projekt byl realizován v Beam Test Facility (BTF) v italských národních laboratořích INFN ve Frascati poblíž Říma, a v Argonne National Laboratories (ANL) poblíž Chicaga v USA. Protože

intenzita fluorescenční emise závisí výrazněji na tlaku okolního vzduchu oproti závislosti na teplotě, rozhodli jsme se tyto závislosti studovat samostatně. K tomuto účelu byly navrženy dvě detekční komory pro detekci fluorescence a Čerenkovské emise. Jedna komora (italský návrh) je navržena pro měření závislosti intenzity fluorescenční emise na tlaku a intenzity Čerenkovské emise. Druhá komora (český návrh) byla navržena pro teplotní měření intenzity fluorescenční emise.

Na tomto projektu spolupracují týmy z Itálie, Německa a České republiky. Naše země je zde zastoupena Fyzikálním ústavem AV ČR, v. v. i. a Společnou laboratoří UP a FZÚ AV ČR, Olomouc.

Libor Nožka

Laboratorní měření průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem

Článek se zabývá vývojem a zhodnocením dvou možností měření okamžité průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem vybaveným kondicionérem (mačkačem nebo čechračem). Jmenované stroje jsou v současné době běžně používány pro sklizeň trvalých travních porostů i pícnin pěstovaných na orné půdě (jetele a vojtěšky). Měření proběhla na rotačním žacím stroji vybaveným prstovým čechračem. Pro účely našeho měření byl rotační žací stroj vybaven torzním kardanovým dynamometrem umístěným na hřídeli pohonu čechrače, který snímal točivý moment hřídele čechrače a jeho otáčky. Žací stroj byl rovněž vybaven zakřivenou nárazovou deskou umístěnou na výstupu materiálu z čechrače. Za účelem zjištění případné závislosti údajů z torzního kardanového dynamometru a z nárazové desky byla uspořádána laboratorní měření, při kterých byla použita směska vojtěšky s trávou. Měření ukázala dobrou lineární závislost příkonu čechrače a síly měřené prostřednictvím zakřivené nárazové desky na průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem. Zjištěné koeficienty determinace se pohybovaly v okolí hodnot $R^2 = 0,95$. Při měřeních bylo možno pomocí obou metod rozlišit změny průchodnosti materiálu $0,5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ a to by mělo být dostačující pro praktické použití těchto metod například pro tvorbu výnosových map.

Klíčová slova: žací stroje, měření průchodnosti, kondicionér, příkon, nárazová deska.

1. ÚVOD

Měření okamžité průchodnosti pícnin při jejich sklizni rotačním žacím strojem může být použito pro některé aplikace v rámci precizního zemědělství. Informace o okamžité průchodnosti materiálu společně s informacemi o okamžité poloze stroje mohou být použity pro vytváření výnosových map při sklizni pícnin.

Již v minulosti byly publikovány metody pro měření průchodnosti jiného stroje pro sklizeň pícnin, a to sklízecí řezačky. Vansichen a De Baerdemaeker [13] počítali okamžitý výnos z momentu měřeného na hřídeli metače sklízecí řezačky. Jinou možností je měřit vzdálenost vkládacích válců řezačky [1, 2, 4, 5, 7, 12]. Auernhammer a Demmel [1] měřili výnos rovněž pomocí nukleárního senzoru umístěného v odhazové koncovce sklízecí řezačky. Měření průchodnosti materiálu u návěsné sklízecí řezačky prostřednictvím zakřivené nárazové desky umístěné v odhazové koncovce se zabýval Missotten et al. [8]. Podobná čidla byla testována i jinými autory [2, 7, 12] pro samojízdnu sklízecí řezačky. Martel a Savoie [7] měřili kapacitu kondenzátoru umístěného v odhazové koncovce sklízecí řezačky a Schmittmann et al. [12] měřili tloušťku vrstvy odhazovaného materiálu a jeho rychlost. Některé z těchto popsanych metod (např. vzdálenost vkládacích válců, nárazová deska a tloušťka vrstvy odhazovaného materiálu) jsou velmi zajímavé a vykazovaly dobré hodnoty jejich koeficientu determinace s okamžitou průchodností ($R^2 = 0,94$ až $0,98$). Některé z metod (např. vzdálenost vkládacích válců nebo kapacita kondenzátoru v odhazové koncovce) vyžadují pro svou správnou funkci množství kalibračních parametrů.

Měření výnosu biomasy ve stojících porostech obilovin bylo použito Ehlerter et al. [6]. Autoři používali tažené kyvadlo zavěšené nad porostem tak, aby do něj zasahovalo. Podle úhlu odklonu kyvadla od svislé osy bylo možné vypočítat výnos biomasy. Tento systém má praktické použití pro hnojení obilovin v reálném čase. Kyvadlo před traktorem snímá okamžitý výnos a tomu je přizpůsobována dávka dusíkatého hnojiva.

Technika měření okamžitého výnosu u rotačních žacích strojů není zdaleka tak dobře propracována. Demmel et al. [3] použili principu vážení překládacího dopravníku, kterým bývají vybavené některé moderní rotační žací stroje. Následně Ruhland et al. [9] určovali výnos na základě požadavků na příkon tohoto překládacího

dopravníku. Rovněž byl vyvinut pulzní radarový systém [14], ale čidla tohoto systému ještě potřebují určitá vylepšení.

Shinners et al. [10] vyvinuli a testovali systémy pro měření okamžitého výnosu na samojízdnom žacím řádkovači-mačkači. Měřili sílu stlačení válců mačkače, změnu jejich vzdálenosti a sílu na plechovou desku formující řádek jako možnosti pro určení okamžité průchodnosti rostlinného materiálu strojem. Jediným systémem, který vykázal při měření slibné výsledky, bylo měření síly na desku formující řádek. Následně Shinners et al. [11] vybavili stejný stroj následujícími čidly: tlakové čidlo pro měření příkonu hydraulického čerpadla pohánějícího žací vál, čidlem měření rychlosti otáčení mačkáčích válců, tenzometrickými čidly pro měření síly nárazu materiálu na desku formující řádek a potenciometrickými čidly měřícími objem materiálu na řádku vystupujícím z desky, která ho formovala. Měření objemu řádku bylo v dobré relaci s průchodností materiálu, když byl výstup tohoto čidla zpřesňován informací o sklonu desky formující řádek a informací o rychlosti otáčení válců mačkače.

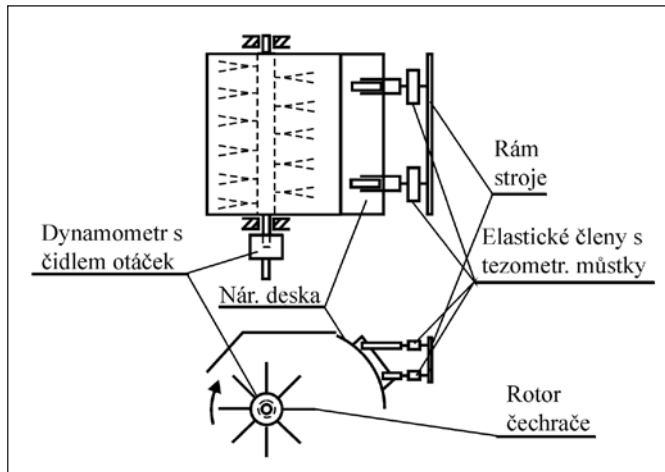
Z předchozího literárního přehledu je zřejmé, že zatím neexistuje čidlo vhodné pro nesené nebo návěsné rotační žací stroje vybavené kondicionérem, avšak bez překladače řádků, který stále není běžným vybavením zmíněných strojů. Výzkum a vývoj čidla okamžité průchodnosti materiálu je proto hlavní náplní tohoto příspěvku.

Dalším důvodem je skutečnost, že v současné době mají zemědělci k dispozici pouze systémy, které jsou schopny vytvořit výnosové mapy zrnin. Pro správné využívání systému precizního zemědělství je však třeba znát co největší množství informací, tedy například i výnosové mapy v letech, kdy jsou na pozemcích pěstovány pícniny na orné půdě (u nás zpravidla jetel nebo vojtěška).

2. MATERIÁL A EXPERIMENTÁLNÍ METODA

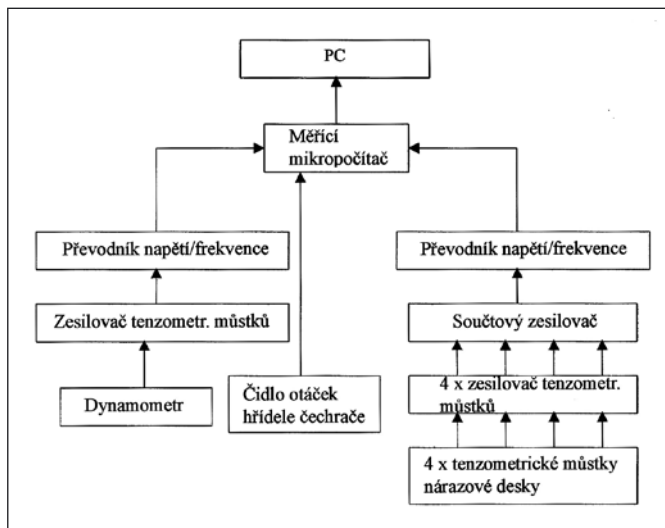
Pro účely našich měření byl použit traktorový vřzdu nesený rotační žací stroj ŽTR 216 H od našeho výrobce Agrostroje Pelhřimov. Jedná se o rotační žací stroj se dvěma bubny, který je vybaven prstovým čechračem posečené píče. Pracovní záběr stroje je 2,15 m. Žací stroj byl vybaven námi vyvinutou měřicí aparaturou. Na hřídel čechrače byl umístěn torzní kardanový dynamometr vybavený rovněž optickým čidlem otáček, které měřilo rychlost otáčení hřídele čechrače.

Kromě dynamometru byl stroj dále vybaven zakřivenou nárazovou deskou umístěnou na výstupu materiálu z čechrače. Materiál, který byl odhazován rotorem čechrače, tak při svém toku ze stroje narážel na zakřivenou nárazovou desku, která měnila jeho směr. Nárazová deska byla osazena tenzometrickými můstky měřícími sílu, kterou na ni vyvíjel materiál vycházející ze stroje. Nákras čechrače vybaveného oběma čidly je na *obrázku 1*.



Obr. 1 Mechanické vybavení čechrače rotačního žacího stroje pro měření průchodnosti materiálu

Napětové signály z tenzometrů umístěných v torzním kardanovém dynamometru a z tenzometrů na čtyřech tenzometrických můstcích nárazové desky byly pomocí námi vyvinutého zařízení zesíleny a následně přeměněny na frekvenci. Výstupní frekvence byla přímo úměrná napětí měřenému na tenzometrech. Všechny signály byly následně zpracovány jednočipovým mikro počítačem a získaná data byla exportována do PC, kde byla ukládána do datového souboru. Blokové schéma zapojení elektronické měřicí aparatury je na *obrázku 2*.

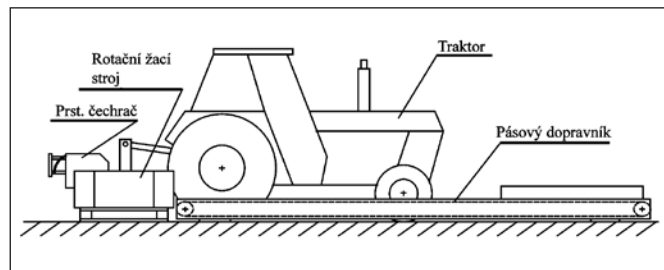


Obr. 2 Blokové schéma zapojení měřicí aparatury

Před započítáním měření bylo nejprve nutné nakalibrovat obě měřicí čidla. Pro měření točivého momentu na hřídeli čechrače byl použit torzní kardanový dynamometr vyrobený Výzkumným ústavem zemědělské techniky v Praze. Princip práce dynamometru je založen na funkci tenzometrických můstků. Zmíněný dynamometr byl nakalibrován na k tomu určené kalibrační stolici v rozmezí

0 až 800 N.m a to jak při zatěžování, tak při odlehčování. Při kalibraci již byl signál z dynamometru zpracováván všemi zmíněnými elektronickými prvky (tedy zesílen a přeměněn na frekvenci, která byla následně snímána a zapisována do souboru v PC). Závislost výsledné naměřené výstupní frekvence na měřeném momentu byla lineární s přesností do 1 % v celém rozsahu kalibračního rozmezí. Takto získaná kalibrační křivka byla následně použita pro výpočet točivého momentu z naměřené výstupní frekvence. Signály z optického čidla pro měření otáček hřídele čechrače byly rovněž zpracovávány v jednočipovém mikro počítači.

Zakřivená nárazová deska byla navržena a zkonstruována tak, aby její rozměry odpovídaly rozměrům ústí čechrače námi použitého rotačního žacího stroje. Plocha nárazové desky byla několikanásobně větší ve srovnání s čidly okamžité průchodnosti zrna, která jsou v současnosti již běžně komerčně používaná na sklízecích mlátičkách a která pracují na podobném principu. Těto skutečnosti musela být přizpůsobena její konstrukce. Nárazová deska byla spojena s rámem namontovaným k rámu stroje čtyřmi elastickými členy, které byly vybaveny tenzometrickými můstky. Každý z takto vyrobených elastických členů byl vybaven svým vlastním zesilovačem, který zesiloval výstupní napětí každého z tenzometrických můstků. Výstupní napětí z těchto čtyř zesilovačů bylo posléze sčítáno v součtovém zesilovači. Výstupní napětí součtového zesilovače bylo pak převedeno převodníkem na frekvenci. Pulsy z frekvenčního měniče byly načítány po dobu 0,5 s pomocí jednočipového mikro počítače a výsledky byly posílány prostřednictvím portu RS 232 do PC.



Obr. 3 Vybavení měřicího stanoviště pro měření průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem

Kalibrace nárazové desky byla rozdělena do dvou kroků. V prvním kroku byly zkalibrovány jednotlivé elastické členy s tenzometrickými můstky tak, aby jejich výstupní napětí v závislosti na zatížení silou v daném rozmezí bylo stejné. Účelem druhého kroku kalibrace bylo dosáhnout, aby výsledné napětí součtového zesilovače nezáviselo na místě, ve kterém působí síla na nárazovou desku. Aby bylo této podmínky dosaženo, byly hodnoty napětí každého z tenzometrických můstků přesně nastaveny pomocí odporových děličů.

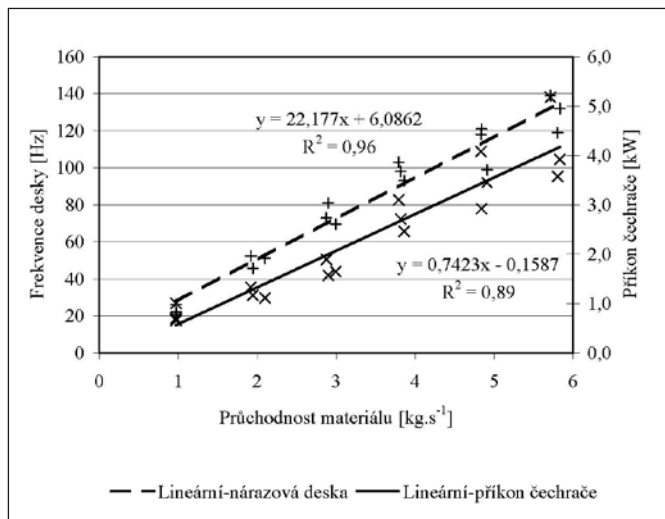
Všechna laboratorní měření se uskutečnila na měřicím stanovišti, které se skládalo z pásového dopravníku dopravujícího určené množství materiálu, z traktoru pohánějícího výše zmíněný rotační žací stroj a z tohoto rotačního žacího stroje vybaveného elektronickou měřicí aparaturou. Schéma uspořádání měřicího stanoviště je na *obrázku 3*.

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

Pro měření byla použita směska trávy a vojtěšky. Materiál byl transportován do stroje pomocí pásového dopravníku po dobu 5 s pro každé měření. Signály z torzního dynamometru, čidla otáček hřídele čechrače a nárazové desky byly odečítány každou 0,5 s. Z každého měření tak bylo získáno 10 hodnot výstupní frekvence pro točivý moment, otáčky hřídele čechrače a nárazovou desku. Každé měření s daným předem definovaným množstvím materiálu bylo opakováno nejméně třikrát. Takto získaná data byla následně použita pro další početní a grafické zpracování.

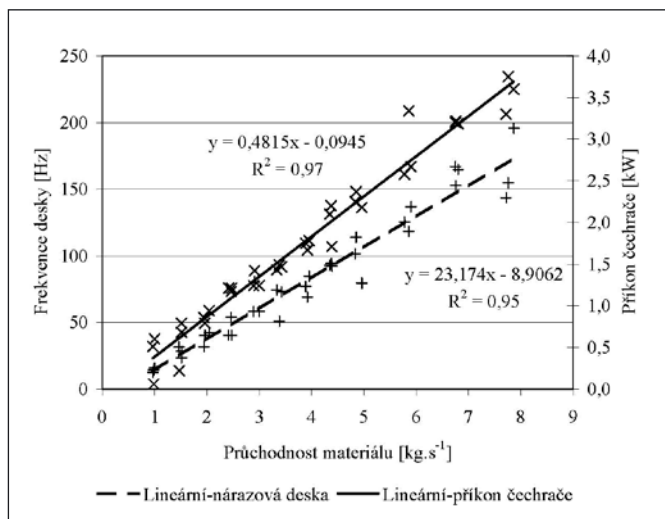
Měření proběhlo během dvou dnů. První den měření bylo množství materiálu postupně zvyšováno po 1 kg.s⁻¹. Druhý den, po prvním zhodnocení dat získaných během prvního dne měření, bylo měřené množství materiálu zvyšováno po 0,5 kg.s⁻¹.

Získaných 10 hodnot z každého měření bylo pro následné hodnocení zprůměrováno. Takto získaný průměr byl následně použit pro další výpočty a konstrukci grafů. Z otáček hřídele čechrače a momentu na tomto hřídeli byl vypočten příkon čechrače. Na *obrázku 4* je graf získaný z dat obdržných v prvním dnu měření. Z grafu je patrné, že příkon čechrače závisel lineárně na průchodnosti materiálu, stejně tak jako údaje získané z nárazové desky. Koeficienty determinace (R^2) byly vypočítány 0,96 pro nárazovou desku a 0,89 pro příkon čechrače měřený prostřednictvím torzního kardanového dynamometru.



Obr. 4 Závislost příkonu čechrače a výstupní frekvence zařízení měřícího nárazovou sílu prostřednictvím zakřivené nárazové desky na průchodnosti materiálu. První den měření

Měření byla opakována po prvotním zhodnocení následující den. Po oba dny měření byl použit stejný materiál. Jeho vlastnosti se tedy mírně změnily, především díky předchozímu působení čechrače a mírnému proschnutí. Souhrnně lze konstatovat, že rostlinný materiál byl během druhého dne více homogenní. Průchodnost



Obr. 5 Závislost příkonu čechrače a výstupní frekvence zařízení měřícího nárazovou sílu prostřednictvím zakřivené nárazové desky na průchodnosti materiálu. Druhý den měření

materiálu byla zvyšována až do hodnoty 5 kg.s⁻¹ po 0,5 kg.s⁻¹. Od průchodnosti materiálu 5 kg.s⁻¹ do maximální průchodnosti 8 kg.s⁻¹ bylo množství materiálu zvyšováno po 1 kg.s⁻¹ v důsledku jeho nedostatečného množství. Výsledky druhého dne měření jsou graficky znázorněny na *obrázku 5*.

Obrázek 5 souhlasí s obrázkem 4 v tom, že byla potvrzena lineární závislost údajů obou sledovaných přístrojů na průchodnosti materiálu rotačním žacím strojem. Pro nárazovou desku byl určen koeficient determinace $R^2 = 0,95$ a pro dynamometr $R^2 = 0,97$. Lepší hodnotu koeficientu determinace pro měření pomocí torzního kardanového dynamometru lze vysvětlit právě díky lepší uniformitě měřeného materiálu. Jestliže byly vlastnosti materiálu zhomogenizovány předchozím působením čechrače, byly rovněž naměřené hodnoty a tím i vypočtený průměr homogennější. Homogenita materiálu neměla takový vliv na měření prostřednictvím nárazové desky jako v případě měření příkonu čechrače. Z obrázku 5 rovněž vyplývá, že prostřednictvím obou měřících metod je možné rozlišit průchodnost s přesností 0,5 kg.s⁻¹. To by mělo být dostatečné pro praktické použití obou metod například pro tvorbu výnosových map. Schmittmann et al. [12] rozlišovali změny průchodnosti materiálu sklízecí rezačkou různými způsoby s přesností 2 kg.s⁻¹.

4. ZÁVĚR

Laboratorními měřeními byla zjištěna silná lineární závislost příkonu čechrače a údajů z nárazové desky na průchodnosti rostlinného materiálu rotačním žacím strojem. Měření ukázala, že příkon čechrače je citlivější na vlastnosti materiálu než nárazová deska. Z praktického hlediska se jedná o nevýhodu, protože měření průchodnosti prostřednictvím měření příkonu čechrače by vyžadovalo častější kalibraci, než měření průchodnosti prostřednictvím síly vyvíjené sklízecím materiálem na zakřivenou nárazovou desku. Oba systémy v našem provedení by však měly být vhodné k tvorbě výnosových map.

Poděkování: Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT pod označením MSM 6046070905.

Literatura

- [1] Auernhammer, H., Demmel, M., Pirro, P. 1996. Lokale Ertragsermittlung mit dem Feldhäckslern. Landtechnik 3, 152-153.
- [2] Barnett, N. G., Shinnars, K. J. 1998. Analysis of systems to measure mass-flow-rate and moisture on a forage harvester. ASAE Paper No. 981118. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- [3] Demmel, M., Schwenke, T., Heuwinkel, H., Locher, F. and Rottmeier, J. 2002. Lokale Ertragsermittlung in einem Scheibenmäherwerk mit Aufbereiten. (Local Yield Monitoring in a Mower Conditioner with Windrowing Device). In: Proceedings of Conference: Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, Germany, pp. 139 – 143.
- [4] Diekhans, N. 2002. Ein praxisnahes Verfahren für eine Ertragsmessung an Feldhäckslern. (A Practical Solution for Yield Measurement on a Forage Harvester). In: Proceedings of Conference: Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, Germany, pp. 133-137.
- [5] Ehlert, D. and Schmidt, H. 1995. Ertragskartierung mit Feldhäckslern. (Yield Mapping in Forage Harvesters). Landtechnik 4/95, 204 – 205.
- [6] Ehlert, D., Volker, U. and Kalk, W.-D. 2002. Sensorgestützte Stickstoffdüngung in Winterweizen. (Sensor Based Nitrogen Fertilization in Winter Wheat). In: Proceedings of Conference Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, Germany, pp. 127-132.
- [7] Martel, H. and Savoie, P. 1999. Sensors to Measure Forage Mass Flow and Moisture Continuously. ASAE Paper No. 991050, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.

- [8] Missotten, B., Broos, B., Strubbe, G. and De Baerdemaeker, J. 1997. A Yield Sensor for Forage Harvesters. In: Precision Agriculture 1997, Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture. Ed. J. V. Stafford. BIOS Scientific Publishers Ltd, Oxford, UK. pp. 529 – 536
- [9] Ruhland, S., Haedicke, S. and Wild, K. 2004. A Measurement Technique for Determination of Grass. In: Proceedings of Conference Agricultural Engineering, Dresden, VDI Verlag GmbH, Germany, pp. 317 – 324.
- [10] Shinnars, K. J., Barnett, N. G. and Schlessler, W. M. 2000. Measuring Mass-Flow-Rate on Forage Cutting Equipment. ASAE Paper No. 001036, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- [11] Shinnars, K. J., Huenink, B. M., Behringer, C. B. 2003. Precision Agriculture as Applied to North American Hay and Forage Production. In: Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing. ASAE Publication Number 701P1103e. Ed. Graeme Qick, Louisville, Kentucky, USA.
- [12] Schmittmann, O., Kromer, K-H. and Weltzien, C. 2001. Yield Monitoring on Forage Harvester. In: Proceedings of PMA 2001, CUA Prague, Czech Republic, pp. 286 – 291.
- [13] Vansichen, R. and De Baerdemaeker, J. 1993. A measurement technique for yield mapping of corn silage. Journal of Agriculture Engineering Research, **55** 1-10.
- [14] Wild, K., Ruhland, S. and Haedicke, S. 2003. Pulse radar systems for yield measurements in forage harvesters. In: Precision Agriculture, Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, eds. J. Stafford and A. Werner, Wageningen Academic Publishers, Netherlands, pp. 739-744

Doc. Dr. Ing. František Kumhála, Ing. Milan Kdoulím, Ph.D, Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra zemědělských strojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, e-mail: kumhala@tf.czu.cz

Václav Prošek, Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra využití strojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchdol

Gabriel VARGA, Igor ŠTUBŇA, Alžbeta VÁŽANOVÁ, Rudolf PODOBA, Katedra fyziky Univerzity Konštantína Filozofa, Nitra
Anton TRNÍK, Department of chemistry, Texas Christian University, Fort Worth, TX, USA

Determination of the vibrating flexural mode of the sample with uniform cross-section

Five methods for determination of the resonant frequencies of the flexural vibration of a sample are shown. A simplified differential partial equation is used to estimate the values of the frequencies. For an unknown sample the Lissajous figure method as well as the method using different lengths of samples are most suitable. For samples with a known elastic behaviour a comparison of the fundamental mode and the 1st overtone frequencies can be used or a calculation of the resonant frequency from the dimensions and the known Young's modulus can be made.

Key words: flexural vibration, resonant frequency

1 INTRODUCTION

Elastic properties of solid materials are of considerable significance to the understanding of the mechanical behaviour of engineering materials, which is important for design of new materials as well as to the calculations in different fields of engineering. The most commonly used methods for determination of the elastic parameters of metals and ceramics as well as for biological materials (e.g. wood [1, 2] or straw [3]) are resonant techniques. Resonant technique methods are relatively simple and produce very low mechanical stress that does not initiate inelastic processes in tested materials. Under such a low stress the assumptions of the elastic theory of vibration are well fulfilled. The advantage of these methods is their applicability in high temperature measurements [4-6].

In this study a free-free sample with a uniform cross-section and its flexural vibration are considered because in this case the theoretical assumptions are best fulfilled.

As is well known, the simplified partial differential equation of the flexural vibration of samples with a uniform cross-section (cylinders or prisms) made of isotropic elastic material is [7-9]

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c_0^2 t^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \quad (1)$$

where x, y are the coordinates of the mass element of the sample [m], t are time [s], c_0 are sound velocity (i.e. the velocity of the longitudinal wave propagation in the sample) [m/s], i the radius of gyration of the cross-section [m]. For a sample with a circular cross-section, the radius of gyration $i = d/4$ and for a sample with a square cross-section $i = d/\sqrt{12}$, where d is the diameter of the cylindrical sample or a thickness of the prismatic sample in the direction of vibration [m]. Eq. (1) describes a vibrational motion of the sample with a sufficient precision only when the ratio $ld > 20$. The frequency equation derived from Eq. (1) is

$$\cos(al) \operatorname{ch}(al) = 1, \quad (2)$$

where l is the length of the sample [m], $a = \sqrt{\omega}/ic_0$, ω is the angular resonant frequency [1/s]. The relationship for the sound velocity derived from the Eq. (2) has the form [10]

$$c_0 = K_0 \frac{l^2 f_0}{d}, \quad (3)$$

where f_0 is the resonant frequency of the fundamental mode [Hz] and the values of the constant K_0 are:

$K_0 = 1.12336$ for a cylindrical sample and the fundamental resonant frequency,

$K_0 = 0.97286$ for a prismatic sample and the fundamental resonant frequency.

Although Eq. (3) is not fully exact for samples with $l/d < 20$, its form is convenient and the precision is sufficient for our purpose.

The relationship between the sound velocity and Young's modulus is

$$E = c_0^2 \rho, \quad (4)$$

where E is Young's modulus [GPa], ρ material density [kg/m³].

The use of Eq. (3) or of a more accurate equation for $l/d < 20$ is possible only if one has a certainty that the measured frequency is really a resonant frequency of the fundamental mode of the flexural vibration. It is a common practice to measure series of frequencies and then the researcher has to solve the problem of which frequency belongs to the fundamental mode.

Most measurements deal with the fundamental mode of vibration. For this reason we describe methods that help us to distinguish the true resonant frequency from misleading frequencies.

The aim of this contribution is to give a short review of methods serving to determine the true resonant frequency.

2 DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL MODE FOR THE KNOWN MATERIAL

If we know the dimensions of the sample and its material type (e.g. the sample is made of steel for which the table values are $E \approx 200$ GPa, $\rho \approx 7800$ kg/m³), then from Eqs. (3) and (4) we can calculate the sample resonant frequency corresponding to the fundamental mode of the flexural vibration.

3 DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL MODE FROM SAMPLE DIMENSIONS

There are two possible ways to determine the resonant frequency from Eq. (3). The first one is based on the change of l if $d = \text{const}$ and the second one is based on the change of d if $l = \text{const}$. The first method is more convenient because it is much easier to prepare a set of samples with different lengths and the same diameter or thickness.

For samples with different lengths we measure the resonant frequencies $f_{01}, f_{02}, \dots, f_{0n}$ and, substituting them into Eq. (3), we obtain

$$c_0 = K_0 \frac{l_1^2 f_{01}}{d}, \quad c_0 = K_0 \frac{l_2^2 f_{02}}{d}, \quad \dots, \quad c_0 = K_0 \frac{l_n^2 f_{0n}}{d}. \quad (5)$$

From these equations we get

$$\frac{f_{02}}{f_{01}} = \frac{l_1^2}{l_2^2}, \dots \quad (6)$$

Thus, we can estimate experimentally gained changes of the resonant frequency for different lengths of the sample. In *Tab. 1* the experimental and the calculated results for different l and a constant d are shown.

Tab. 1 The ratio of resonant frequencies for different sample lengths

sample	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
l [mm]	159	141.18	120.03	108.56	94.31	84.39
$f_{0\text{exp}}$ [Hz]	1419	1837	2522	3074	4132	5138
f_i/f_1 exp	1	1.29	1.79	2.17	2.91	3.62
f_i/f_1 Eq. (5)	1	1.27	1.75	2.15	2.84	3.55

From the last two rows we can see that the ratios for the experimental and the theoretical values are very close to each other. From this we can conclude that the experimental frequencies correspond to the fundamental mode of the sample.

4 DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL MODE FROM OVERTONES

The 1st overtone (as well as higher overtones) can also be used for the determination of the sound velocity. Because we assume that the sound velocity is independent of the frequency, we can write

$$c_0 = K_0 \frac{l^2 f_0}{d}, \quad c_0 = K_1 \frac{l^2 f_1}{d}, \quad (7)$$

where K_0 is the constant from Eq. (3) and K_1 are $K_1 = 0.40752$ for a cylindrical sample and the 1st overtone, $K_1 = 0.35292$ for a prismatic sample and the 1st overtone.

Then from Eq. (7) we obtain the ratio of the resonant frequencies f_1/f_0 . This ratio is the same for a cylindrical as well as a prismatic sample and is equal to ~ 2.75 . The test for the correctness of the resonant frequencies is based on measuring f_0 and f_1 . If their ratio f_1/f_0 is close to 2.75, we can say that they correspond to the fundamental mode and the 1st overtone.

5 DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL MODE FROM NODAL POINTS

Let the driver be at the point K (*Fig. 1*) and change the position of the sensor. The vibrational amplitudes have negative values in parts KL and MN and positive values in the part LM. The amplitude of the signal changes to the opposite value at nodal points L and M, which is where the sensor passes through them. The amplitudes in the nodal points L and M are equal to zero. We can find the nodal points with a millivoltmeter connected to the sensor S as places where the millivoltmeter reading passes through minimum.

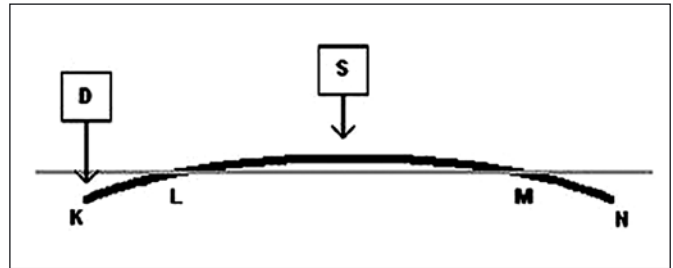


Fig. 1 The fundamental mode of the vibrating sample with two nodal points L and M. A driver D is on one end of the sample, a sensor S is movable

The most correct method for determination of the position of the nodal points is based on the Lissajous figures. The Lissajous figure is a graph of the system of the parametric equations

$$x = A \sin(\omega_1 t + \delta), \quad y = B \sin(\omega_2 t), \quad (8)$$

where ω = an angular frequency [1/s], δ = the phase shift between harmonic motions x and y [rad]. For the ratio $\omega_1/\omega_2 = 1$, the Lissajous figures are lines with different slopes if $\delta = 0$ or $\delta = \pi$. In practice we obtain an ellipse, as can be seen in *Fig. 2*, instead of the theoretical line.

To depict the Lissajous figures we used a device shown in *Fig. 3*. The shape of the ellipse can be adjusted by the potentiometer P and by the magnitude of the signal from the sensor S and the amplifier A which feeds the oscilloscope input Y.

The driver is at the point K of the sample, and we change the position of the sensor. We know that the angular frequencies of parts

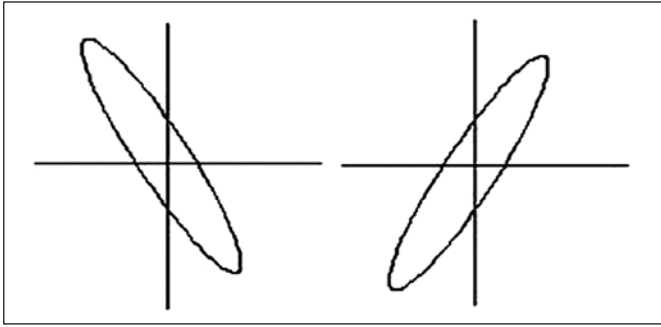


Fig. 2 The Lissajous figures for the ratio of the angular frequencies $\omega_1 : \omega_2 = 1:1$ and for the phase shift 0° (right figure) and 180° (left figure) as they are usually measured

KL and MN are in phase and that the shape of the Lissajous figure is the right ellipse in Fig. 2. If the sensor passes through point L or M, the Lissajous figure changes into the left form depicted in Fig. 2. These changes are an unambiguous proof of the existence of nodal points.

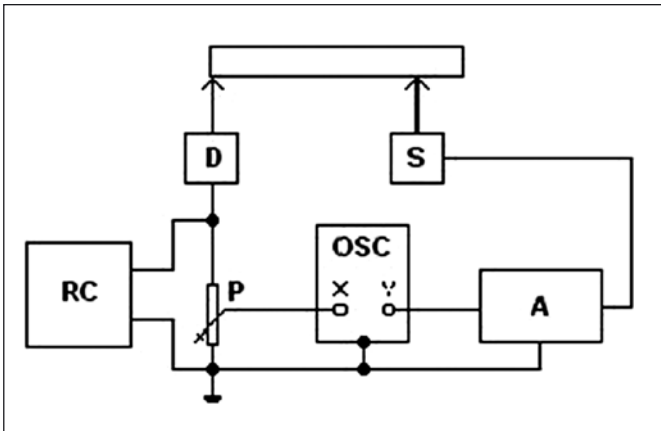


Fig. 3 A scheme for searching for nodal points with the help of the Lissajous figures. RC – oscillator, D – driver, S – sensor, A – amplifier, OSC – oscilloscope, P - potentiometer

6 CONCLUSION

In this paper we have shown five methods to determine the resonant frequencies of flexural vibration of a sample. We used a partial differential equation to estimate the values of the resonant frequencies. If a sample is unknown, we propose to use a method based on the Lissajous figures or a method using different lengths of samples. For samples for which their elastic behaviour is partially known, we propose to compare the fundamental mode to the 1st overtone frequencies or calculating the resonant frequencies from the dimensions and the known fundamental resonant frequency.

Acknowledgement

This work was supported by the grant VEGA 1/3179/06.

References

- [1] Igaz, R.: In: *Proc. 8th Int. Colloquium Acoustics 2004*, Zvolen 2004, p. 31-34
- [2] Igaz, R. – Ružinská, E.: In: *Proc. 8th Int. Colloquium Acoustics 2004*, Zvolen 2004, p. 35-38
- [3] Dunca, J.: *Zemědělská technika*, **38**, 1992, s. 345-351
- [4] Minárik, S. – Labaš, V. – Kalužný, J. – Kozík, T. – Mariani, E.: In: *Proc. Conf. Applied Informatics and Automation*, Dolná Krupá, 1994, p. 118-121
- [5] Kaštaljan, J. A.: *Charakteristiki uprugosti materialov pri vysokich temperaturach*. Izd. Naukova dumka, Kiev 1970
- [6] R. Brepta, M. Prokopec, M.: *Šíření napětových vln a rázy v tělesech*, Academia, Praha (1972)
- [7] Štubňa, I. - Kozík, T. - Hanic, F.: *Ceramics International*, **18**, 1992, p. 353-354
- [8] Gonda, J.: *Kmitanie nosníkov a hriadelov*. Vydavateľstvo SAV, Bratislava (1969)
- [9] Timoshenko, S.P.: *Vibration problems in engineering*. D. Van Nostrand Co., New York (1955)
- [10] E. Schreiber - O. Anderson - N. Soga: *Elastic constants and their measurement*, McGraw-Hill Book Co., New York (1973)

Bohemia Machine slavila 15. výročí v novém

Firma Bohemia Machine, s.r.o. dne 5. 10. 2007 při příležitosti 15. výročí své působnosti, slavnostně otvírala nové výrobní a kancelářské prostory ve Světlé nad Sázavou.

Od začátku své působnosti se firma zaměřovala na sklářský průmysl, kdy nejdříve vybavovala soukromé brusírny kuličkovými a hladinovými stroji a jejich příslušenstvím. Postupem času se firma soustředila na české sklárny, které vybavuje jednotlivými stroji a linkami a také zpracovává zakázky od zadání studie až po komplexní předání díla na klíč.



Mezi hlavní zákazníky patří přední české a slovenské sklárny jako SKLO BOHEMIA Světlá nad Sázavou, KAVALIER Sázava, PRECIOSA Jablonec nad Nisou, SLOVGLASS Poltár, SKLO-OBAL Nemšová, ORNELA Desná a řada dalších. Bohemia Machine, s.r.o., dodává nejenom na český a slovenský trh, ale také do

zahraničí – GLOBE METAL INDUSTRIES Indie, HANOI GLASS COMPANY Vietnam, GALWAY CRYSTAL Irsko, MICHAEL BONKE Německo, STENCBRUKNER Rakousko, KOLGLASS HURT Polsko, MUSEUM OF ART USA, SORG, STÖLZLE UNION a řada dalších.

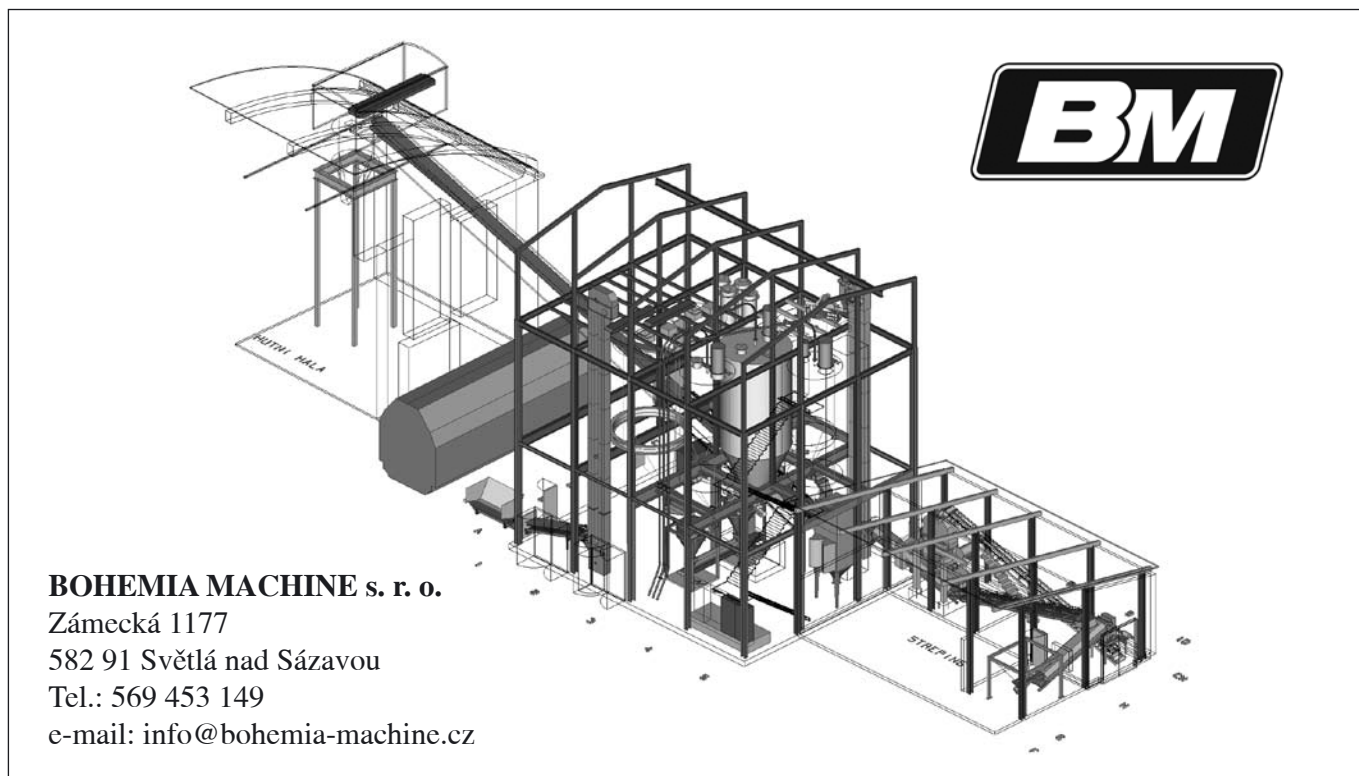
Vedle hlavního směru, kterým je výše zmíněná výroba strojů a zařízení, se firma zabývá přesným rovinným broušením optických čoček a hranolů. Hlavním zákazníkem v této oblasti je firma EKOGLASS Jablonec nad Nisou. Ve spolupráci s touto firmou dochází za posledních několik let k ročnímu růstu produkce o desítky procent. Proto i do budoucna bude tato činnost firmy jedním z hlavních směrů očekávaného růstu.

Dalším směrem, kterým se firma Bohemia Machine vydala je dekorace skla. Dekorace se provádí broušením, matováním pískováním a také barvením. Firma má vlastní brusírenský provoz a barevnu. Sortiment z této výroby se dodává na český a slovenský trh, ale exportuje také do zahraničí – Francie, Německo, Dánsko, Anglie, apod.

Firma Bohemia Machine, s.r.o., udělala za svých 15 let působnosti velký krok dopředu, rozšířila svoji působnost, ale u toho nezůstane. I nadále vyvíjí nové stroje, zařízení a linky a hodlá otevřít nové provozy na opracování skla.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, firma dne 5. 10. 2007 slavnostně otvírala nové výrobní a kancelářské prostory. Součástí slavnostního otevření byla vernisáž významných českých a zahraničních umělců, se kterými dlouhodobě spolupracuje, což je velké plus na konkurenčním trhu (nové designy, nové trendy a nové technologie jsou konzultovány s umělci, což dává výrobě také umělecký nádech). Svá díla pro vernisáž zapůjčili např. František Vízner, Jaroslav Svoboda, František Janák, Jan Frydrych, Petr Hora, designová skupina Olgoj Chorchoj, Ann Wahlstorm Švédsko, Charlie a Constance Parriott z USA, Chad Holiday z USA a řada dalších.

Ing. Jiří Trtík, ředitel společnosti



BOHEMIA MACHINE s. r. o.
Zámecká 1177
582 91 Světlá nad Sázavou
Tel.: 569 453 149
e-mail: info@bohemia-machine.cz

Model kmenárny Stölzle Union, Heřmanova Huť

Technische Hinweise für Autoren

Die Beiträge werden in elektronischer Form akzeptiert.

Anforderungen an den Textteil:

Der Text muss im Editor MS WORD eingegeben werden, empfohlen ist der Font Times New Roman, Schriftgrösse 12, doppelter Zeilenabstand, Seitenformat DIN A4.

In allen Teilen des Beitrags benutzen Sie bitte den gleichen Font. Den Text schreiben Sie fortlaufend in eine Spalte am linken Rand ausgerichtet, die Taste ENTER benutzen Sie nur am Ende eines Absatzes.

Gleichungen und Formeln, die auf separaten Zeilen aufgeführt sind, müssen mit dem Modul für Mathematik des Editors MS WORD generiert werden.

Gleichungen und Formeln, die ein Bestandteil des Textes sind, schreiben Sie mit Hilfe der eingesetzten Symbole und nicht mit dem obengenannten Modul.

Beim Schreiben der mathematischen und chemischen Ausdrücke beachten Sie bitte folgende Regeln:

Grössen werden kursiv geschrieben.

Matrizen werden in Steilschrift geschrieben.

Vektoren und Skalare werden fett kursiv geschrieben.

Das totale Differenzial „d“ wird immer in Steilschrift geschrieben.

Ludolfzahl π wird in Steilschrift geschrieben.

Die Indexe, soweit sie eine Grösse ausdrücken, werden kursiv geschrieben, im Gegenfall werden sie in Steilschrift (z.B. min, max u.ä.) geschrieben.

Die imaginäre Einheit „i“ bzw. „j“ in der Elektrotechnik wird in Steilschrift geschrieben.

Beachten Sie die Regeln der tschechischen Rechtschreibung, nach den Interpunktionszeichen steht immer ein Leerzeichen.

Ebenfalls vor und nach den Zeichen „+“, „-“, „=“ u.ä. steht immer ein Leerzeichen.

Anforderungen an die Abbildungen und Graphen:

Die Graphik sollte nicht in den Text eingegliedert, sondern als separate graphische Files vom Typ *.CDR, *.EPS, *.TIF, *.JPG, und *.AI abgeliefert werden (Vektorengraphik als *.EPS oder *.AI Files, Bitmapgraphik als *.TIF oder *.JPG Files).

Auf keinen Fall liefern Sie ein Bild im File vom Typ *.doc ab.

Bitmap Files für schwarz-weiße Zeichnungen müssen eine Auflösung von mindestens 600 dpi haben. Bei schwarz-weißen Photos ist es mindestens 200 dpi und für Farbphotos mindestens 300 dpi.

Bei der Generierung der Bilder in COREL DRAW in das File vom Typ *.JPG transformieren Sie Text an Kurven.

Bei den Files vom Typ *.JPG benutzen Sie so einen Kompressionsgrad, dass eine möglichst hohe Bildqualität erhalten wird.

Die Schriftgrösse in den Abbildungen sollte nicht unter 1,5 mm sinken (bei der angenommenen Bildgrösse auf der Druckseite)

Hinweise zu der Beitragübergabe

Zu jedem Text oder Graphik muss ein Kontrollausdruck oder Photo beigelegt werden.

Weiter ist es notwendig, dass der Autor zu seinem Artikel auch die Übersetzung des Abstracts und des Titels des Artikels in die englische, ggf. tschechische oder slowakische Sprache, die Schlüsselworte, die Namen von allen Autoren einschliesslich der akademischen Titel, ihrer vollen Adressen, Telefonverbindungen und ggf. ihrer e-mail Adresse abliefern.

Die Files können auf einer Diskette, einem CD sowie auf dem Träger ZIP 100 MB abgeliefert werden.

Zu jedem Beitrag legen Sie bitte ein Verzeichnis von allen abgelieferten Files bei und zu jedem File geben Sie an, mit welcher Software es erstellt wurde.

Die Beiträge schicken Sie an die Adresse: Redakce časopisu JMO, Kabelíkova 1, 750 02 Přešov.

Z dílny starých mistrů

(33. pokračování)



- K osvětlení pozlacených předmětů se podle Regnaulta použije roztok 6 dílů ledku, 2 díly skalice zelené a 1 g síranu zinečnatého (skalice bílá) v trošce vody. Roztok se zahřeje až do varu, předměty se do roztoku ponoří a na vzduchu se suší nad otevřeným ohněm, dokud se nepokryjí hnědým povlakem. Ten se potom umyje.
- Pro postříbření mosazi, mědi a zinku se podle Buchnera doporučuje rozpustit 10 g dusičnanu stříbrného v 50 g destilované vody a 25 g cyankali v 50 g destilované vody. Oba roztoky se po smíchání přefiltrují. Roztok se zahustí 100 g plavené křídou a 10 g Cremortartari. Na předměty se směs nanáší štětcem. Nakonec se předměty opláchnou a suší.
- Postříbření mědi, mosazi, železa a oceli bez jedovatého cyankali vyžaduje tento postup: smísí se 2 díly dithioničitanu stříbrného a 1 díl salmiaku ve 20 dílech vody. Dithionočitan stříbrný lze vyrobit tak, že se dusičnan stříbrný rozpustí ve vodě a přidá se tolik salmiaku, až se vzniklá usazenina rozpustí a nakonec se přidá koncentrovaný roztok dithioničitanu sodného a přileje alkohol. Vylučovaný dithioničitan stříbrný se pečlivě promyje a usuší. Postříbrovací roztok se vždy připravuje čerstvý, protože dithioničitan stříbrný se sice dá suchý uchovat, ale v roztoku se rozkládá. Železo a ocel nemusí být předem poměděny, ale mohou být přímo postříbřeny. Absence cyankali v roztoku je kladem této receptury.
- Postup s použitím stříbra spočívá v rozpouštění jemného stříbra ve 125 g koncentrované kyseliny dusičné s přídavkem 4 – 5 kapek kyseliny solné a následném vysrážení stříbrné usazeniny. Kyselina dusičná se opatrně oddělí slitím od usazeniny na dně nádoby a tato se 10 – 12krát propláchně, až je prostá kyselina. Čistá usazenina se smísí se 130 g cyankali a 4 litry dešťové vody a protřepe. Kovové čisté předměty se na několik vteřin ponoří do roztoku a potom přetírají plavenou křídou.
- Galvanická stříbrná lázeň sestává z 1 litru vody, 20 g jemného stříbra a 40 g čistého cyankali. Anoda má být z čistého stříbra, vzdálenost anody 10 – 15 cm a proudová zátěž na 1 dm² stříbrné plochy 0,5 A při napětí 2 V.

Doc. Ing. Martin Libra, CSc. slaví životní jubileum

Doba je dnes rychlá, na krátká zastavení a ohlédnutí zbývá jen málo času. Příležitosti při oslavách životních jubileí proto tak rádi využijeme a s přáteli slavíme a vzpomínáme. Právě v těchto listopadových dnech slaví 50. narozeniny doc. Ing. Martin Libra, CSc., proděkan pro vědu a výzkum Technické fakulty ČZU v Praze. Jubilant dlouhodobě spolupracuje s časopisem *Jemná mechanika a optika*, je pravidelným příspěvatelem a je i dlouholetým aktivním členem redakční rady.

Narodil se 28. listopadu 1957 v Praze. Vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze, obor fyziku pevných látek a již během studia pracoval také ve Fyzikálním ústavu ČSAV (nyní AV ČR) jako pomocná vědecká síla.

Zde vypracoval i diplomovou práci na téma „Elektrické vlastnosti heteropřechodů na bázi amorfní-kryсталický polovodič“. Po studiu nastoupil do Fyzikálního ústavu ČSAV do oddělení polovodičů. Zabýval se především depozicí tenkých vrstev amorfního křemíku metodou klasického diodového naprašování, rozkladem silanu ve v.f. výboji a rovněž depozicí kontaktních kovových vrstev metodou vakuového napařování. Dále se zabýval studiem elektrických vlastností deponovaných vrstev, studiem heteropřechodů s těmito vrstvami a vlastnostmi kontaktů.

Poté v r. 1984 nastoupil do Tesly Holešovice. Nejprve řešil problematiku plazmových displejů a z podniku byl vyslán na externí stáž do Fyzikálního ústavu ČSAV do oddělení plazmových interakcí za účelem zvýšení kvalifikace v oboru tenkých vrstev, zejména typu ITO a reaktivní magnetronové depozice. V r. 1986 byl zde přijat do externí aspirantury ve vědním oboru „Fyzika plazmatu“. Výsledky práce průběžně publikoval a prezentoval na vědeckých konferencích. Vytvářené vrstvy byly úspěšně zkoušeny ve vybraných aplikacích. Kandidátskou disertační práci na téma „Reaktivní magnetronová depozice vrstev ITO“ obhájil Martin Libra v lednu 1991. V Tesle Holešovice pak přešel do oddělení vysokotlakých rtuťových výbojek, kde se zabýval vývojem výbojek pro všeobecné osvětlování i pro speciální účely, sledováním kvality a technologií výrobních zařízení. V červnu 1994 absolvoval jubilant



konkurz na katedru fyziky Fakulty strojní ČVUT, kde poté působil 5 let jako odborný asistent. Kromě pedagogické práce se zabýval problematikou tenkých vrstev deponovaných metodami PVD (physical vapour deposition) a solární energií. Působil v Akademickém senátu Fakulty strojní ČVUT a ve fakultním výboru VOS. V r. 1995 navázal spolupráci s firmou Poulek-Solar, s.r.o. na vývoji a optimalizaci konstrukce nového sledovače Slunce typu TRAXLE a na konstrukci solárních fotovoltaických systémů.

V r. 1999 přešel M. Libra na katedru fyziky Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze, kde působí dosud. V r. 2001 obhájil habilitační práci na téma „Nové možnosti zefektivnění kolektorů solární energie“ a byl jmenován

docentem v oboru „Energetika“. Vyučuje fyziku i další technické předměty v bakalářském i magisterském stupni studia a pro doktorandský stupeň studia vyučuje předmět „Fyzikální energetika“, který vyučuje i v anglickém jazyce. Jeho vědecká práce je zaměřena především na transformaci solární energie, konstrukci a testování solárních fotovoltaických systémů. V Akademickém senátu Technické fakulty ČZU působil v letech 1999-2006, z toho v letech 2001-2006 byl jeho předsedou. Nyní je proděkanem Technické fakulty ČZU pro vědu a výzkum. Co se týče dalších aktivit, v Jednotě českých matematiků a fyziků je předsedou komise na propagaci matematiky a fyziky. Pracuje nadále v redakční radě našeho časopisu, ve vědecké radě TF, v oborové radě pro energetiku a v řadě odborných komisí. Paralelně rovněž působí na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, kde vyučuje předměty Zdroje a využití energie a Tepelné stroje a zařízení. Je autorem či spoluautorem řady vědeckých a odborných publikací a výukových materiálů.

K významnému životnímu jubileu Martinovi srdečně blahopřeji jménem svým i jménem všech pracovníků redakce časopisu a redakční rady. Přeji mu pevné zdraví, mnoho sil a elánu a mnoho let plodné, tvůrčí a hlavně úspěšné práce.

Jaroslav Nevřala

Z technické knihovny

LIBRA M. – POULEK V., Zdroje a využití energie. 1. vyd., Česká zemědělská univerzita, Praha, 2007 141 s., ISBN 978-80-213-1647-8.

Autoři Martin Libra a Vladislav Poulek letos vydali výše uvedenou knihu, kterou bychom chtěli čtenářům alespoň stručně představit. Problematika přeměny energie a jejího využití je velmi aktuální a přímo se dotýká každého z nás. Uvedená publikace tuto problematiku pokrývá. Již pohled do obsahu říká, že jsou zde popsány různé formy energie a jejich přeměny, jednotlivé zdroje energie a možnosti jejich využití. Je zmíněna historie využívání přírodních zdrojů energie, otázky obnovitelných a neobnovitelných zdrojů i globální důsledky stále rostoucí spotřeby energie pro životní prostředí. Názorné obrázky, grafy a schémata vhodně doplňují text a řada tabulek poskytuje čtenářům porovnání některých veličin či parametrů.

Lze říci, že kniha má charakter encyklopedie energetiky a je zajímavá a srozumitelná i pro zájemce o tento obor, kteří ho zatím hlouběji nestudovali. Matematických vztahů je v knize celkem málo, autoři se omezili jen na nejdůležitější matematické formulace a nezbytně nutná odvození. Náročnější jsou pouze kapitoly pojednávající

o základech termodynamiky a jaderné fyziky, a kapitola o fyzikální podstatě fotovoltaické transformace energie. Zde se autoři nevyhnuli složitějšímu teoretickému popisu a matematickému vyjádření, ale bez toho by informace nebyla úplná, neboť právě tyto fyzikální procesy jsou klíčové při přeměnách energie v elektrárnách. Pokud se ale čtenář nechce matematikou zabývat, může tyto kapitoly přeskočit aniž by ztratil kontext. V příloze jsou i přehledné tabulky důležitých fyzikálních veličin a konstant a barevné obrázky elektráren i jejich zařízení.

Knihu vydala Česká zemědělská univerzita v Praze v pevné vazbě nákladem 1000 ks, recenzovala prof. RNDr. Ludmila Eckertová, CSc. Je ještě třeba vyzdvihnout, že autoři se problematikou energetiky a zejména solárních fotovoltaických systémů zabývají již mnoho let a mají v tomto oboru bohaté zkušenosti, které do textu vložili. Knihu proto doporučujeme zejména čtenářům, kteří chtějí získat základní informace v tomto důležitém a perspektivním oboru.

J. Nevřala

CONTENTS

Comparison of contact and optical measuring of laser remelting layers (H. Chmelíčková, H. Lapšanská, H. Hiklová, M. Havelková).....

307 Laser beam of the infrared pulsed Nd:YAG laser was used to re-melting PVD (Physical Vapour Deposition) coatings on the steel substrates. Processing parameters such as pulse energy, pulse length and frequency were optimized according surface temperature. Multimode beam diameters about some millimetres were computed and adjusted in the suitable distance from focus plane. High laser power re-melting decreases their porosity, increases adhesion to basic material. In case of high laser energy gas vapours escape from basic material and cause fissures, re-melted surfaces have to be carefully controlled. New approach to evaluation of the quality surface structure was realized by laser confocal microscopy. Direct measuring or 3D surface model is possible with resolution less than hundred nanometres, depressions along laser beam path or rises on the laser spot edges were determined. Particles and grains with dimensions about one micron in re-melting structures can be observed better then by optical microscopy. Parallel measurements of the surface roughness were realized by the contact inductive profilometer Talysurf, collected data were displayed by software tool Talymap in a plane or spatial pictures.

Keywords: PVD - coatings, laser, re-melting, confocal laser microscopy, inductive profilometer.

Study courses on optical measurement methods for vibration detection and nondestructive testing at Università Politecnica delle Matche (P. Šmíd, P. Horváth).....

311

Study courses on optical measurement methods for vibration detection and nondestructive testing at Università Politecnica delle Matche (J. Mašek, P. Heřmánek, P. Procházka).....

314

Measurement of the polyethylene liner wear of the extracted total knee substitute

(V. Havránek, J. Gallo).....316 Total knee arthroplasty (TKA) is the most effective therapy for end-stage osteoarthritis. However, similarly as in total hip arthroplasty, the weakest point of TKA is polyethylene liner undergoing wear during the time of service. Polyethylene debris deliberated from damaged surface triggers adverse host response that results in bone resorption and aseptic loosening. The paper presents introduction into a theory of measurement of knee polyethylene liners which is followed by evaluation of their basic characteristics using mechanical contact methods. In addition, gravimetric method is briefly mentioned.

Simulation code Geant4 and its usage for needs of the Joint Laboratory of Optics (L. Nožka, A. Kočnar).....

321

Impedance measurement (J. Krejčí).....

326

Measuring machines of trademark WENZEL

(Č. Neního).....329

Air fluorescent gain measured by AIRFLY project

(L. Nožka).....330

Mowing machine material feed rate measurement under laboratory conditions (F. Kumhála, M. Kroulík, V. Prošek).....

331 The main objective of this research was to evaluate two possibilities

of material feed rate measurement of modern mowing machines equipped with a conditioner. A mowing machine with finger conditioner was equipped with an electronic measuring unit for the purpose of our measurements. The mowing machine's conditioner shaft was supplied with strain gauges placed on a torque-meter and with a RPM optical sensor counter. Together with torque-meter the mowing machine was equipped with a curved impact plate mounted on the machine's material output. Laboratory measurements with the aim to obtain the information about the dependence of conditioner power input and signals from the impact plate on material mass flow were arranged. A mixture of grass and alfalfa was used. The measurements carried out proved that a very good linear relationship existed between the conditioner's power input, output frequency of the apparatus measuring impact force by means of the impact plate, and material feed rate through the mowing machine. The calculated coefficients of correlation were about 0.95. It is possible to differentiate a material feed rate difference $0.5 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ using both methods. This accuracy should be sufficient for practical utilisation such as creating yield maps.

Bohemia Machine has celebrated its 15th anniversary

in new (J. Trtík)..... 337

Doc. Ing. Martin Libra, CSc. celebrates his jubilee

(J. Nevřala)..... 339

From technical library (J. Nevřala)..... 339

ANOTACE

Určenie tvaru ohybového kmitania vzorky s konštantným prierezom (G. Varga, I. Štubňa, A. Vážanová, R. Podoba, A. Trník).....

334 V článku je uvedených päť metód na určovanie rezonančnej frekvencie ohybového kmitania vzorky. Na určenie frekvencií je použitá zjednodušená parciálna diferenciálna rovnica. Pre neznámu vzorku a materiál je najvhodnejšou metódou na určenie rezonančných frekvencií metóda Lissajousových obrazcov. Pre vzorky so známym modulom pružnosti môže byť použité porovnanie frekvencií základného a prvého módu, alebo výpočet rezonančnej frekvencie pomocou vzoriek rôznych rozmerov.

*Příjemné prožití svátků vánočních,
hodně zdraví, štěstí a spokojenosti
v novém roce 2008
přeje všem čtenářům, příznivcům
a autorům*

*Redakce a Redakční rada
časopisu JMO
Jemná mechanika a optika*

Illuminating Prospects



LASER OPTICS BERLIN

International Trade Fair and Convention
for Optical & Laser Technologies

17–19 March 2008 · New: Berlin Exhibition Grounds

www.laser-optics-berlin.de





FOR INDUSTRY

7. MEZINÁRODNÍ VELETRH STROJÍRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ

Veletrhy FOR INDUSTRY a FOR SURFACE se v roce 2007 úspěšně začlenily do nové strategie veletržní správy ABF, která se stala odkoupením strojírenských titulů MACH, FINET, METAL, INTERCHEM a WAREC výhradním pořadatelem veletrhů se strojírenskou tematikou v Praze.

SPECIALIZOVANÉ SEKCE:

- Stroje, automatizační zařízení a technologie
- Nástroje a nářadí
- Materiály, komponenty a subdodávky
- Pneumatika a hydraulika
- Výroba a subdodávky pro automobilový průmysl
- Metrologie, zkušebnictví a laboratorní technologie
- Logistika a provozní technologie
- Nakládání s odpady, recyklace a čištění

15.–17.4.2008

PRAŽSKÝ VELETRŽNÍ AREÁL LETŇANY

ABF, a.s., Václavské nám. 29, 111 21 Praha 1,
tel.: 222 891 264-6, fax: 225 291 199, e-mail: forindustry@abf.cz, www.abf.cz

