

3
2009

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

FINE MECHANICS AND OPTICS

**HEAT - High Elevation
Auger Telescopes,
Malargüe – Argentina 2009**



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



**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY



(Více na str. 90)



ZVEME VÁS K NÁVŠTĚVĚ

FOR INDUSTRY

8. MEZINÁRODNÍ VELETRH STROJÍRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ

Souběžné veletrhy:

FOR SURFACE (povrchové úpravy)

FOR WASTE (nakládání s odpady)

FOR 3P (potravinářství, obaly, tisk)

15. – 17. 4. 2009

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



REDAKČNÍ RADA

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

Členové: RNDr. Ing. Ján BARTL, CSc., ÚM SAV, Bratislava, prof. RNDr. Dr. Zdeněk BOUCHAL, UP, Olomouc, Ing. Igor BREZINA, Bratislava, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., STU, Bratislava, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, 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, prof. 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 MÁČA, CSc., FZÚ AV ČR, v.v.i., Praha, Ing. Vladimír MATELA, Meopta-optika, s.r.o., Přerov, Ing. Monika MÍČHALOVÁ, 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.: doc. 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.pelcova@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.

Vychází: 10x ročně (z toho 2 čísla jako dvojčísla)

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 2009

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 54 3/2009

OBSAH

Aspekty mechanické úpravy lepených povrchů tryskáním
(M. Müller, M. Jirka, R. Chotěborský) 63

**Diskrétně říadené spojité procesy s predikcí hodnoty
limitního stavu dynamické určující veličiny
s oneskorením** (R. Krehel) 66

**Přechodová charakteristika transpondéru
MOBY I - MDS 439 E** (M. Růžička, G. Künzel) 68

Hodnotenie a vyjadrenie intervalu spoľahlivosti
(M. Borovička) 70

Matematický model jízdy vozidla
(J. Hromádka, V. Höning, P. Miler, J. Hromádka) 72

**Interference difuzních elektronových vln v rovnovážných
kovových nanovodičích** (J. Pospíšil, J. Hrdý, F. Pluháček) 75

**Korekčné koeficienty pre výpočet Youngovho modulu
z rezonančnej frekvencie ohybových kmitov – revízia**
(A. Lintnerová, I. Medved, V. Labaš) 83

Katadioptrické soustavy (A. Mikš) 86

Viac než sme mohli očakávať
(P. Horňák, A. Janíčková, F. Mikuláš) 88

Projekt HEAT (High Elevation Auger Telescopes)
(D. Mandát, M. Palatka, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Pech) 90

Bližší informace o poslání časopisu, pokyny pro autory, obsah časopisu apod. je uveden na internetu:

<http://www.fzu.cz/struktura/casopisy/jemnam/jemname.php>

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

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

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

Members: Ján BARTL - Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Zdeněk BOUCHAL - Palacky Univ. (Czech Rep.), Igor BREZINA - Bratislava (Slovak Rep.), Pavol HORNÁK - Slovak Tech. Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP - Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK - Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ - Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Jiří KRŠEK - Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK - Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), 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 MÁCA, Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Praha (Czech Rep.), Vladimír MATELA - Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Monika MÍCHALOVÁ, PHILIPS Slovakia s.r.o., Bratislava (Slovak Rep.), Miroslav MILER - Inst. of Photonics and Electronics of Academy of Sciences, v.v.i., Praha (Czech Rep.) Jan PEŘINA - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Jaromír PIŠTORA - Tech. Univ., Ostrava (Czech Rep.), Jaroslav POSPÍŠIL - Palacky Univ., Olomouc (Czech Rep.), Dagmar SENDERÁKOVÁ - Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Petr SCHOVÁNEK - Joint Lab. of Optics of Palacky Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Science, Olomouc (Czech Rep.), Karel STUĐNOVSKÝ - 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 2009

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 54 3/2009

CONTENTS

- Aspects of adhesive bonded surface mechanical treatment by grit blasting** (M. Müller, M. Jirka, R. Chotěborský) 63
- Discrete-controlled continuous processes with prediction of limit value of determining dynamic variable with time delay** (R. Krehel) 66
- Transient diagram of transponder MOBY I – MDS 439E** (M. Růžička, G. Künzel) 68
- Evaluation and quantification of the reliability interval of measurement parameters** (M. Borovička) 70
- Mathematical model of the vehicle movement** (J. Hromádka, V. Hönig, P. Miler, J. Hromádka) 72
- Interference of diffuse electron waves in metallic nanometric conductors under the equilibrium regime** (J. Pospíšil, J. Hrdý, F. Pluháček) 75
- Correction coefficients for calculating Young's modulus from resonant frequency of flexural vibrations - revisited** (A. Lintnerová, I. Medved', V. Labaš) 83
- Katadioptrie systems** (A. Mikš) 86
- More than we could expect** (P. Horňák, A. Janíčková, F. Mikuláš) 88
- HEAT – High Elevation Auger Telescopes** (D. Mandát, M. Palatka, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Pech) 90

For further information about the journal intention, instructions for authors, contents etc. please refer to <http://www.fzu.cz/struktura/casopisy/jemname.php>.

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

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Aspekty mechanické úpravy lepených povrchů tryskáním

Mechanická úprava lepeného povrchu je jedním z nezbytných kroků při aplikaci technologie lepení. Mezi perspektivní technologie úpravy lepeného povrchu patří tryskání. Výsledná textura povrchu je závislá na mnoha parametrech. Mezi základní parametry patří zrnitost tryskaného materiálu a s tím související měrný rozměr zrna. Článek pojednává o vlivu rozměru zrna na parametry drsnosti povrchu a rovněž i jejich vliv na změnu pevnosti lepeného spoje.

Klíčová slova: Drsnost povrchu, lepení, tryskání, velikost zrna

ÚVOD

Příspěvek se zabývá posouzením vlivu rozdílné velikosti tryskaného korundového zrna na drsnost povrchu ocelových vzorků a jeho působením na pevnostní charakteristiky lepených spojů. Tryskání je řazeno mezi metody přípravy povrchu před aplikací nejen technologie lepení. Povrch je upraven erozivním účinkem tvrdých korundových zrn nesených proudem tlakového vzduchu. Erozivní účinek korundových zrn zanechá stopy na otryskávaném povrchu v podobě nerovností prostorově uspořádaných o různých velikostech vyvýšenin a prohloubenin a také jejich vzájemných roztečích. Nerovnosti na povrchu vytvářející konkrétní strukturu zásadním způsobem ovlivňují budoucí funkci celého lepeného spoje.

Při řešení problematiky hodnocení povrchové úpravy je nutno postupovat komplexněji a nelze pouze charakterizovat nerovnosti povrchu, ale i např. charakterizovat materiál a zejména metodu dosažení dané textury povrchu. Při aplikaci metody otryskávání hraje jednu z důležitých rolí typ a velikost částic působících erozivním účinkem na daný povrch.

Při hodnocení povrchové úpravy využíváme poznatků o velikosti vyvýšenin a prohloubenin plochy, které souhrnně označujeme jako drsnost povrchu. K hodnocení normalizovaných parametrů drsnosti povrchu se používá dvourozměrné měření profilu povrchu (2D) v rovině řezu tzv. profilovou metodou. Profil drsnosti povrchu je snímán dotykovým měřicím přístrojem (tzv. profilometr), který se skládá z mechanické a elektronické části. Mechanický signál, generovaný snímacím hrotem kopírujícím nerovnosti měřeného povrchu, je transformován na elektrický signál, který je dále interpretován jako normalizovaná číselná hodnota zvoleného parametru drsnosti povrchu, případně grafickým záznamem.

Mezi nejpoužívanější normované parametry textury povrchu (drsnosti) určené profilovou metodou uvedené v normě ČSN EN ISO 4287 patří zejména:

- Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a ,
- Největší výška profilu R_z .

Při aplikaci technologie lepení lze vycházet z předpokladu zajištění podobnosti finálního reliéfu povrchu smáčeného lepidlem. Případné kladné nebo záporné odchylky od rovnoměrnosti povrchu mohou ovlivnit pevnost lepeného spoje. Pro hodnocení lze použít

poměr výše uvedených normovaných parametrů textury povrchu (R_a/R_z) udávající poměr průměrných a největších výšek nerovností profilu. Vyšší číselná hodnota tohoto poměru zajišťuje eliminaci případných odchylek od střední hodnoty R_a .

Dalším významným faktorem je vliv povrchové energie spojovaného materiálu a lepidla. Obecně kovy s poměrně vysokým povrchovým napětím, tedy i spojovaný materiál z nelegované konstrukční oceli S235JO a lepidla s poměrně nízkou hodnotou povrchového napětí, zajišťují základní podmínku vytvoření pevného lepeného spoje. Z tohoto důvodu nebyl tento aspekt ovlivňující pevnost lepeného spoje sledován při laboratorních experimentech.

METODIKA

Stanovení optimální povrchové úpravy lepených spojů je nezbytným krokem při realizaci lepeného spoje. Povrch normalizovaných zkušebních vzorků byl před lepením mechanicky upraven otryskáváním umělým korundem (Al_2O_3) o zrnitostech 14, 24, 40, 80 a 100. Otryskávání ploch bylo provedeno tlakem 4000 kPa. Sklon trysky a zkušebních vzorků byl 90° v konstantní vzdálenosti 100 mm.

Při vyhodnocení povrchové úpravy lepených ploch byly hodnoceny dva parametry drsnosti R_a , R_z a jejich vzájemný poměr (R_a/R_z). Parametry drsnosti povrchu byly měřeny dotykovým profilometrem SurfTest 301. Mezní vlnová délka (cut – off) byla nastavena na 0,8 mm. Vlastní pevnost lepených spojů byla testována destruktivní zkouškou na trhacím stroji.

Posouzení vlivu drsnosti na změnu pevnostních charakteristik lepených spojů bylo provedeno podle normy ČSN EN 1465. Zkušební tělesa se připraví slepením dvou materiálů o rozměrech $100 \pm 0,25 \times 25 \pm 0,25 \times 1,6 \pm 0,1$ mm tak, aby doporučená délka přeplátování byla $12,5 \pm 0,25$ mm. Aplikováno bylo dvousložkové epoxidové lepidlo Bison epoxy metal na zkušebních tělesech vyrobených z nelegované konstrukční oceli S235JO o chemickém složení uvedeném v tab. 1 zjištěném spektrální analýzou. Dále bylo provedeno měření tvrdosti lepeného materiálu podle Vickerse při zátěžné síle 147 N a byla vypočtena z naměřených hodnot tvrdost $HV_{15} = 100$. Díky totožné struktuře materiálu bylo možno posoudit odlišný vliv různých abrazivních prostředků na změnu integrity mechanicky upravovaného povrchu.

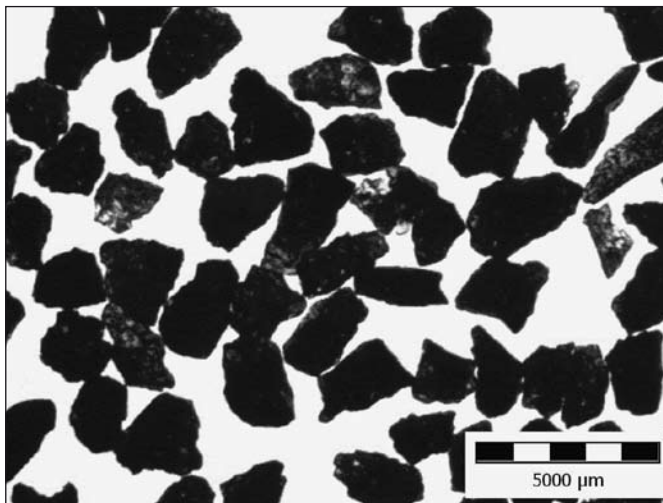
Tab. 1 Chemické složení lepených materiálů [hmotnostní %]

Prvek	Fe	C	Mn	Cr	Ni	Al	Cu	Nb	Ti
Ocel S235JO	99,5	0,047	0,24	0,076	0,017	0,065	0,039	0,007	0,016

Při vyhodnocení experimentů je důležité nejen brát v potaz zrnitost tryskaného média, ale rovněž měrný rozměr zrna hlavní frakce, který je specifikovaný normou FEPA „F“ 42-D-86.

Případně kolísání rozměrů zrna může způsobit nepravidelnost reliéfu tryskaného povrchu, které bude mít vliv na pevnost lepeného spoje. Rozměr zrna byl změřen u 200 hodnot příslušných zrnitostí (obr. 1) pomocí obrazové analýzy provedené stereoskopickým mikroskopem osazeným snímací digitální kamerou Arctam – 300 MI.

Sekundárně byl hodnocen i vliv tloušťky lepené vrstvy (0,06, 0,11, 0,16 a 0,21 mm), který byl na základě dlouhodobých laboratorních poznatků vyhodnocen jako jeden z velmi podstatných vlivů na pevnostní změny. Tento fakt vede k nutnosti jeho objektivního vyhodnocení a vzetí v potaz.



Obr. 1 Zrna umělého korundu o zrnitosti F14

HODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Výsledky měření zaměřené na zjištění rozměru zrna příslušných zrnitostí specifikovaných normou FEPA „F“ 42-D-86 je uveden na obr. 2. Porovnání naměřených výsledků s normovanými rozměry velikosti zrna základní frakce jsou rovněž uvedeny na obr. 2. Průběh funkcí je téměř totožný. Tyto výsledky jsou v souladu s průměrnou velikostí základní frakce zrna představující padesáti-procentní bod sedimentační křivky hodnoceného zrna.

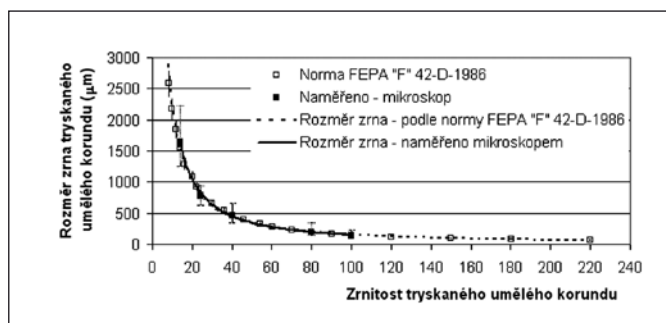
Funkční rovnice (1, 3) popisují závislost rozměru tryskaného umělého korundu (y) a zrnitosti tryskaného umělého korundu (x) obr. 2. Koeficienty spolehlivosti pro funkce uvedené na obr. 2 jsou (2, 4).

$$y_{\text{naměřeno mikroskopem}} = 40047 \cdot x^{-1,2157} \quad (1)$$

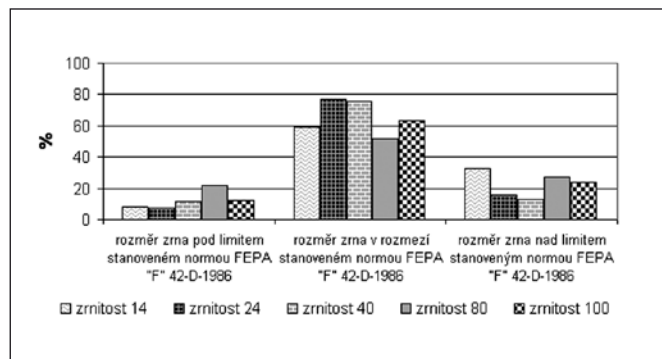
$$R^2_{\text{naměřeno mikroskopem}} = 0,9984 \quad (2)$$

$$y_{\text{norma FEPA „F“ 42-D-86}} = 31739 \cdot x^{-1,1543} \quad (3)$$

$$R^2_{\text{norma FEPA „F“ 42-D-86}} = 0,9971 \quad (4)$$



Obr. 2 Porovnání naměřeného a normovaného rozměru zrna umělého korundu



Obr. 3 Procentuální vyčíslení rozměru zrna vztažené k tolerančnímu poli uvedenému normou FEPA „F“ 42-D-86

Na obr. 3 je patrné procentuální vyčíslení naměřených výsledků vztažené k tolerančnímu poli rozměrů zrna uvedených v příslušné normě. Největší procentuální podíl velikosti zrna ve stanoveném rozměru byl naměřen u zrnitosti 24 a 40.

Dále byl sledován vliv změny parametru drsnosti (R_a , R_z a R_a/R_z) v závislosti na různých zrnitostech tryskaného materiálu. Z naměřených výsledků uvedených na obr. 4 je patrný značný vliv odlišných tryskaných zrn působících erozivním opotřebením na ocel S235JO projevujících se klesajícím trendem.

Funkční rovnice (5, 7 a 9) popisují závislost parametrů drsnosti (R_a , R_z a R_a/R_z) na zrnitosti tryskaného umělého korundu (x) obr. 4. Koeficienty spolehlivosti pro funkce uvedené na obr. 4 jsou (6, 8 a 10).

$$R_a/R_z = 0,2199 \cdot x^{-0,0801} \quad (5)$$

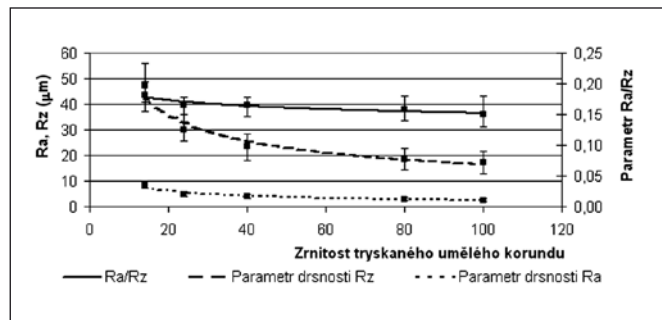
$$R^2_{Ra/Rz} = 0,8859 \quad (6)$$

$$R_z = 152,9 \cdot x^{-0,4846} \quad (7)$$

$$R^2_{Rz} = 0,9568 \quad (8)$$

$$R_a = 33,684 \cdot x^{-0,5658} \quad (9)$$

$$R^2_{Ra} = 0,9566 \quad (10)$$



Obr. 4 Vliv zrnitosti tryskaného umělého korundu na parametry drsnosti

Při porovnání naměřených základních rozměrů zrna tryskaného umělého korundu docházelo k lineárnímu nárůstu hodnot parametrů drsnosti, který je patrný v obr. 5.

Funkční rovnice (11, 13 a 15) popisují závislost parametrů drsnosti (R_a , R_z a R_a/R_z) a velikosti zrna tryskaného umělého korundu (x) obr. 5. Koeficienty spolehlivosti pro funkce uvedené na obr. 5 jsou (12, 14 a 16).

$$R_a/R_z = 2 \cdot 10^{-05} \cdot x + 0,1517 \quad (11)$$

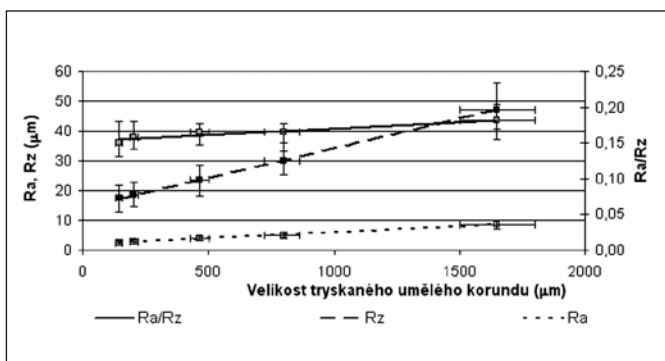
$$R^2_{Ra/Rz} = 0,9216 \quad (12)$$

$$R_z = 0,0197 \cdot x + 14,448 \quad (13)$$

$$R^2_{Rz} = 0,9998 \quad (14)$$

$$R_a = 0,0039 \cdot x + 2,0347 \quad (15)$$

$$R^2_{Ra} = 0,997 \quad (16)$$



Obr. 5 Vliv rozměru zrna tryskaného umělého korundu na parametry drsnosti

Lepené spoje byly rovněž podrobeny destruktivnímu zkoušení na univerzálním trhačím stroji. Z dosahovaných pevnostních výsledků lepených spojů uvedených na obr. 6 je zřejmý vliv nejen odlišné mechanické úpravy lepeného povrchu, ale rovněž tloušťky lepené vrstvy.

Při vyhodnocení mechanické úpravy lepeného povrchu vyšla jednoznačně ve všech tloušťkách lepené vrstvy optimální úprava otryskáváním umělým korundem o zrnitosti 24. Hodnoty parametrů drsnosti dosahované na otryskané oceli umělým korundem o zrnitosti 24 jsou patrné z obr. 6. Průměrná hodnota byla R_a $4,92 \pm 0,39 \mu\text{m}$, R_z $29,96 \pm 2,18 \mu\text{m}$ a R_a/R_z $0,17 \pm 0,01$. Z výsledků vyplývá optimální hodnota tloušťky lepené vrstvy rovněž v rozmezí 0,11 mm. Lomová plocha byla u všech destruovaných lepených spojů vyhodnocena jako kohezní typ.

Funkční rovnice (17, 19, 21 a 23) popisují závislost pevnosti lepeného spoje τ a zrnitosti tryskaného umělého korundu (x) obr. 6. Koeficienty spolehlivosti pro funkce uvedené na obr. 6 jsou (18, 20, 22 a 24).

$$\tau_{0,06 \text{ mm}} = -0,0012 \cdot x^2 + 0,0698 \cdot x + 15,793 \quad (17)$$

$$R^2_{0,06 \text{ mm}} = 0,9096 \quad (18)$$

$$\tau_{0,11 \text{ mm}} = -0,0013 \cdot x^2 + 0,0812 \cdot x + 16,205 \quad (19)$$

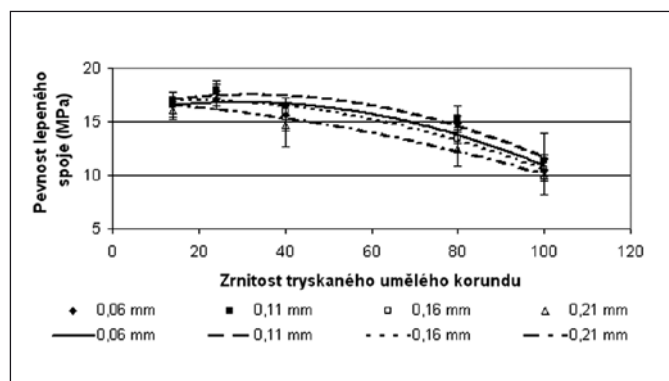
$$R^2_{0,11 \text{ mm}} = 0,9304 \quad (20)$$

$$\tau_{0,16 \text{ mm}} = -0,0009 \cdot x^2 + 0,0279 \cdot x + 16,827 \quad (21)$$

$$R^2_{0,16 \text{ mm}} = 0,961 \quad (22)$$

$$\tau_{0,21 \text{ mm}} = -0,0005 \cdot x^2 - 0,0204 \cdot x + 16,908 \quad (23)$$

$$R^2_{0,21 \text{ mm}} = 0,9443 \quad (24)$$



Obr. 6 Vliv zrnitosti tryskaného umělého korundu na změnu pevnosti lepeného spoje

ZÁVĚR

Z experimentů lze usuzovat, že není možno stanovit pouze nutnost mechanické úpravy, ale je dále nutno stanovit konkrétní úpravu lepeného povrchu. Při použití nevhodně zvolené zrnitosti/velikosti zrna tryskaného média, případně v kombinaci s nevhodně zvolenou tloušťkou vrstvy lepidla, dojde k významnému poklesu pevnosti lepeného spoje. Při vzájemném porovnání optimální mechanické úpravy a tloušťky lepené vrstvy se zcela nevhodnými podmínkami dojde k poklesu pevnosti až o 44,38 %. Toto procentuální vyčíslení jasně specifikuje nepostradatelnost a zároveň důležitost optimálních faktorů při aplikaci technologie lepení.

Ze zkušeností získaných při experimentálním stanovení optimální úpravy lepeného povrchu lze obecně stanovit několik důležitých kroků, které jsou nutné ke správnému vyhodnocení:

- prvním předpokladem jsou základní informace o spojovaném materiálu. Před zahájením konkrétní mechanické úpravy lepeného spoje je důležité určit typ materiálu na základě jeho označení. Z teorie abraze a eroze jasně vyplývá rozdílné chování různých materiálů i za stejných podmínek.
- Druhým krokem je aplikace vhodného otryskávacího média. Při experimentech provedených na oceli S235JO se jevila jako optimální aplikace umělého korundu o zrnitosti 24, který má průměrný rozměr frakce zrna 788 μm . Z vyhodnocených výsledků předchozího výzkumu lze však konstatovat nutnost stanovení optimální zrnitosti pro ostatní materiály.

Při vyhodnocení vlivu poměru R_a/R_z na pevnost lepeného spoje lze usuzovat, že pro lepené spoje je výhodnější vyšší poměr. Vyšší poměr snižuje případné odchylky maximálních nerovností v textuře povrchu, které mohou mít vliv na šíření lomové plochy.

Literatura

- [1] BOHUMIL, B.: Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci. [online], [cit. 2009-01-08]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf
- [2] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 22 s.
- [3] ČSN EN 1465: Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adhezendů na přeplátovaných tělesech. Praha: Český normalizační institut, 1997. 7 s.
- [4] HARRIS, A. F. – BEEVERS, A.: The effects of grit-blasting on surface properties for adhesion. International Journal of Adhesion & Adhesives, Elsevier, 1999, pp. 445 – 452.
- [5] HOLEŠOVSKÝ, F.: Grinding Process and its Influence of Surface Integrity. Proceedings International Conference AMPT 01, Madrid, Spain, 2001, pp. 587 – 596.
- [6] KRAUS, V.: Povrchy a jejich úpravy. ZČU v Plzni, Fakulta strojní, 216 s.
- [7] KRMELA J. - RUSNÁKOVÁ S. - KUŠMIERCZAK S. - PEŠLOVÁ F.: Experimental study of Adhesive bond between Steel-cord and Non-linear matrix upon Failure. Proceedings of the 25th Danubia-Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics. Praha, 2008, pp. 131-132.
- [8] PACKHAM, D. E.: Surface energy, surface topography and adhesion. International Journal of Adhesion & Adhesives, Elsevier, 2003, pp.437 – 448.

- [9] RUŽBARSKÝ, J.: Vplyv starnutia chladiaco-mazacej kvapaliny na kvalitu obrobeného povrchu In: Výrobné inžinierstvo, roč. IV., č. 2, 2005, s. 17-22.
- [10] RUŽBARSKÝ, J. – TOMÁŠ J.: Some results of the turning of hardened steel without cooling. Acta Avionica, roč. VIII., 2006, pp. 87 – 90.
- [11] SHAHID, M. – HASHIM, S. A.: Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints. International Journal of Adhesion & Adhesives, Elsevier, 2002, pp. 235 – 244.
- [12] VALÍČEK, J.- HLOCH, S. - KUŠNEROVÁ, M.: New Approach to the Quality Control of Surface Created by Means of Abrasive Waterjet Cutting Technology. Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies. Sibiu, Rumunsko 2007. pp. 129 - 134.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení grantu IGATF, č. 31140/1312/313105 s názvem „Stanovení příčin destrukce lepených spojů“.

Ing. Miroslav Müller, Ph.D., katedra materiálu a strojírenské technologie, Technická fakulta, ČZU v Praze, Praha 6 - Suchdol, Kamýcká 129, 165 21, tel.: + 420 224 383 261, e-mail: muller@tf.czu.cz

doc. Ing. Miloš Jirka, CSc., katedra materiálu a strojírenské technologie, Technická fakulta, ČZU v Praze, Praha 6 - Suchdol, Kamýcká 129, 165 21, tel.: + 420 224 383 262, e-mail: jirka@tf.czu.cz

Ing. Rostislav Chotěborský, Ph.D., katedra materiálu a strojírenské technologie, Technická fakulta, ČZU v Praze, Praha 6 - Suchdol, Kamýcká 129, 165 21, tel.: + 420 224 383 274, e-mail: choteborsky@tf.czu.cz

Radoslav KREHEL, Katedra pravádzky technologických systémov FVT TU Košice, Prešov

Diskrétné riadené spojité procesy s predikciou hodnoty limitného stavu dynamickej určujúcej veličiny s oneskorením

Príspevok popisuje vývoj nového prístupu k simulácii procesu rozmerového opotrebenia rezného nástroja s následným prvkom korekcie v limitných medziach parametricky stanovených optimálnych posuvoch. Článok popisuje len jeden aspekt prislúchajúci polynomickej transformácii experimentálne stanovených diskretných hodnôt polohy hrotu noža a ich následnú integritu do spojitých funkcionálnych podoby, kompatibilnej s používaným softwarovým prostredím.

Kľúčové slová: optický snímač, sústruženie, aproximácia, regulácia, monitorovanie

ÚVOD

Súčasnosc by sa dala charakterizovať ako doba zo stále sa zvyšujúcimi požiadavkami a nárokmi na automatizovanú výrobnú prevádzku. Nove princípy a technológie sú preferované najmä v oblasti kontroly, regulácie a riadenia. V oblasti trieskového obrábania je riešená najmä problematika merania a korekcie rozmerového opotrebenia rezného nástroja. Z rozboru literárnych prameňov vyplýva, že z dôvodu aplikácie v prevádzkových podmienkach je potrebné sa sústrediť na nepriame metódy aktívnej kontroly, z ktorých medzi perspektívnymi sa ukazuje metóda zisťovania otupenia rezných nástrojov zo zmien rozmerov obrobkov. Geometria sústružníckeho noža sa však v priebehu používania mení vplyvom opotrebenia. Opotrebenie je strata pôvodného geometrického tvaru rezného klina. Môže byť spojené aj so zmenou mechanických vlastností. Vzniknuté rozmerové opotrebenie rezného nástroja je možné korigovať, a to korekčným posuvom sústružníckeho noža smerom k obrobku o hodnotu opotrebenia. Snímačom sa meria rozmer obrobku a merané hodnoty sa postupne dostávajú do vyhodnocovacieho zariadenia [2].

1 POPIS MERACIEHO PRINCÍPU

Na základe doteraz známych veľmi dobrých vlastností teplotných snímačov overených meraním bolo rozpracované meranie rozmerového opotrebovania rezného nástroja pomocou teplotného snímača. Z nich vyplýva, že teplotné snímače pracujúce so zmenou

teplotného výkonu majú charakteristiku závislosti medzi tepelným výkonom snímanej časti a elektrickým odporom. Spôsob merania rozmerového opotrebovania rezných nástrojov je význačný tým, že pri otupení noža dochádza k zväčšeniu reznej sily a tým aj zväčšeniu vzniku tepla počas sústruženia. Snímač pozostáva z teplotne závislého rezistora umiestneného na sústružníckom noži. Poloha snímača na noži je stále rovnaká, aby sa zachovala hodnota časovej konštanty τ , ktorá je potrebná pre ďalšie výpočty. Veľkosť ustálenej teploty počas sústruženia nám dáva informáciu o opotrebení nástroja. Pre daný typ nástroja je potrebné zmerať závislosť teploty na opotrebení, pričom meranie v prevádzke je spoľahlivé pri zabezpečení rovnakých parametrov, a to najmä čo sa týka zachovania približnej tvrdosti sústružených materiálov. Tento princíp merania uvažuje len so statickými parametrami, pričom je už rozpracovaný aj dynamický systém s doteraz úspešnými výsledkami skúšok.

2 POSTUP A PODMIENKY MERANIA

Meranie systému prebiehalo diskretné so vzorkovaním s určitou frekvenciou. V priebehu merania je z dvoch okamžitých hodnôt meranej teploty vypočítavaná maximálna limitná hodnota teploty, ktorú by dosiahol nôž v bode merania, ak by vzrast alebo pokles teploty nasledoval rovnakým trendom. Keďže krivka závislosti opotrebenia noža na teplote pri sústružení je meraná plynule, tak aj teplota má plynulý priebeh. Pri praktickom obrábaní však dochádza

často k prerušeniam procesu. V dôsledku toho aj teplota prudko mení svoju hodnotu. Pri dlhšom prerušení obrábania klesne teplota na hodnotu teploty prostredia a v momente spustenia sústruženia až po relatívne ustálenie teploty môže ubehnúť aj niekoľko minút. Tento fakt spôsobuje to, že ak by sme pri určovaní opotrebenia nástroja vychádzali iba z jednej hodnoty okamžitej teploty, tak by to spôsobovalo značnú nepresnosť v podobe stanovenia nezodpovedajúcej hodnoty opotrebenia. Keďže vzrast a pokles teploty telesa je dej, ktorý je možné vyjadriť matematickým aparátom, to umožnilo na základe dvoch po sebe nasledujúcich hodnôt teploty určiť ustálenú hodnotu, ktorú potrebujeme poznať.

Pribeh vzrastajúcej teploty v závislosti na čase je daný vzorcom:

$$T = T_N \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (1)$$

kde T_N je limitná hodnota teploty v bode merania, ktorú môže rezný nástroj dosiahnuť pri nezmenení sa teploty v mieste rezu, T – okamžitá hodnota teploty v bode merania, t – čas, v ktorom zisťujeme hodnotu teploty, τ – časová konštanta.

Časová konštanta je pre daný rezný nástroj a daný bod merania konštantná hodnota. Pre správnosť merania je potrebné v každom bode poznať maximálnu trendovú hodnotu teploty. K tomu potrebujeme zmerať teplotu v dvoch za sebou nasledujúcich bodoch merania t_1, t_2 , a to

$$T_1 = T_N \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}\right) \text{ a } T_2 = T_N \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}}\right), \quad (2)$$

pričom platí, že

$$t_1 = -\tau \cdot \ln\left(1 - \frac{T_1}{T_N}\right) \text{ a } t_2 = -\tau \cdot \ln\left(1 - \frac{T_2}{T_N}\right). \quad (3)$$

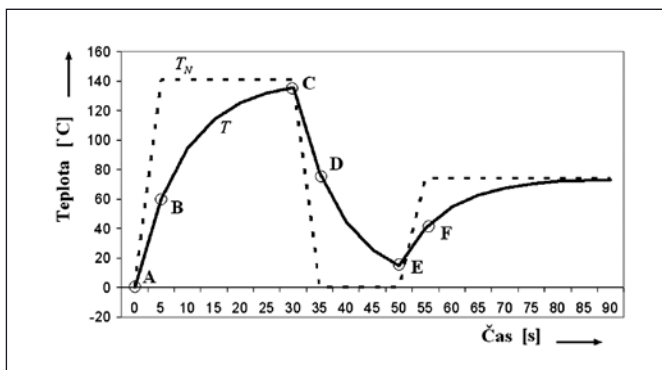
Keďže rozdiel $\Delta t = t_2 - t_1$ je známou hodnotou, tak potom je možné vyjadriť T_N nasledovne

$$T_N = \frac{T_1 - T_2 \cdot e^{\frac{\Delta t}{\tau}}}{1 - e^{\frac{\Delta t}{\tau}}}. \quad (4)$$

Tento výraz umožňuje v každom bode merania určiť na základe známych veličín limitnú hodnotu teploty a tým podstatne spresniť a urýchliť stanovenie okamžitej hodnoty opotrebenia rezného nástroja.

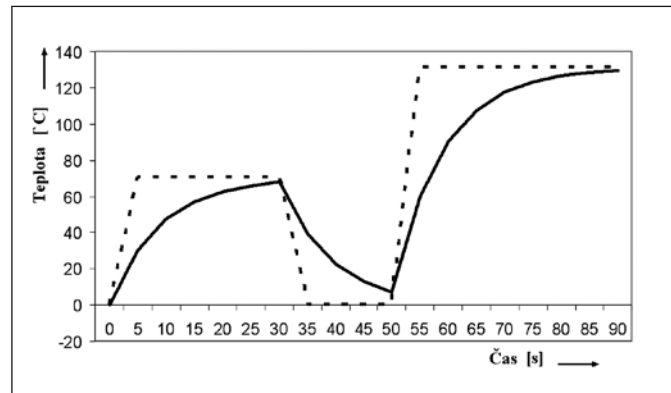
Simulácia daného výrazu v podobe grafickej závislosti je na obr. 1.

Z grafu na obr. 1 je vidieť, že v okamihu nárastu teploty je rozdiel meranej teploty (napr. bod B) a limitnej teploty T_N pomerne veľký a postupne sa znižuje. Avšak počas prechodového deja by



Obr. 1 Priebeh pri znížení teploty

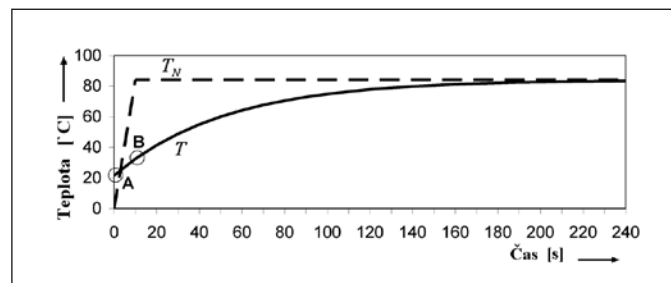
dochádzalo k nesprávnym určeniam hodnoty opotrebenia rezného nástroja, ak by sme vychádzali iba z hodnoty okamžitej meranej teploty. Preto je potrebné na stanovenie teploty mať k dispozícii dve merané hodnoty okamžitej teploty, ktoré nám umožnia vypočítať limitnú teplotu. Označené body v grafe (A-F) sú body, pri ktorých dochádza k prvotnej skokovej zmene hodnoty teploty. V čase 30 sekúnd došlo k zníženiu tvorby tepla v mieste rezu a to sa prejavilo zmenou strmosti nárastu meranej teploty. Táto zmena mohla byť spôsobená zmenou tvrdosti obrobku, alebo prestavením iných parametrov obrábania.



Obr. 2 Priebeh pri zvýšení teploty

Na obr. 2 je vidieť opäť zmenu parametrov obrábania v 50. sekunde. Došlo k zväčšeniu produkcie tepla v mieste rezu a to vyvolalo prudší rast teploty oproti rastu na intervale 0 s až 30 s. Avšak limitná teplota bola na základe výpočtu stanovená v čase druhého merania teploty od začiatku zmeny. Tento spôsob umožňuje v oblasti častých zmien teploty rýchle stanovenie koncovkej limitnej teploty, ktorá je pre vyhodnotenie stavu nástroja smerodajná. Spracovaním meraného stavu rezného nástroja je možné v ďalšom kroku realizovať korekciu opotrebenia daného nástroja, a to v podobe korekčného posuvu. Funkčnosť takejto regulačnej sústavy je veľmi výhodne overiť vytvorením jej modelu a simuláciou vo vhodnom simulačnom prostredí.

Praktické meranie dynamiky prenosu tepla s limitným stavom je zobrazené v grafe na obr. 3. Rezná časť sústružníckeho noža bola ohrievaná konštantným zdrojom tepla. Na druhom konci noža bol umiestnený teplotný snímač. Časová konštanta pre danú pozíciu teplotného snímača bola zistená meraním. Postupný nárast teploty bol meraný v 10 sekundových časových intervaloch. Je vidieť, že už z prvých dvoch hodnôt merania teploty A a B je možné stanovenie limitnej teploty T_N .



Obr. 3 Graf závislosti aproximovanej meranej hodnoty teploty T na čase a predikcia jej limitnej hodnoty T_N

Daný spôsob stanovenia limitnej teploty v procesoch merania a regulácie umožňuje značne spresniť informáciu o okamžitom stave procesu pomocou tejto určujúcej veličiny, a to najmä z dôvodu jej neustálej dynamiky. Takto je možné v každom okamžiku presne

stanovit limitní hodnotu teploty aj pri častých zmenách parametrov sústruženia, ktoré vytvárajú neharmonickú dynamickosť teplotných tokov. Bez tohoto princípu stanovenia limitnej hodnoty by celkový proces obnášal diskretnú chybu v rozmedzí časového oneskorenia prislúchajúceho priamo úmerne časovej konštante prenosu tepla.

ZÁVER

Tento matematický model je elementárnym výsledkom riešenia komplexného systému merania a regulácie s parciálnymi prvkami navzájom signálne viazanými. V procese kontroly výrobných operácií súvisiacej s jedným teplotným parametrom je potrebné dosiahnuť stav získavania diskretných hodnôt v reálnom čase, najmä ak v ďalšom procese dochádza k spracovaniu dát komparačným spôsobom. Tento spôsob zahŕňa referenčný člen, ktorého hodnoty prislúchajú okamžitým stavom bez oneskorenia. Je stále potrebné v oblasti dynamických zmien zohľadniť veľkosť vnesenej chyby vplyvom oneskorenia a vplyvom predikcie. Aj v systémoch s oneskorením existujú spôsoby korekcie s predikciou okamžitej limitnej hodnoty na základe gradientu jej zmien. Avšak v oblasti

s vyššou dynamikou je tento spôsob náročný na čas prepočtov, keďže frekvencia vzorkovania rastie s dynamikou určujúcej veličiny kvôli zachovaniu požadovanej presnosti.

Tento článok bol písaný v rámci projektu Vývoj, realizácia a overenie technického systému pre bezkontaktnú optickú identifikáciu a nadväznú korekciu rozmerového opotrebenia výrobného nástroja počas plynulého priebehu výrobných operácií č. 1/0562/08 151 na FVT.

Literatúra

- [1] KLÁN, P., GOREZ, R.: Balanced Tuning of PI Controllers, European Journal of Control 6 (2000), 541-550.
- [2] ZHOU, J., ANDERSSON, M., STAHL, J.: A System for Monitoring Cutting Tool Spontaneous Failure Based on Stress Estimation, J. of Materials Processing Technology 48 (1995), 231-237.

Ing. Radoslav Krehel, PhD., Katedra prevádzky technologických systémov, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov, tel.: 00 421 51/7722604, e-mail: krehel.radoslav@fvt.sk

Michal RŮŽIČKA, Gunnar KÜNZEL, Technická fakulta ČZU v Praze

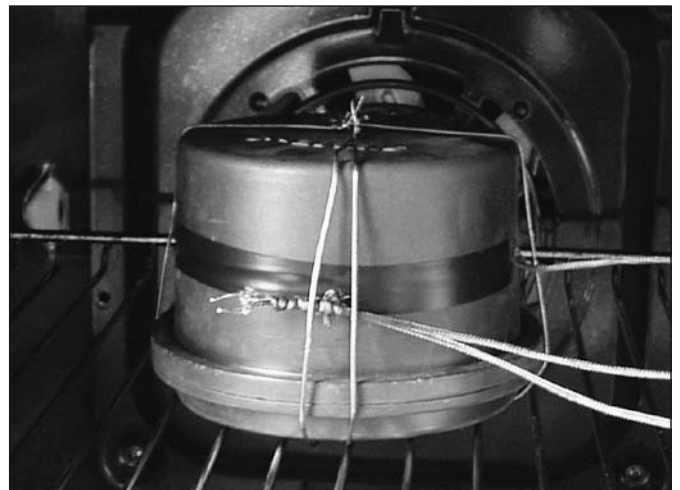
Přechodová charakteristika transpondéru MOBY I - MDS 439 E

Príspevek popisuje identifikaci objektů v podmínkách extrémního průmyslového prostředí, konkrétně v prostředí s teplotami kolem 200 °C, v němž analyzuje chování transpondéru MOBY I – MDS 439E. Byla změněna závislost vnitřní teploty transpondéru na vnější teplotě pro získání přechodové charakteristiky a přenosu transpondéru, který byl optimalizován prostřednictvím softwaru Matlab – Simulink. Výsledky měření mohou být použity v modelu simulace průběhu vnitřních teplot transpondérů při návrhu identifikačních systémů, průběhu snižování taktů dopravníkové techniky v sušících pecích a dále ve vývoji a optimalizaci tepelně izolačních vlastností transpondérů.

ÚVOD

Specifika průmyslového prostředí zásadně ovlivňují volbu identifikačních systémů, které slouží k rozlišování sledovaných objektů. Při jejich nasazování v průmyslovém prostředí musí být zvaženy faktory, kterými jsou vysoká teplota a tlak, zvýšená prašnosť, zvýšené riziko mechanického poškození a také agresivní prostředí tvořené louhy a kyselinami. Tyto faktory často nedovolují nasazení klasických identifikačních systémů, neboť jejich funkčnost částečně nebo zcela omezují.

V současné době se jeví velmi perspektivní metodou identifikace RFID (radio-frekvenční identifikace), která eliminuje nevýhody ostatních typů identifikace (magnetické, mechanické, optické). RFID má však také svá omezení, zejména v prostředí s teplotami nad 220 °C. Těmto teplotám mohou být transpondéry RFID systémů (viz. obr. 1) vystavovány například v lakovnách, kde slouží k identifikaci karosérií automobilů. Pro analýzu chování vybraného transpondéru MOBY I – MDS 439E [1] bylo provedeno měření vnitřní teploty transpondéru v závislosti na změnách vnější teploty, ze kterého byla zjištěna přechodová charakteristika, přenos v Laplaceově transformaci a vytvořen model chování transpondéru pro vybranou lakovnu.



Obr. 1 Transpondér MOBY I – MDS 439E umístěný v peci s přípevnými termočlánky

POPIS MĚŘENÍ PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY

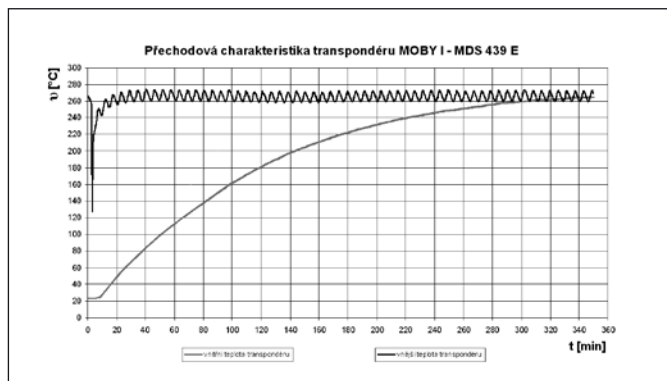
Pro měření přechodové charakteristiky byl transpondér MOBY I – MDS 439E podélně rozříznut a byly rozkryty jeho izolační vrstvy. Otvorem v plastovém obalu elektronického obvodu transpondéru umístěného ve středu transpondéru byl vsunut termočlánek typu „K“ pro měření vnitřní teploty. Poté byl transpondér složen, mechanicky zajištěn proti rozvolnění jednotlivých vrstev a vložen do pece. Druhý termočlánek stejného typu pro měření vnější teploty byl připevněn na obalu transpondéru. Požadovaná teplota v peci byla nastavena na 267 °C. Po dosažení této teploty byl do pece vložen transpondér MOBY I – MDS 439E a změřen průběh vnitřní a vnější teploty transpondéru. Regulace pece byla dvupolohová s regulací teploty v intervalu ± 6 °C, což bylo postačující vzhledem k časovým konstantám průběhů teplot.

PŘECHODOVÁ CHARAKTERISTIKA

Z grafické závislosti vnitřní a vnější teploty transpondéru na čase (viz. obr. 3) je patrný průběh teploty měřený vně transpondéru (horní křivka) a průběh vnitřní teploty transpondéru (spodní křivka). Propad vnější teploty ve druhé minutě měření byl způsoben otevřením pece pro vložení transpondéru.



Obr. 2 Pracoviště měření závislosti vnitřní a vnější teploty na čase transpondéru MOBY I – MDS 439E



Obr. 3 Průběh závislosti vnitřní a vnější teploty transpondéru na čase

Z naměřené přechodové charakteristiky transpondéru plyne, že se jedná o dynamickou soustavu II. řádu s dopravním zpožděním. Přenos transpondéru v Laplaceově transformaci je obecně popsán rovnicemi (1), (2). Bylo provedeno vyhodnocení průběhu pomocí Strejcovy identifikační metody [2] dle rovnice (3).

$$F(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-T_d p}, \quad (1)$$

$$K = \frac{\vartheta_{kvt} - \vartheta_{pvt}}{\vartheta_k - \vartheta_p}, \quad (2)$$

kde K – zesílení; ϑ_{kvt} [K] – konečná vnitřní teplota transpondéru po dosažení žádané teploty; ϑ_{pvt} [K] – počáteční vnitřní teplota transpondéru před ohřevem; $\vartheta_k - \vartheta_p$ [K] – jednotkový skok; T_1 , T_2 [s] – časové konstanty; T_d [s] – dopravní zpoždění způsobené vlastnostmi izolačních materiálů. Po dosažení získaných časových konstant

$$F(p) = \frac{1}{(5980p + 1)(598p + 1)} e^{-145p}. \quad (3)$$

OPTIMALIZAČNÍ ALGORITMUS

Pro zpřesnění získaných časových konstant přenosu T_1 a T_2 byla provedena optimalizace prostřednictvím algoritmu vytvořeného v softwaru Matlab. V průběhu optimalizace nebylo uvažováno dopravní zpoždění a přechodová charakteristika byla posunuta o -23 °C v ose y. Optimální kombinace konstant T_1 a T_2 byla určena metodou nejmenších čtverců pro celý průběh přechodové charakteristiky. Optimalizovaný přenos je uveden v rovnici (4)

$$F(p) = \frac{1}{(5673p + 1)(401p + 1)} e^{-145p}. \quad (4)$$

ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Měřením a následným vyhodnocením přechodové charakteristiky transpondéru byl získán optimalizovaný přenos transpondéru, který umožnil sestavení modelu průběhů vnitřních teplot transpondéru aplikovaných ve vybrané lakovně. Model nabízí simulaci průběhů vnitřních teplot s optimalizovaným přenosem příslušného transpondéru spolu se zadáním dob průjezdů jednotlivými sušicími pecemi, dob průjezdů mezi sušicími pecemi, teplot okolního prostředí a teplot v jednotlivých sušicích pecích. Model je určen pro kontrolu vnitřních teplot transpondérů v průběhu projektových návrhů sušicích pecí a jejich dopravníkových systémů, při zvyšování rychlosti pohybu a poruchách dopravníkové techniky v oblasti sušicích pecí a při poruchách regulace teplot v sušicích pecích (kdy z důvodů zachování produkce nejsou odstavovány hořáky ohřevu vzduchu proudícího do sušicích pecí). Dodavatelské firmy automobilového průmyslu, plánovací, výrobní oddělení a oddělení údržby automobilek mohou využít tento nástroj, který jim zajistí simulaci a ověření dob chladnutí transpondérů na provozní teplotu tak, aby byla zajištěna komunikace mezi transpondéry a prvním čtecím bodem za sušicí pecí, příp. zjištěno překročení maximální povolené teploty trvale poškozující transpondér.

Nástroj tak nabízí možnost včasné reakce na výše uvedené situace a poskytuje čas na úpravu projektů, příp. přípravu řešení problémů se čtením a zápisem dat v prvním čtecím bodě za sušicí pecí, ve kterém by se vlivem vysoké vnitřní teploty transpondérů vyskytla porucha čtení a zápisu dat, s cílem minimalizace prostojů výrobních linek a zajištění plynulosti výroby.

Literatura

- [1] Siemens AG, Automation and Drives, Nürnberg, Germany: MOBY I. Heat Resistant Data Carrier MDS 439 E. Technical Description. January 2004
- [2] Noskivič, P.: Modelování a identifikace systémů. Montanex a.s., 1999, ISBN 80-7225-030-2

Hodnotenie a vyjadrenie intervalu spoľahlivosti

Článok predstavuje postup hodnotenia a kvalifikácie intervalu spoľahlivosti meraných parametrov založenom na teórii vyjadrenia neistoty merania doporučeného CIPM (Comité International des Poids et Mesures) (Medzinárodný výbor pre váhy a meranie) v roku 1993. Číselné hodnoty intervalu spoľahlivosti získame štatistickými metódami. Technika kvantifikácie má tri zložky. Interval spoľahlivosti označený symbolom u_c získame štatistickým výpočtom meraných parametrov x_i použitím koeficientu spoľahlivosti $e = 2,72$. Kombinovaný interval spoľahlivosti označený symbolom u_{ce} získame štatistickým sčítaním intervalu spoľahlivosti u_c s neistotou merania meracieho prístroja u_B (merací prístroj na meranie parametrov). Interval spoľahlivosti meraných parametrov označený symbolom U_c získame násobením kombinovaného intervalu spoľahlivosti faktorom pokrytia k pri zodpovedajúcej pravdepodobnosti P . Interval spoľahlivosti meraných parametrov pokrýva rozptyl meraných parametrov so stanovenou pravdepodobnosťou. Interval spoľahlivosti meraných parametrov použijeme pri hodnotení a riadení technologických procesov s cieľom zabezpečenia kvality produktov a efektívnosti výroby.

Kľúčové slová: parameter, odchýlka, interval, kvalifikácia, pravdepodobnosť, spoľahlivosť.

ÚVOD

Meranie a produkcia sú náhodné (stochastické) procesy, pri opakovaní ktorých nedostávame úplne rovnaké výsledky. Rozdielnosť výsledkov spôsobujú časovo sa meniace podmienky a vplyvy veličín, ktoré sa riadia štatistickými zákonmi. Meniace sa podmienky a vplyvy veličín spôsobujú odchýlky parametrov (chyby), ktoré sú systematické a náhodné.

Známe systematické odchýlky parametrov môžeme identifikovať, vyhodnotiť, lineárne sčítať a korekciou vylúčiť z výsledku merania. Neznáme, nevyhodnotené systematické odchýlky parametrov sčítame podľa štatistického zákona (kvadraticky) s náhodnými odchýlkami, ktoré vytvárajú väčšie alebo menšie, kladné alebo záporné zmeny parametrov. Tieto zmeny parametrov vyhodnotíme ako neistotu merania s určitou pravdepodobnosťou so znamienkami \pm .

Zužovať rozptyl parametrov merania môžeme zvyšovaním počtu meraní, čo vytvára podmienky normálneho (Gaussového) rozdelenia. Zmeny podmienok a vplyvy veličín rozdeľujeme na funkčné vplyvy a vplyvove veličiny.

Medzi funkčné vplyvy zaraďujeme opotrebenie nástroja či stroja, jeho hádzanie, chvenie, tuhosť, súososti, rovinnosť vodiacich plôch, nerovnomernú kvalitu obrábaného materiálu, chyby odčítania, kolísanie meracej sily, trenie v prístroji. Medzi vplyvové veličiny zaraďujeme teplotu, tlak, vlhkosť, magnetizmus, otrasy, mechanické rázy, napájacie napätie a jeho frekvenciu.

Následkom funkčných zmien a vplyvových veličín vznikajú náhodné premenné parametre x_i meraných veličín. Pre charakterizovanie nespojitej (diskrétnej) náhodnej premennej veličiny x_i musíme poznať množinu jej možných hodnôt a pravdepodobnosť ich výskytu, ktoré tvoria zákon rozdelenia. Ich hustotu rozdelenia $f(x)$ spracovávame krivkou alebo analyticky, pričom musíme poznať druh rozdelenia a jeho charakteristiky (strednú hodnotu, najpočetnejšiu hodnotu, rozptyl, smerodajnú odchýlku, štandardnú odchýlku). Vo výrobe a pri meraní sa najčastejšie stretávame s normálnym rozdelením. Toto rozdelenie je rozsiahle použiteľné, možno ním aproximovať aj iné blízke rozdelenia.

Teória i prax dokázali správnosť tvrdenia, že normálne rozdelenie tvorí kombinácia náhodných vplyvov. Pomocou centrálny limitnej vety sa dá dokázať, že vždy musí dôjsť aspoň približne k normálnemu rozdeleniu, ak je pôsobenie väčšieho počtu navzájom nezávislých vplyvov, aj keď je každý z týchto jednotlivých faktorov akokoľvek rozdelený. Zákon veľkých čísel a limitné vety tvoria významnú časť teórie pravdepodobnosti. Podstata zákona veľkých

čísel hovorí, že neznámu strednú hodnotu náhodnej premennej najčastejšie odhadujeme tak, že z náhodného výberu vypočítame aritmetický priemer. S rastúcim rozsahom výberu sa aritmetický priemer približuje k strednej hodnote náhodnej premennej. Význam limitných viet pri spracovaní výsledkov merania spočíva v tom, že (za veľmi všeobecných podmienok) súčet nezávislých náhodných premenných konverguje podľa rozdelenia k normálnemu rozdeleniu. Centrálna limitná veta tvrdí, že pre dostatočne veľký počet meraní n má súčet

$$\sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

približne normálne rozdelenie [1]. Teoreticky normálne rozdelenie môže vzniknúť už pri šiestich meraniach. Štatistické metódy a teória pravdepodobnosti sa opierajú o teóriu rozdelenia, zákon veľkých čísel a limitné vety, z čoho vyplýva, že hodnotenie a stanovenie intervalu spoľahlivosti má svoje opodstatnenie pri určovaní výsledkov merania.

HRANICE ROZPTYLU

Pri výrobnom procese a meraní parametrov sa menia podmienky, čo má vplyv na hodnoty veličín x_i . Z nameraných parametrov získame normálne rozdelenie s dolnou a hornou hranicou rozptylu [2, 3, 4].

Pri hodnotení kvality produkcie sú významné hranice, v ktorých sa nachádzajú parametre produktov. V nasledujúcom stanovíme teóriu analytického hodnotenia a klasifikácie intervalu spoľahlivosti rozptylu parametrov.

Teória analytického výpočtu intervalu spoľahlivosti meraných parametrov je založená na teórii výpočtu neistoty výsledkov merania [5 - 8]. Súčasťou teórie je, že presnosť je kvalitatívny pojem, presnosť by nemala byť použitá namiesto neistoty merania [6]. Neistota merania (výsledku merania) sa rozumie parameter charakterizujúci rozsah hodnôt (interval hodnôt) okolo výsledku merania, ktorý možno odôvodnene priradiť hodnote výsledku meranej veličiny [8].

HODNOTENIE A VYJADRENIE INTERVALU SPOLIAHLIVOSTI PRE ROZPTYL PARAMETROV

Intervalom spoľahlivosti meraných parametrov sa rozumie parameter charakterizujúci rozsah hodnôt stanovený s určitou pravdepodobnosťou. Proces hodnotenia a kvalifikácie intervalu spoľahlivosti parametrov merania je určený prostredníctvom výpočtu troch zložiek.

Klasifikácia zložiek intervalu spoľahlivosti merania.

1. Interval spoľahlivosti u_e získame 4štatistickým výpočtom z meraných parametrov x_i použitím koeficientu spoľahlivosti $e = 2,72$

$$u_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{e(n-1)}} \quad (2)$$

Strednú hodnotu \bar{x} meraných parametrov vo vzorci (3) získame z nameraných parametrov x_i nasledovne:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

2. Kombinovaný interval spoľahlivosti u_{ce} získame štatistickým sčítaním intervalu spoľahlivosti meraných parametrov u_e s neistotou merania meracieho prístroja u_B , s ktorým vykonávame merania:

$$u_{ce} = \sqrt{u_e^2 + u_B^2} \quad (4)$$

Neistota merania meracieho prístroja u_B má veľký vplyv na výpočet kombinovaného intervalu spoľahlivosti, teda na výsledný rozptyl parametrov. Neistotu merania meracieho prístroja u_B získame z certifikátu kalibrácie prístroja. Pri jej stanovení sa musí vykonať obširný rozbor ovplyvňujúcich veličín a výsledná neistota u_B je daná odmocninou súčtu druhých mocnín neistôt majúcich pôvod v rozličných sprievodných vplyvoch.

3. Interval spoľahlivosti parametrov U_c získame násobením kombinovaného intervalu spoľahlivosti pre rozptyl parametrov u_{ce} faktorom pokrytia k pri požadovanej pravdepodobnosti P .

$$U_c = k u_{ce} \quad (5)$$

čo obecné znamená, že konkrétny meraný parameter x_i je v rozmedzí

$$x_i \in (\bar{x} - U_c, \bar{x} + U_c) \quad (6)$$

Rozptyl R je definovaný ako interval

$$R \equiv (x_{\min}, x_{\max}) \quad (7)$$

kde x_{\max} je maximálna hodnota meraných parametrov x_i a x_{\min} je minimálna hodnota meraných parametrov x_i .

Interval spoľahlivosti U_c pokrýva rozptyl R v závislosti od zvolenej pravdepodobnosti P pri výpočte. Interval spoľahlivosti parametrov U_c pri použití koeficiente spoľahlivosti $e = 2,72$ a príslušnom faktore pokrytia $k = 4$ pokrýva reálne parametre s pravdepodobnosťou $P = 99,994 \%$.

Tab. 1 Závislosť faktoru pokrytia k na pravdepodobnosti pokrytia P [6]

P [%]	k
68,270	1,000
90,000	1,645
95,000	1,960
95,450	2,000
99,000	2,579

99,730	3,000
99,900	3,300
99,994	4,000

Faktor pokrytia určuje interval, v ktorom sa nachádza náhodná veličina s príslušnou pravdepodobnosťou. Pravdepodobnosť vypočítame pomocou funkcie hustoty $f(x)$ náhodnej veličiny. Pre určenie neistoty násobíme vypočítanú smerodajnú odchýlku výsledku Studentovým koeficientom k príslušným pre tu ktorú pravdepodobnosť P a pre zvolený počet meraní n .

Konštruktér navrhuje parametre produktov, ktoré tvoria znaky kvality, čo definuje kvalitu, ako úroveň metrologických parametrov veličín merania súhrnných znakov kvality. Pri plánovaní a konštruovaní zariadenia a detailov do výroby stanovujeme parametre rozmerov, tvaru, drsnosti povrchu a zloženia materiálu s toleranciami, aby parametrami vyhovovali stanoveným požiadavkám kvality.

Technológ navrhuje technologický postup tak, aby boli splnené požiadavky konštruktéra a riadi proces technologického postupu tak, aby boli zabezpečené konštruktérom navrhnuté tolerancie parametrov. Stanovenie intervalu spoľahlivosti meraných parametrov určuje percento vyhovujúcich výrobkov s určenou pravdepodobnosťou.

ZÁVER

Interval spoľahlivosti meraných parametrov U_c určuje interval rozptylu parametrov s príslušnou pravdepodobnosťou. Hodnotenie a kvalifikácia intervalu spoľahlivosti v hromadnej výrobe je aktuálna metóda na kontrolu kvality produktov a efektívnosti technologických procesov.

Pri výpočte intervalu spoľahlivosti meraných parametrov je možnosť voľby koeficientu pokrytia $k = 4$, pričom je pokrytie reálnych meraných parametrov produktov s pravdepodobnosťou 99,994 %.

Interval spoľahlivosti meraných parametrov produktov používame pri riadení technologických procesov v hromadnej produkcii s cieľom zabezpečenia kvality produktov a efektívnosti vo zvolených parametroch s reprezentatívnym výberom produktov v definovanom časovom úseku.

Literatúra

- [1] František Lamoš, Rastislav Potocky, Pravdepodobnosť a matematická štatistika, štatistické analýzy. ALFA Bratislava 1989
- [2] Dr. Wolfgang Kessel, Braunschweig, ISO/BIPM Guide: Uncertainty of measurement. English version of a lecture given at the DGQ-VDI/NDE meeting in Langen/Hessen (1998)
- [3] A. E. Fridman, Generalized normal distribution law of errors, Metrologia, 2002, 39, 241-247
- [4] A. E. Fridman, Teoria metrologičeskoj nadežnosti sredstv izmerenij. Izmeritel'naja tehnika, 11/91
- [5] CIPM, BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures 49, 8-9, 26 (1981) (in French); P. Giacomo, News from the BIPM, Metrologia 18, 41-44 (1982)
- [6] Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt, Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, Edition 1994
- [7] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, requirements document, 1st edition, 1996, European co-operation for Accreditation (Utrecht, The Netherlands)
- [8] TPM 0051-93, Stanovenie neistôt pri meraniach, Technický predpis metrologický. Slovenský metrologický ústav, Bratislava, január 1993

Matematický model jízdy vozidla

Cílem článku je navrhnout matematický model jízdy vozidla, který bude schopný nepřímo stanovit okamžité a kumulované hodnoty produkce emisí a spotřeby paliva. Takto stanovené kumulované hodnoty emisí nebo spotřeby paliva mohou být zpoplatněny a stimulovat tak řidiče k ohleduplné jízdě k životnímu prostředí. Princip metody je založen na určení průběhu zatížení motoru z rychlosti vozidla, kterému je možné přiřadit produkci emisí a spotřebu paliva z charakteristik motoru. Charakteristiky spotřeby paliva a produkce emisí musejí být stanoveny jako spojité funkce. Matematický model jízdy vozidla je pak použit pro určení průběhu zatížení motoru z rychlosti vozidla.

Klíčová slova: jízdní odpory, točivý moment motoru, otáčky motoru, spotřeba paliva, škodlivé emise

1. ÚVOD

Doprava v České republice představuje, obdobně jako v jiných vyspělých zemích, jeden z hlavních faktorů, které nepříznivě ovlivňují kvalitu životního prostředí. Právě kvalita životního prostředí je pro zdravý rozvoj populace zásadní. Vzhledem k dramatickému růstu dopravy je nutné se soustředit na možnosti směřující k minimalizaci nežádoucích jevů dopravy na obyvatelstvo a přírodu jako celek.

Na celém světě převažují snahy o minimalizaci produkce emisí. Mezi základní možnosti patří zkvalitnění procesu spalování, dodatečná úprava spalin, snižování jízdních odporů, využívání alternativních paliv zejména biologického původu, kombinace několika druhů pohonů (hybridní pohony) atd. Další v praxi doposud nepoužitou, ale často diskutovanou možností je monitorování a následné zpoplatnění produkce emisí, resp. spotřeby paliva, reálně jedoucího individuálního vozidla. Zpoplatnění produkce emisí by řidiče motivovalo k využívání pracovních oblastí motoru s minimální produkcí emisí [1].

V současné době neexistuje žádná, finančně přijatelná, metoda umožňující monitorování a následné zpoplatnění produkce emisí, která by mohla být široce použitelná v běžném provozu. V USA sice existují speciální analyzátoři, které jsou schopny přímo měřit tyto hodnoty za provozu vozidla, avšak jejich cena přesahuje cenu vozidla. Z tohoto důvodu se článek zabývá návrhem matematického modelu jízdy vozidla, který by byl schopný vyhodnocovat okamžité a kumulované hodnoty produkce jednotlivých složek emisí, resp. spotřeby paliva s následnou možností jejich zpoplatnění [2], [3].

Metoda vychází z unikátního propojení matematického modelu jízdy vozidla s charakteristikou spotřeby paliva a emisními charakteristikami motoru. Matematický model jízdy vozidla stanoví z definované rychlosti vozidla a definovaných parametrů vozidla zatížení motoru. Ze spojité charakteristiky spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí se pak k průběhu zatížení motoru stanoví průběh okamžité a kumulované spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí [4].

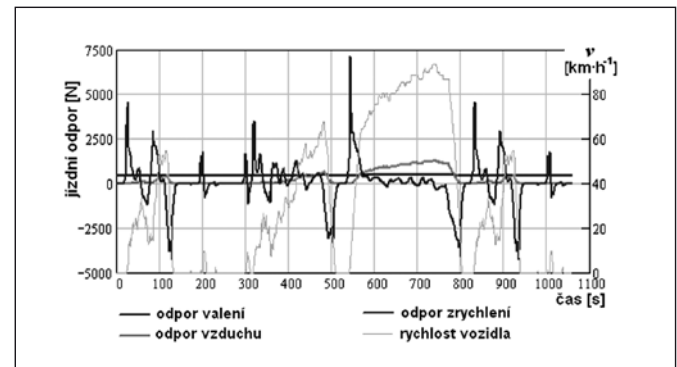
2. METODY

Celý matematický model jízdy vozidla je zpracován ve vývojevém programu Mathcad. Model je navržen na vozidlo Avia D70 s motorem D432.100, jehož emisní charakteristiky a charakteristika spotřeby paliva jsou převzaty od výrobce motoru. K průběhu rychlosti vozidla je využit jízdní cyklus Urban Dynamometer Driving Schedule sloužící k homologaci vozidel nad 3,5 t. Model je nejprve navržen na vozidlo a pohotovostní hmotnosti a poté je aplikován na vozidlo o celkové hmotnosti, čímž je ověřena univerzálnost navrženého modelu jízdy vozidla a také ukázána rozdílná produkce emisí, resp. spotřeba paliva v závislosti na hmotnosti vozidla.

3. ZPRACOVÁNÍ

3.1 Definování jízdních odporů

Prvním krokem je definování jízdních odporů k průběhu rychlosti vozidla. Odpor valení a odpor vzduchu lze stanovit pouze z průběhu rychlosti. Pro stanovení odporu zrychlení je třeba definovat řazení jednotlivých převodových stupňů, aby bylo možné redukovat setrvačné rotační hmoty na posuvné. Navýšení hmotnosti nákladního vozidla na první převodový stupeň může dosahovat až 270 %. Odpor stoupání není v matematickém modelu zahrnut. Pro jeho určení by bylo třeba definovat sklon vozovky. Při praktickém využívání tohoto modelu by sklon vozovky mohl být určován pomocí signálu z GPS, buď přímo jako výšková kóta, nebo z polohy vozidla a mapy určit daný sklon vozovky. Jednotlivé jízdní odpory jsou definované rovnicemi (1) - (3). Na obr. 1 je znázorněn průběh jednotlivých jízdních odporů a průběh rychlosti vozidla.



Obr. 1 Průběhy jednotlivých odporů vozidla o pohotovostní hmotnosti v čase jízdy

$$F_r(i) = \psi(i)m_v g, \quad (1)$$

kde $F_r(i)$ [N] je odpor valení, $\psi_r(i)$ [-] je bezrozměrný součinitel odporu valení, m_v [kg] je hmotnost vozidla, g [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] je tíhové zrychlení vozidla.

$$F_v(i) = 0,5 S_x c_x \rho_x \left(\frac{v_D(i)}{3,6} \right)^2, \quad (2)$$

kde $F_v(i)$ [N] je odpor vzduchu, S_x [m^2] je čelní plocha vozidla, c_x je bezrozměrný součinitel odporu vzduchu, ρ_v [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] je hustota vzduchu, $v_D(i)$ [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$] je rychlost vozidla.

$$F_a(i) = m(i)a(i), \quad (3)$$

kde $F_a(i)$ [N] je odpor zrychlení, $m(i)$ [kg] je průběh celkové urychlované hmotnosti vozidla, $a(i)$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] je zrychlení vozidla.

Součtem jednotlivých odporů dle rovnice (4) vznikne celkový jízdní odpor

$$F_c(i) = F_r(i) + F_v(i) + F_a(i), \quad (4)$$

kde $F_c(i)$ [N] je celkový jízdní odpor, $F_r(i)$ [N] je odpor valení, $F_v(i)$ [N] je odpor vzduchu, $F_a(i)$ [N] je odpor zrychlení.

3.2 Stanovení otáček a zatížení motoru

Z rychlosti vozidla jsou podle rovnice (5) stanoveny otáčky hnacích kol. Do výpočtu je zahrnut i prokluz hnacích kol

$$n_k(i) = \frac{1000v_D(i)(1 + \delta(i))}{2\pi r_d 60}, \quad (5)$$

kde $n_k(i)$ [min^{-1}] jsou otáčky hnacích kol, $v_D(i)$ [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$] je rychlost vozidla, $\delta(i)$ je bezrozměrný prokluz hnacích kol, r_d [m] je dynamický poloměr kola.

Otáčky kola jsou v závislosti na zařazeném převodovém stupni převedeny na otáčky motoru. Rovnice (6) ukazuje výpočet otáček motoru pro první převodový stupeň. Výpočet pro ostatní převodové stupně je obdobný, liší se pouze v jiné hodnotě převodového poměru.

$$n_{ml}(i) = if(P(i) = 1, n_k(i) \cdot i_1, n_{m0}(i)), \quad (6)$$

kde n_{ml} [min^{-1}] jsou otáčky motoru na první převodový stupeň, $P(i)$ je průběh řazení jednotlivých převodových stupňů (v tomto případě první stupeň), $n_k(i)$ [min^{-1}] jsou otáčky hnacích kol, i_1 je převod na první stupeň, $n_{m0}(i)$ [min^{-1}] jsou otáčky motoru při řazení neutrálu.

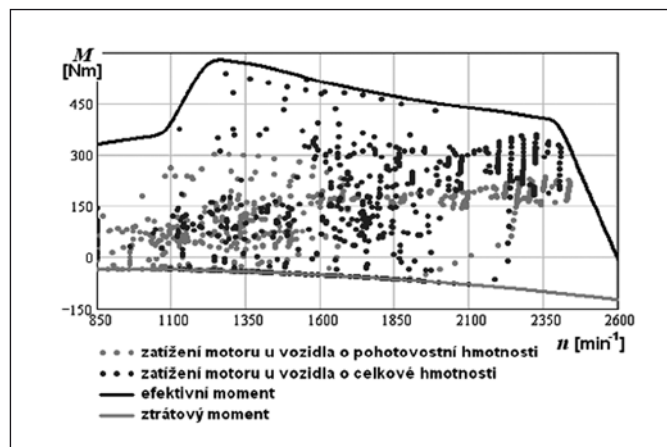
Z celkového jízdního odporu je podle rov. (7) stanoven potřebný hnací moment na kolech.

$$M_k(i) = F_c(i)r_d, \quad (7)$$

kde $M_k(i)$ [Nm] je točivý moment na kolech vozidla, $F_c(i)$ [N] je celkový jízdní odpor, r_d [m] je dynamický poloměr kola.

Točivý moment na kolech je opět v závislosti na zařazeném převodovém stupni převeden na točivý moment motoru. Rov. (8) opět ukazuje výpočet pro první převodový stupeň.

$$M_{ml}(i) = if\left(P(i) = 1, \frac{M_k(i)}{i_1 \cdot \eta_p}, M_{m0}(i)\right) \quad (8)$$



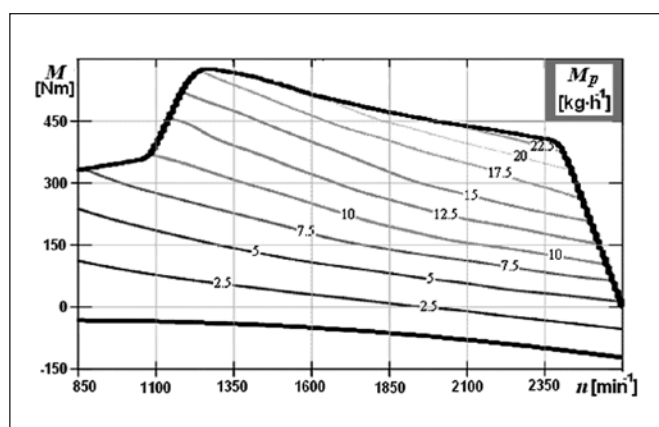
Obr. 2 Zatížení motoru pro vozidlo o pohotovostní a celkové hmotnosti

kde $M_{ml}(i)$ [Nm] je točivý moment motoru na první převodový stupeň, $P(i)$ je průběh řazení jednotlivých převodových stupňů (v tomto případě první stupeň), $M_k(i)$ [Nm] je točivý moment na kolech vozidla, i_1 [-] je převod na první stupeň, η_p [-] je účinnost převodového ústrojí, $M_{m0}(i)$ [Nm] je točivý moment motoru při řazení neutrálu.

Na obr. 2 je znázorněno zatížení motoru definované otáčkami a točivým momentem motoru pro vozidlo o pohotovostní a celkové hmotnosti.

3.3 Stanovení okamžitých a kumulovaných hodnot spotřeby paliva, resp. produkce emisí

Z naměřených hodnot je nutné definovat spojitou charakteristiku spotřeby paliva, resp. produkci jednotlivých složek emisí v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru. Proces je relativně složitý, rovnice (9) představuje výsledný vztah definující spojitou charakteristiku. Na obr. 3 je pak znázorněna tato charakteristika, která je navíc ohraničena maximálním a ztrátovým momentem motoru.

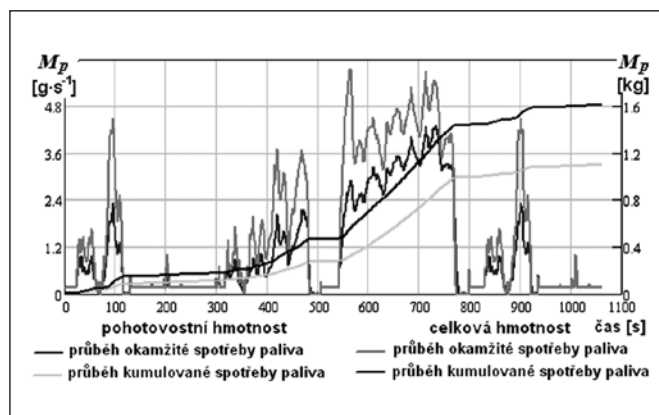


Obr. 3 Zatížení motoru pro vozidlo o pohotovostní a celkové hmotnosti

$$fit(x, y) = \text{interp}\left[s, m, p, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right] \quad (9)$$

kde $fit(x, y)$ [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$] je spojitý předpis hodinové spotřeby paliva.

Je-li definována spojitá charakteristika spotřeby paliva, resp. produkce emisí a průběh zatížení motoru, můžeme stanovit průběh okamžitých a kumulovaných spotřeb paliva, resp. produkci emisí dle rovnic (10) a (11). Průběh okamžité a kumulované spotřeby paliva je znázorněn na obr. 4. Tab. 1 zobrazuje souhrnné hodnoty spotřeby paliva a produkce jednotlivých emisí pro vozidlo o pohotovostní a celkové hmotnosti.



Obr. 4 Průběh okamžité a kumulované spotřeby paliva

Tab. 1 Souhrnná tabulka výsledných hodnot

	M_p [kg]	CO_2 [kg]	CO [g]	HC [g]	NO_x [g]	PM [g]
pohotovostní hmotnost daný úsek	1,101	3,331	9,032	0,309	20,35	0,516
pohotovostní hmotnost přepočten na 100 km	12,401	37,501	101,709	3,477	229,164	5,805
celková hmotnost daný úsek	1,611	4,927	8,24	0,273	30,874	0,617
celková hmotnost přepočten na 100 km	18,141	55,482	92,791	3,076	347,676	6,951
rozdíl na daný úsek	0,51	1,596	- 0,792	- 0,036	10,524	0,102
rozdíl na 100 km	5,74	17,977	- 8,918	- 0,4	118,512	1,146

$$Mp_s(i) = \text{fit}(n_m(i), M_m(i)) \cdot 3,6^{-1} \quad (10)$$

kde $Mp_s(i)$ [$g \cdot s^{-1}$] je průběh okamžité spotřeby paliva, $n_m(i)$ [min^{-1}] je průběh otáček motoru, $M_m(i)$ [Nm] je průběh točivého momentu motoru

$$Mp_k(i) = \sum_{i=0}^i (Mp_s(i) \cdot 0,001), \quad (11)$$

kde $Mp_k(i)$ [kg] je průběh kumulované spotřeby paliva, $Mp_s(i)$ [$g \cdot s^{-1}$] je průběh okamžité spotřeby paliva.

4. ZÁVĚR

Výsledky ukazují, že matematický model jízdy vozidla lze úspěšně využít ke stanovení okamžité a kumulované produkce emisí, resp. spotřeby paliva v závislosti na různých parametrech vozidla, případně stylu jízdy. Tímto způsobem by bylo možné každému vozidlu přiřadit spotřebu paliva a produkci emisí, která by pak mohla být zpoplatněna. Ekologická daň, která by byla stanovena za každý kilogram vyprodukovaných emisí, by řidiče finančně motivovala k ohleduplné jízdě k životnímu prostředí a dále by umožňovala zahrnutí externích nákladů spojených s ekologickými aspekty dopravy do ceny přepravního procesu.

Předpokládané využití matematického modelu jízdy vozidla

V jednodušší formě, zpracovávané off-line, která by byla schopna za určitou dobu provozu vozidla stanovit kumulovanou produkci jednotlivých složek emisí, lze tento model využít ke zpoplatnění vyprodukovaných emisí, a tím spravedlivě zahrnout externí náklady spojené s ekologickými aspekty dopravy do ceny přepravního procesu.

Ve složitější podobě, zpracovávané řídicí jednotkou přímo ve vozidle, by bylo možné dynamický model jízdy vozidla využít při on-line analýze vstupů (spotřeby paliva) a výstupů (jednotlivých

složek emisí) motoru a dávat tím řidiči pokyny pro režim jízdy vozidla z hlediska upřednostnění minimalizace spotřeby paliva nebo škodlivých emisí. Dále by bylo možné s využitím monitorování pohybu vozidel a změnou výše ekologického poplatku řidiče motivovat ke změně režimů jízdy tak, aby např. ve velkých městech preferovali režim s minimální produkcí škodlivých emisí i za cenu vyšší spotřeby paliva a v mimoměstských oblastech preferovali jízdu s minimální spotřebou paliva i přes případný mírný nárůst produkce emisí.

Obě možnosti využití matematického modelu jízdy vozidla přinášejí další významnou možnost vedoucí ke snížení negativních dopadů dopravy na životní prostředí.

Literatura

- [1] HROMÁDKO, J.: Analýza dynamických parametrů motorových vozidel v souvislosti s ekologií a ekonomikou provozu, disertační práce, ČZU, 2007
- [2] KADLEČEK, B. - PEJŠA, L. - DVOŘÁK, F.: Possibilities of practical assessment of combustion engines parameters, in MECCA 1/2005, Journal of Middle European, Construction and Design of Cars, České vysoké učení technické, Praha. str. 39-46, ISSN 1214-0821
- [3] HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J.: Problems of fuel consumption measurement. XXXVII. Mezinárodní konference kateder a pracovišť spalovacích motorů českých a slovenských vysokých škol, Praha 2006. ISBN 80-213-1510-5
- [4] HROMÁDKO, J., HROMÁDKO, J.: Problems of power parameter measurement of constant-speed engines with small cylinder volume by acceleration method. IX Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Poznań 2006. ISBN 83-7160-418-1

Ing. Jan Hromádko, Ph.D., Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6- Suchdol, tel.: +420 22438 4108, e-mail: janhromadko@tf.czu.cz

Ing. Vladimír Hönig (AMRSC), Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6- Suchdol, tel.: +420 22438 3105, e-mail: honig@tf.czu.cz

Ing. Jiří Hromádko, Ph.D., Ministerstvo životního prostředí ČR, Vršovická 65, 100 10 Praha 10, tel.: +420724093945, e-mail: jiri_hromadko@env.cz

Ing. Petr Miler, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6- Suchdol, tel.: +420 224 383 105, e-mail: miler@tf.czu.cz

Interference difuzních elektronových vln v rovnovážných kovových nanovodičích

Článek uvádí fundamentální kvantově-statistickou a elektromagnetickou teoretickou interpretaci elektrické vodivosti difuzních volných elektronů v nanometrickém kovovém vodiči, který je v termodynamické a elektrické rovnováze se vstupním a výstupním elektronovým rezervoárem. Tato vodivost je pojímána jako důsledek kvantově-mechanické fázové koherence a interference příslušných de Broglieho částicových (elektronových) vln v kovovém nanovzorku o nízké absolutní teplotě. Prezentované vzorce vyplývají z aplikace kvantové Fermiho-Diracovy statistiky rozdělení energie volných elektronů v kovovém nanovzorku a z úvah o dvousvazkové interferenci v něm obsažených úplně koherentních elektronových vln, jejichž vzájemná náhodná fáze je říditelná ladicím vnějším magnetickým polem. Některé základní způsoby experimentálního ověření zmíněných vzorců pro prstencový a přímý kovový nanovzorek a ladicí homogenní magnetostatické pole jsou pak popsány a zhodnoceny v závěrečném textu tohoto článku.

1. ÚVOD

Nanomateriály (nanostruktury) jsou látky a jejich vzorky o efektivních rozměrech, které dosahují jen několik desítek nanometrů a tím vykazují specifické vlastnosti v porovnání se vzorky makroskopické rozměrové škály. Jejich výroba je zajištěna existencí moderní monolitické nanotechnologie a v praxi umožňují další miniaturizaci mikroelektromechanických, elektronických a optoelektronických prvků a integrovaných zařízení (viz např. knižní publikace [1-11]). Významnou skupinu tvoří kovové nanomateriály (kovové nanovodiče) a jejich systémy s kontrolovaným ovládním šíření vodivostních elektronů [2, 4-6, 9-11]. Jejich drobná struktura vyžaduje kvantově-statistickou a elektromagnetickou interpretaci vyskytujících se jevů a s nimi souvisejících experimentů. V této publikaci je pozornost zaměřena na kvantové (kvantově interpretovatelné) interferenční jevy difuzních de Broglieho elektronových vln (vlnových módů) v kovovém nanovzorku, z nichž každá má vlnovou délku

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (1)$$

a přísluší elektronu o efektivní hmotnosti m při jeho postupné rychlosti v ($h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ J·s je Planckova konstanta) [12-15]. Tyto superpoziční vlnové jevy jsou důsledkem fázové koherence (koordinovanosti) difuzních elektronových vln uvnitř celého kovového nanovzorku způsobené nízkou absolutní teplotou a projevují se specifickými hodnotami jeho difuzní elektrické (elektronové) vodivosti v závislosti na řídicím vnějším magnetickém poli. Přitom tato vodivost je přiměřeně pojata jako difuzní přenos nanovzorkem rozptýleného statistického systému předpokládaných vzájemně silově a neinteragujících vodivostních (volných) elektronů při platnosti kvantové Fermiho-Diracovy statistiky jejich energetického rozdělení v teplotní rovnováze s okolím, tj. se vstupním a výstupním rezervoárem volných elektronů (s elektrodami) [12, 13, 16-18]. Dále je v tomto článku předpokládáno malé stejnosměrné urychlující napětí U , kdy odpovídající excitační elektrická energie eU vodivostních elektronů je malá a ještě srovnatelná s tepelným rozmezím $k_b T$, tj. když platí $0 < eU \lesssim k_b T$ (kde $k_b = 1,3807 \cdot 10^{-23}$ J/K je Boltzmannova konstanta) a zmíněné elektrony prakticky tvoří ideální elektronový plyn při přiměřené absolutní teplotě. Při tomto termodynamicky a elektricky rovnovážném (kvazirównovážném) stavu (režimu) kovového nanovzorku nemá přiložené napětí U důležitý vliv na jeho interferenční a vodivostní vlastnosti. Jestliže však

platí $eU > k_b T$, kovový nanovzorek je v elektricky nerovnovážném stavu s komplikovanější kvantovou, statistickou a elektromagnetickou interpretací difuzní vodivosti a interference elektronových vln a s nutností přihlížet i k hodnotám napětí U (viz např. [18-25]).

V této publikaci je nejprve naznačena fundamentální kvantově-statistická interpretace rovnovážné elektrické vodivosti nanometrického kovového vzorku, která je důsledkem difuzního přenosu vodivostních elektronů a interference příslušných fázově-koherentních elektronových vln. Následuje popis a elektromagnetický rozbor některých základních existujících interferenčních experimentů s těmito vlnami v nanometrickém prstencovém a přímém (lineárním) kovovém vodivostním modelu.

2. FUNDAMENTÁLNÍ KVANTOVĚ-STATISTICKÁ INTERPRETACE ROVNOVÁŽNÉ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI NANOMETRICKÉHO KOVOVÉHO VZORKU PŘI DIFUZNÍM PŘENOSU VODIVOSTNÍCH ELEKTRONŮ

Elektrická (elektronová) vodivost (konduktance) G kovového vodiče (konduktoru) o makroskopické rozměrové škále (makroskopického kovového vodiče), kterým protéká kondukcí (vodivý) elektrický proud (realizuje se usměrněný pohyb fluktuujících volných elektronů), splňuje při konstantní teplotě známou elementární relaci

$$G = \frac{S}{l} \gamma, \quad (2)$$

kde S je průřez vodiče délky l , geometrický koeficient S/l reprezentuje jeho geometrii a materiálový koeficient γ charakterizuje jeho obvykle průměrnou měrnou (specifickou) vodivost (konduktivitu) [26-28]. Se zřetelem k tomu, že se při dané teplotě vodivostní elektrony v kovu pohybují náhodnými směry (obdobně jako molekuly v plynu) a ustavičně prodělávají srážky s kovovou mřížkou a jejími nepravidelnostmi, jejími strukturálními poruchami nebo s momentálně vibracemi vychýlenými kovovými atomy, existuje mezi jednotlivými srážkami určitý střední časový interval (střední volná doba) τ_{sr} , který závisí na bližší charakteristice elektronového plynu. Vytvoří-li se mezi konci kovového vodiče elektrické napětí U , pak odpovídající intenzita elektrického pole

$$E = \frac{U}{l}, \quad (3)$$

působící na vodivostní elektron o záporném elementárním elektrickém náboji $e = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ C a efektivní hmotnosti $m \hat{=} m_0 = 9,1095 \cdot 10^{-31}$ kg, vede v souladu s druhým Newtonovým pohybovým zákonem během zmíněného časového intervalu τ_{sr} ke změně Δv jeho postupné rychlosti vzhledem k výchozí nulové hodnotě podle relace

$$\Delta v = \frac{eE\tau_{sr}}{m}. \quad (4)$$

V předpokládané přítomnosti rozptylových jevů v kovovém vodiči je pohyb vodivostních elektronů v tomto vodiči difuzní se superpoziční unášecí (driftovou) rychlostí o průměrné hodnotě

$$v_d = \frac{\Delta v}{2} = \frac{eE\tau_{sr}}{2m}, \quad (5)$$

kteřá je obvykle malá ve srovnání s původní střední rychlostí náhodného pohybu elektronů. Přiměřený průměrný difuzní elektrický proud I , protékající zmíněným kovovým vodičem, je

$$I = \eta S e v_d = \frac{\eta e^2 \tau_{sr} S}{2m} U, \quad (6)$$

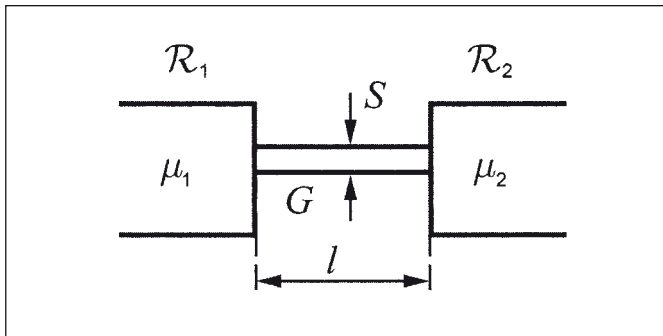
kde veličina η představuje objemovou hustotu (koncentraci) vodivostních elektronů (jejich počet v objemové jednotce vodiče) [13,29]. Takže uvažovanému difuznímu elektrickému proudu (6) přísluší elektrická vodivost G a měrná vodivost γ o vyjádřeních

$$G = \frac{I}{U} = \frac{\eta e^2 \tau_{sr} S}{2m l}, \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{\eta e^2 \tau_{sr}}{2m}. \quad (8)$$

Uváží-li se v souladu s publikací [29] jen mezní driftová rychlost $v_d = \Delta v$, lze získat tzv. Druheho vzorec

$$\gamma = \frac{\eta e^2 \tau_{sr}}{m}. \quad (9)$$



Obr. 1 Náčrt nanometrického kovového elektrického vodiče délky l , plošného průřezu S a elektrické vodivosti G mezi vstupním a výstupním rezervoárem (elektrodami) \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 vodivostních elektronů o elektrochemických potenciálech μ_1 a μ_2

Uvedené pojetí elektrické vodivosti z hlediska Ohmova zákona a difuzního elektrického proudu (tj. difuzní elektrické vodivosti) neplatí v případech, kdy kovový vodič je rozměrově zredukován do nanometrické škály. Musí totiž být modifikováno přiměřenými kvantově-statistickými úvahami [15,18,30-35]. Uvažme nejdříve zidealizovaný případ dokonalého (bez nečistot a defektů) přímého kovového elektrického vodiče (elektrického nanovodiče) délky l , jehož průřez S je dostatečně malý tak, že jím prochází jen jeden postupný difuzní elektronový mód. K zjištění elektrické vodivosti G takového kovového drátku je přínosné si tento drátek představit jako střední část složeného

vodivostního modelu s dokonale elektricky napojeným vstupním (levým) a výstupním (pravým) dostatečně velkým elektronovým rezervoárem (rezervoárem vodivostních elektronů) \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 při dané rovnovážné absolutní teplotě T a daných kladných nebo záporných (či nulových) elektrochemických (chemických) potenciálech μ_1 a μ_2 , reprezentujících energie, které do modelu přinášíjí nebo z něho odnášíjí vodivostní elektrony. V takovém pro vodivostní elektrony můstkovém modelu na obr. 1 lze například podle publikací [18, 30] uvažovaný difuzní elektrický proud I předpokládaných vzájemně silově neinteragujících (volných) vodivostních elektronů ve zmíněném modelu vystihnout kvantově-statistickým vzorcem

$$I = \frac{e}{l} \sum_k v_k [f_1(\varepsilon_k) - f_2(\varepsilon_k)]. \quad (10)$$

V něm veličiny v_k a ε_k reprezentují odpovídající si postupné rychlosti a kinetické energie zmíněných vodivostních elektronů v dovoleném k -tém kvantovém stavu. Termodynamicky rovnovážný statistický systém těchto částic, tvořící ideální elektronový (fermionový) plyn ve zmíněném složeném vodivostním modelu, vyhovuje relacím

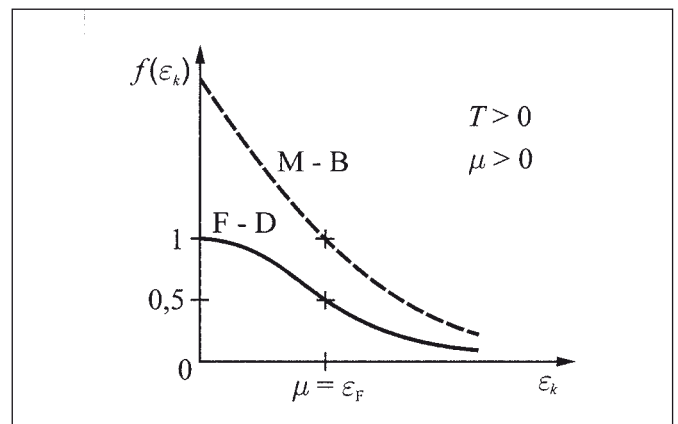
$$f_1(\varepsilon_k) = \frac{1}{1 + \exp[\beta(\varepsilon_k - \mu_1)]}, \quad (11a)$$

$$f_2(\varepsilon_k) = \frac{1}{1 + \exp[\beta(\varepsilon_k - \mu_2)]}. \quad (11b)$$

Tyto relace představují příslušné tvary kvantové Fermiho-Diracovy (F-D) pravděpodobnostní rozdělovací funkce podle energií ε_k elektronů v jejich rezervoárech \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 . V souladu s Pauliho kvantovým vylučovacím principem, podle kterého může každý kvantový stav být obsazen nejvýše jedním fermionem (v našem případě jde o elektrony), relace (11) udávají pravděpodobnost, že stav s energií ε_k bude obsazen jedním elektronem. Navíc je pro zjednodušení v relacích (11) zaveden zkratkový multiplikátor

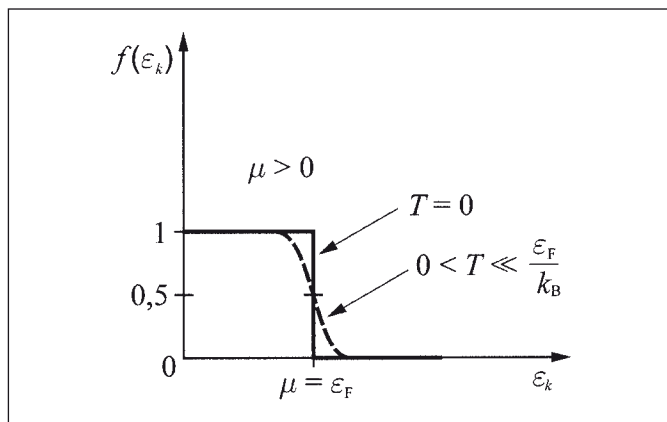
$$\beta = \frac{1}{k_B T}. \quad (12)$$

Tvar rozdělovacích funkcí typu (11), rámcově pro nenulovou absolutní teplotu $T > 0$ a kladný elektrochemický potenciál $\mu > 0$ znázorněné na obr. 2, závisí na znaménku rozdílů $(\varepsilon_k - \mu)$. Přitom při $(\varepsilon_k - \mu) < 0$ a $T = 0$ platí $f(\varepsilon_k) = 1$, kdežto při $(\varepsilon_k - \mu) > 0$ a $T = 0$ je $f(\varepsilon_k) = 0$ (obr. 3). To znamená, že v prvním případě jsou všechny kvantové stavy s energií $\varepsilon_k < \mu$ obsazeny jedním elektronem, kdež-



Obr. 2 Srovnání spojitých tvarů kvantového Fermiho-Diracova (F-D) a klasického Maxwellova-Boltzmannova (M-B) rovnovážného statistického rozdělení $f(\varepsilon_k)$ energie ε_k částice v systému o elektrochemickém potenciálu $\mu > 0$ při absolutní teplotě $T > 0$

to v druhém případě jsou všechny stavy s energií $\varepsilon_k > \mu$ prázdné (neobsazené elektrony). Jde o úplně (maximálně) degenerovaný fermionový plyn se skokovým poklesem funkce $f(\varepsilon_k)$ z jednotkové do nulové hodnoty při jisté kladné hraniční energii $\varepsilon_k = \mu = \varepsilon_F = k_B T_F$, která bývá nazývána Fermiho energie (Fermiho energetická mez). Příslušná absolutní teplota T_F reprezentuje Fermiho teplotu. Obecně platí (viz např. [16,17]), že fermionový plyn ještě zachovává své specifické kvantové vlastnosti při nízkých absolutních teplotách T , které splňují podmínku $0 < k_B T \ll \varepsilon_F$. V těchto případech se hovoří o částečně degenerovaném fermionovém plynu, kdy pokles jednotkové funkce $f(\varepsilon_k)$ k nule je sice spojitý, ale má velmi strmý spád v blízkém okolí hodnoty $\varepsilon_k = \mu = \varepsilon_F$ (viz čárkovaná křivka na obr. 3). S dalším růstem teploty T se degenerace fermionového plynu zmírňuje a odpovídající rozdělovací funkce typu (11) získá pozvolný klesající asymptotický tvar, například podle obr. 2. Fermionový plyn se pro $k_B T \gg \varepsilon_F$ stává nedegenerovaným, kdy jeho kvantové vlastnosti jsou již nepodstatné.



Obr. 3 Kvantové Fermiho-Diracovo statistické rozdělení $f(\varepsilon_k)$ energie ε_k částice v systému o elektrochemickém potenciálu $\mu > 0$ při absolutní teplotě $T = 0$ a za podmínky $0 < k_B T \ll \varepsilon_F$ (čárkovaná křivka); ε_F je Fermiho energie

Při dostatečně velkých energiích $\varepsilon_k \sim T$ je možné v rozděleních (11) zanedbat hodnotu 1 vzhledem ke členu $\exp[\beta(\varepsilon_k - \mu)]$ tehdy, bude-li platit nerovnost

$$\exp[\beta(\varepsilon_k - \mu)] \gg 1. \quad (13)$$

Protože tato nerovnost musí být splněna pro všechna ε_k , musí být elektrochemický potenciál μ záporný ($\mu < 0$) a velký ve své absolutní hodnotě tak, aby byla splněna nerovnost $|\mu| \ll 1/\beta$. Za zmíněných podmínek přechází kvantové Fermi-Diracovo pravděpodobnostní statistické rozdělení (11) v limitní klasické (nekvantové) Maxwellovo-Boltzmannovo (M-B) pravděpodobnostní statistické rozdělení typu

$$f(\varepsilon_k) = \frac{1}{\exp[\beta(\varepsilon_k - \mu)]}. \quad (14)$$

Rozdělení (14), příslušející úplně nedegenerovanému ideálnímu plynu (tzn. plynu bez kvantových efektů), může být vyvoláno vysokou teplotou T , malou hustotou a velkou hmotností částic statistického systému. Ze spojitých srovnávacích grafů Fermiho-Diracova a Maxwellova-Boltzmannova statistického rozdělení $f(\varepsilon_k)$ na obr. 2 je vidět, že pro dostatečně velké energie ε_k částic vedou při přiměřeně vysoké teplotě T obě statistiky k blízkým hodnotám.

Ze zde uvažovaných rovnic (10) a (11) je patrné, že diskutovaný celkový difuzní elektrický proud I je nenulový jen při různých elektrochemických potenciálech μ_1 a μ_2 . Toho lze při stejných elektronových rezervoárech a termodynamické rovnováze celého vodivostního modelu na obr. 1 dosáhnout aplikací přiměřeného

stejnsměrného excitačního elektrického napětí U . Odpovídající energie eU změní totiž výhodně hodnoty těchto potenciálů v opačných smyslech. Půjde-li o kovový elektrický vodič, v němž lze předpokládat husté (prakticky spojitě) energetické kvantové stavy, lze vzorec (10) nahradit integrálem

$$I = \frac{2e}{l} \int_k v_k [f_1(\varepsilon_k) - f_2(\varepsilon_k)] dk. \quad (15)$$

V něm zavedený faktor 2 vyplývá z existující spinové degenerace, kdy každé energii elektronu ε_k přísluší dva spinové kvantové stavy. Využije-li se dále ve výrazu (15) substituce

$$v_k dk = \frac{l}{h} d\varepsilon, \quad (16)$$

lze tento výraz přepsat do pro výpočty vhodnější čistě energetické formy

$$I = \frac{2e}{h} \int_\varepsilon [f_1(\varepsilon) - f_2(\varepsilon)] d\varepsilon. \quad (17)$$

Tato forma neobsahuje diskrétní rychlosti v_k a podle publikací [18,30] umožňuje vystihnout odpovídající difuzní elektrickou vodivost G uvažovaného dokonalého jednorozměrného kovového drátku, jímž prochází jen jeden elektronový vlnový mód a jenž je vodič spojen s dvěma elektronovými rezervoáry při rovnovážné absolutní teplotě T podle modelu na obr. 1, vztahem

$$G = \frac{2e^2}{h} \int_\varepsilon \left[-\frac{\partial f(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \right] d\varepsilon. \quad (18)$$

Jeho tvar se při $T = 0$ zjednoduší na difuzní vodivostní kvantum

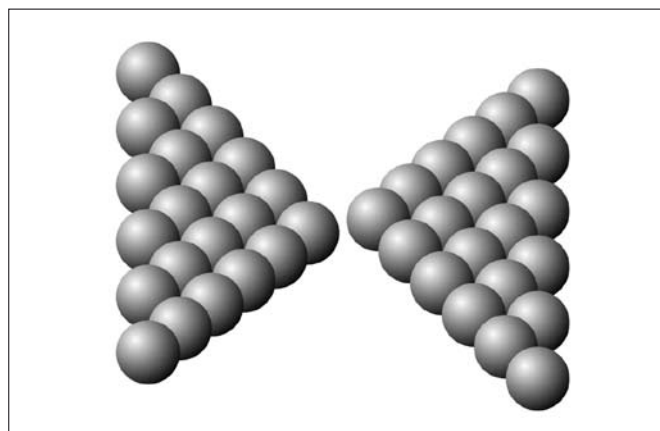
$$G_0 = \frac{2e^2}{h} = 774,8166 \cdot 10^{-7} \Omega^{-1}, \quad (19)$$

které koresponduje s difuzním kvantem elektrického odporu (rezistenčním kvantem)

$$R_0 = \frac{1}{G_0} = \frac{h}{2e^2} = 129,0628 \cdot 10^2 \Omega. \quad (20)$$

Je vidět, že v diskutovaném případě pro $T = 0$ jsou veličiny G_0 a R_0 překvapivě konečné a nezávislé na rozměrech a vlastnostech materiálu uvažovaného jednorozměrného kovového vodiče. Navíc při splnění podmínky $0 < k_B T \ll \varepsilon_F$ lze u některých kovových vodičů akceptovat i platnost přibližných rovností

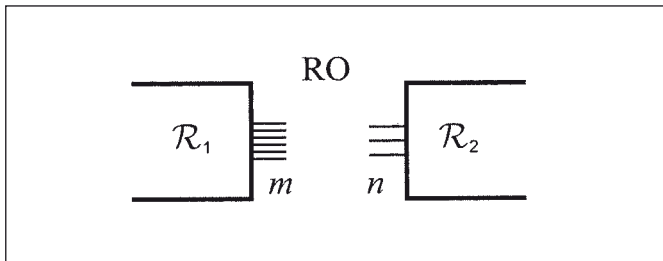
$$G \approx G_0, \quad R \approx R_0. \quad (21)$$



Obr. 4 Příklad vodiče tvořeného řetězcem atomů zlata s jednoatomovým kontaktním průřezem jeho polovin

Příkladem může podle publikace [30] být vodič tvořený řetězcem atomů zlata s jednoatomovým kontaktním průřezem jeho polovin podle obr. 4. V jiných (zvláště trojrozměrných) případech kovových elektrických vodičů rovnosti (21) nebyvají přiměřené. Navíc je třeba přihlídnout k tomu, že při absenci rozptylových oblastí (rozptylových center) v kovovém vodiči je difuzní elektrický proud zredukován a může se projevovat jen kondukční (nedifuzní) elektrický proud. Navíc při kritické absolutní teplotě $T_{kr} \rightarrow 0$, charakteristické pro daný obecně trojrozměrný kovový vzorek, lze očekávat skokovou změnu jeho vodivosti k supravodivosti s elektrickým odporem $R = 0$.

U dosažitelných kovových nanovzorků zmíněný teoretický předpoklad kovového vodiče s pouze jedním difuzním elektronovým vlnovým módem není úplně přiměřený. Pravdivější je představa vodiče s mnoha difuzními elektronovými vlnovými módy (vodivostními elektrony) [32], která je běžně nazývána Landauerův formalismus. V rámci této představy je kovový vodič pojímán jako rozptylová oblast RO, spojující dva rezervoáry vodivostních elektronů \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 , a je předpokládáno několik jejich vstupních a výstupních kanálů, jejichž celkové početné počty m a n jsou obecně různé (obr. 5). Jestliže se vlně, vstupující z rezervoáru \mathcal{R}_1 do rozptylové oblasti RO zleva i -tým vstupním kanálem, přiřadí jednotková vstupní komplexní amplituda $t_i = 1$, pak komplexní amplitudě vlny šířící se z rozptylové oblasti RO do pravého rezervoáru \mathcal{R}_2 j -tým výstupním kanálem lze přiřadit označení t_{ij} ($|t_{ij}| \leq 1$). Přitom každá vstupní vlna je oblastí RO buď odražena do jednoho ze vstupních kanálů nebo je rozdělena do soustavy všech výstupních kanálů při respektování zákona zachování celkového elektrického proudu. Tyto jevy lze charakterizovat energetickou transmisí (propustností, přenosovou) maticí ($[T]$ maticí) typu $m \times n$ s m řádky, n sloupci a elementy $|t_{ij}|^2$.



Obr. 5 Schematický náčrt kovového vodiče pojímaného jako rozptylová oblast RO vodivostních elektronů, spojující jejich rezervoáry \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 několika vstupními a výstupními kanály o celkových počtech m a n

Zmíněná $[T]$ matice může být pro každý konkrétní kovový vodič (předem specifikovanou oblast RO) vypočtena využitím Schrödingerovy kvantově-mechanické rovnice postupem uvedeným v publikaci [5]. Je-li tato matice známá, je celková energetická propustnost \mathcal{T} oblasti RO vystižitelná relacemi

$$\begin{aligned} \mathcal{T} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |t_{ij}|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |t_{ij} t_{ij}^*| = \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |t_{ij} (t_{ij}^T)^*| = \text{Tr} \left\{ [t_{ij}] [t_{ij}^T]^* \right\} = \sum_{i=1}^m \tau_i, \end{aligned} \quad (22)$$

kde $[t_{ij}]$ je matice s elementy t_{ij} a $[t_{ij}^T]^*$ je hermiteovsky sdružená matice s elementy

$$(t_{ji}^T)^* = t_{ij}^*, \quad (23)$$

tj. s transponovanými prvky

$$t_{ji}^T = t_{ij} \quad (24)$$

spojenými s jejich komplexním sdružením. Dále zavedená reálná veličina

$$\tau_i = \sum_{j=1}^n |t_{ij} (t_{ji}^T)^*| \quad (25)$$

představuje energetickou přenosovou pravděpodobnost i -tého elektronového vlnového módu v uvažované rozptylové oblasti RO o možných hodnotách mezi 0 a 1 a výrazy

$$\text{Tr} \left\{ [t_{ij}] [t_{ij}^T]^* \right\} = \sum_{i=1}^m \left\{ [t_{ij}] [t_{ij}^T]^* \right\}_{ii} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |t_{ij} (t_{ji}^T)^*| = \sum_{i=1}^m \tau_i \quad (26)$$

vystihují stopu součinu matic $[t_{ij}] [t_{ij}^T]^*$ s označením Tr podle anglického výrazu trace = stopa [36].

Relace (19) a (22) umožňují Landauerovu vodivostnímu modelu podle obr. 5 přiřadit při absolutní teplotě $T > 0$ modifikovaný tvar (18) pro difuzní vodivost G kovového vodiče o vyjádření

$$G = G_0 \left\{ \int_{\epsilon} \left[-\frac{\partial f(\epsilon)}{\partial \epsilon} \right] d\epsilon \right\} \mathcal{T}. \quad (27)$$

Přitom pro $T = 0$ platí relace

$$G = G_0 \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{2e^2}{h} \mathcal{T}. \quad (28)$$

Lze shrnout, že vícemódové vzorce (27) a (28) jsou zobecněním jednomódových vzorců (18) a (19). Jsou aplikovatelné na difuzní elektrické proudy nejen pro nanometrickou škálu, ale někdy i pro mezoškálu (tj. i pro širší rozměrovou škálu mezi atomovými a makroskopickými rozměry). Jak již bylo zmíněno v úvodu tohoto článku, předpokládají konstantní rovnovážnou teplotu, malé stejnosměrné elektrické napětí pro excitaci vodivostních elektronů a zanedbatelnost všech elektrických (elektrostatických) silových jejich interakcí. Protože vstupní elektronové vlny jsou v kovovém vodiči jednoduše přerozdělovatelné do výstupních vln a jsou při nízkých absolutních teplotách obvykle respektovány i koherentní fázové relace mezi nimi při platnosti principu superpozice, je popsání Landauerův formalismus zvláště užitečný k popisu fázově-koherentních interferenčních jevů difuzních elektronových vln, jejichž důkladnější interpretace je uvedena v publikaci [5].

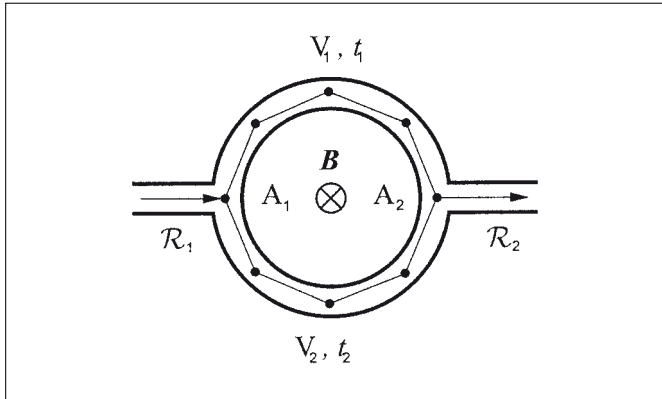
Jestliže je přihlídnuto ke všem možným vzájemným interakcím difuzních elektronů, jde o komplikovanější tzv. složené difuzní interakční jevy, které jsou diskutovány například v publikacích [18, 29, 31, 34] a nejsou přiměřeně interpretovatelné pomocí Landauerova formalismu, uvedeného v předcházejícím textu.

3. POPIS A ELEKTROMAGNETICKÝ ROZBOR NĚKTERÝCH ZÁKLADNÍCH INTERFERENCEČNÍCH EXPERIMENTŮ S DIFUZNÍMI ELEKTRONOVÝMI VLNAMÍ V NANOMETRICKÉM KOVOVÉM VZORKU

K základním existujícím experimentům pro demonstraci interference difuzních elektronových vln v rovnovážných kovových vodičích o nanometrických (a případně i mezoskopických) efektivních rozměrech patří experimenty s prstencovým nebo s přímým kovovým vzorkem. Tento jev, který je důsledkem kvantově-mechanické fázové koherence zmíněných vln uvnitř celého nízkoteplotního vzorku a projevuje se charakteristickými hodnotami jeho difuzní elektrické vodivosti pojímané jako míra přenosu difuzních vodivostních elektronů o kvantově-statistické interpretaci podle předcházející kapitoly tohoto článku, je užitečně ovlivnitelný působícím vnějším ladicím homogenním magnetostatickým polem v souladu s následujícím elektromagnetickým rozбором. Naproti tomu u polovodičových vzorků mohou takovým výrazným ladicím parametrem být elektrostatičky indukované změny jejich geometrie [35].

3.1 Interferenční experimenty s nanometrickým prstencovým kovovým vzorkem

Základem takových experimentů je Aharonův-Bohmův nanometrický (případně mezoskopický) kruhový prstavec (kroužek) podle obr. 6 [37]. Jde o kovový vodič kruhového tvaru, který obsahuje dvě stejné větve V_1 a V_2 . Takže každá vstupní nízkoteplotní elektronová vlna, šířící se zleva z elektronového rezervoáru \mathcal{R}_1 a dopadající do nějakého vstupního bodu A_1 , se účinkem rozvětvení prstence rozštěpí do dvou různosměrných dílčích koherentních difuzních (rozptýlených) vln o relativních komplexních amplitudách t_1 a t_2 . Přitom projevující se rozptylové jevy změni jejich okamžitě fáze náhodným způsobem a v jejich spojovacím výstupním bodě A_2 před pravým elektronovým rezervoárem \mathcal{R}_2 dochází k jejich interferenci v závislosti na výsledné vzájemné fázi ϑ .



Obr. 6 Náčrtek nanometrického prstencového kovového vodiče s dvěma větvemi V_1 a V_2 mezi elektronovými rezervoáry \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 . Ve vstupním bodě A_1 je elektronová vlna rozštěpena do dvou dílčích difuzních koherentních vln o relativních komplexních amplitudách t_1 a t_2 , které interferují ve výstupním bodě A_2 . \mathbf{B} je indukce ladicího vnějšího homogenního magnetostatického pole

Popsaná interference elektronových vln v kovovém prstenci podle obr. 6 ovlivňuje jeho elektrickou difuzní vodivost G , která v rámci zmíněného vícemódového Landauerova formalizmu splňuje relace (27) a (28). Přitom celkovou energetickou propustnost (celkovou energetickou pravděpodobnost) \mathcal{T} lze též akceptovatelně chápat jako výslednou relativní vlnovou intenzitu ve výstupním bodě A_2 , která v souladu s aplikovatelnou klasickou vlnovou teorií skládání dvou úplně koherentních dílčích rovinných postupných vln stejné vlnové délky (viz např. [38, 39]) o již zmíněných relativních komplexních amplitudách t_1 a t_2 splňuje vztahy

$$\mathcal{T} \triangleq \mathcal{T}(A_1 \rightarrow A_2) = |t_1 + t_2|^2 = |t_1|^2 + |t_2|^2 + 2|t_1||t_2|\cos\vartheta. \quad (29)$$

Podstatné však nyní je, že výsledná vzájemná fáze ϑ uvažovaných dílčích difuzních elektronových vln v bodě A_2 není známá, neboť závisí na mnoha mikroskopických detailech, které náhodně přídavně ovlivňují okamžitě fáze těchto vln ve větvích V_1 a V_2 . V publikaci [37] je však teoreticky ukázáno, že reálná veličina (29), platná při absenci vnějšího elektromagnetického pole, se může v závislosti na čase t a poloze \mathbf{r} bodu A_2 interference změnit jeho přítomností na veličinu \mathcal{T}' podle relace

$$\mathcal{T}' = \mathcal{T} \exp \left[\frac{ie}{\hbar} \int_{t,r} (\varphi_{el} dt - \mathbf{A} d\mathbf{r}) \right]. \quad (30)$$

V ní i značí imaginární jednotku, $\hbar = h/2\pi = 1,0544 \cdot 10^{-34}$ J·s představuje Diracovu konstantu, φ_{el} reprezentuje skalární potenciál elektrické složky o intenzitě $\mathbf{E} = -\nabla\varphi_{el}$ aplikovaného elektromagnetického pole a \mathbf{A} je vektorový potenciál jeho magnetické složky o indukcii $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$. Znak ∇ představuje vektorový Hamiltonův

diferenciální operátor (nabla operátor) [15, 26, 27]. Důsledkem Aharonova-Bohmova jevu (30) je skutečnost, že vnější magnetický tok

$$\Phi_{\text{mag}}(\mathbf{B}) = \int_{\mathcal{S}} \mathbf{B} d\mathcal{S} \quad (31)$$

efektivní vektorovou plochou \mathcal{S} o dané velikosti \mathcal{S} a obvodu \mathcal{L} , vymezenou drahami interferujících dílčích elektronových vln v modelu podle obr. 6, bezprostředně ovlivňuje kvantově-mechanickou fázi ϑ ze vztahu (29). Může ji totiž ladit velikostí B vektoru \mathbf{B} v souladu se vztahem

$$\vartheta(B) = \vartheta + \Delta\vartheta(B), \quad (32)$$

kde

$$\Delta\vartheta(B) = \frac{e}{\hbar} \oint_{\mathcal{L}} \mathbf{A} d\mathcal{L} = \frac{e}{\hbar} \int_{\mathcal{S}} \mathbf{B} d\mathcal{S} = 2\pi \frac{\Phi_{\text{mag}}(B)}{\Phi_0} \quad (33)$$

představuje příslušnou ladicí fázovou změnu a

$$\Phi_0 = \frac{h}{e} = 4,1357 \cdot 10^{-15} \text{ Wb} \quad (34)$$

je tzv. kvantum aplikovaného magnetického pole (31).

Z vyjádření (33) je patrné, že ladicí magnetické pole \mathbf{B} pro změny $\Delta\vartheta(B)$ působí prostřednictvím magnetického toku $\Phi_{\text{mag}}(B)$. Přitom k získání snadněji interpretovatelných užitečných výsledků se jeho přiměřená velikost B obvykle volí časově a prostorově stálá (nezávislá na čase t a poloze \mathbf{r}) a směr vektoru \mathbf{B} je nastaven kolmo ke kruhové efektivní ploše $\mathcal{S} = \pi\rho^2$ o poloměru ρ roviny prstencového modelu podle obr. 6. V těchto případech homogenního magnetostatického ladicího pole platí tyto přímé závislosti na B :

$$\Phi_{\text{mag}}(B) = B\mathcal{S} = \pi\rho^2 B, \quad (35)$$

$$\Delta\vartheta(B) = \frac{e}{\hbar} B\mathcal{S} = \frac{2\pi^2\rho^2}{\Phi_0} B. \quad (36)$$

Konkrétní experiment, potvrzující platnost vztahů (27) až (29) a (31) až (36) pro prstencový kovový vodivostní model na obr. 6, tzn. dokazující citlivou souvislost jeho energetické přenosové pravděpodobnosti \mathcal{T} s jeho elektrickou vodivostí G pro difuzní vodivostní elektrony a s dvousvazkovou interferencí příslušných elektronových vln, řízenou ladicím vnějším magnetickým polem B a jeho tokem $\Phi_{\text{mag}}(B)$, je referován publikací [40]. Šlo o měděný prstavec šířky (tloušťky) $d = 80$ nm a efektivního průměru $2\rho = 1$ μm , který při využitých nízkých absolutních teplotách $0 < T < 1$ K vykazoval difuzní elektrickou vodivost $G \approx 465 e^2/h \Omega^{-1}$. Při měřeních závislosti $G(B)$ se však projevovaly náhodné odchylky (fluktuaace)

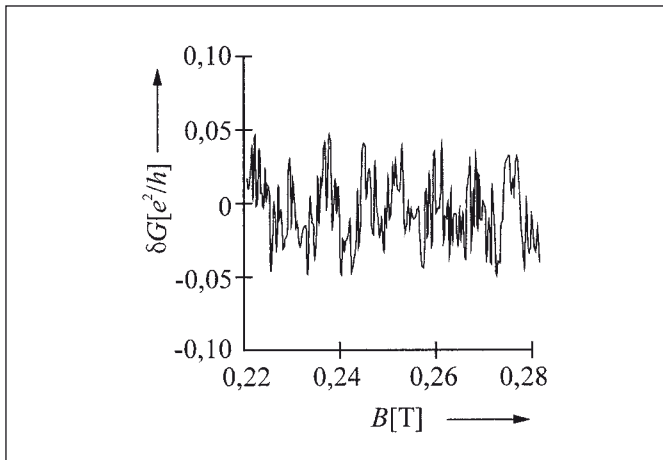
$$\delta G(B) = G(B) - \langle G \rangle \quad (37)$$

vzhledem ke konstantní střední hodnotě $\langle G \rangle$ získaných dat přes soubor všech provedených měření. Příklad fluktuací $\delta G(B)$ pro konkrétní absolutní teplotu $T = 20$ mK zmíněného vodivostního modelu je uveden na obr. 7.

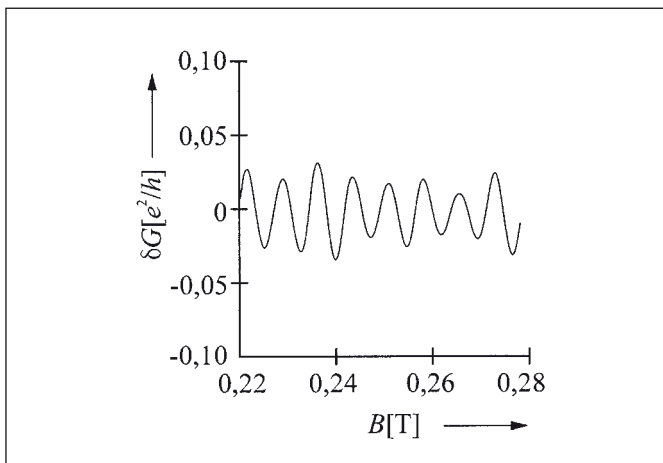
Obecně lze konstatovat, že definovatelná geometrie prstencového modelu na obr. 6 a nedefinovatelná (náhodná) geometrie drah difuzních vodivostních elektronů v něm vedou k tomu, že závislosti

$$\delta G(B) \sim \delta \mathcal{T}(B) \sim \cos\vartheta(B) \quad (38)$$

obsahují vedle minoritního elektrického šumu hlavně majoritní periodickou a neperiodickou fluktuací složku, souhrnně nazývané univerzální fluktuace difuzní elektrické vodivosti. Jsou-li tyto náhodné změny $\delta G(B)$ zpracovány vhodnou úzkopásmovou filtrační procedurou, lze v širokých rozmezích veličiny B získat



Obr. 7 Příklad záznamu univerzálních fluktuací $\delta G(B)$ difuzní elektrické vodivosti $G(B)$ nanometrického měděného prstencového vodiče v závislosti na indukci B kolmo aplikovaného ladicího homogenního magnetostatického pole



Obr. 8 Úzkopásmovou filtrací získaný vyhlazený amplitudově modulovaný periodický tvar záznamu $\delta G(B)$ podle obr. 7

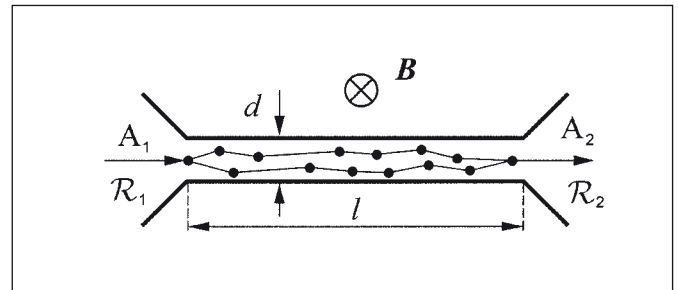
jejich prakticky periodický (harmonický) vyhlazený tvar. Tento tvar je však obvykle ovlivněn amplitudovou modulací jeho vrcholů vlivem vyhlazených neperiodických fluktuací (obr. 8).

Zmíněný periodický tvar změn $\delta G(B)$ vykazuje nějakou základní frekvenci ν_0 , která vzhledem ke vztahům (32), (33) a (38), případně (32), (35) a (36), závisí na magnetickém toku (31), případně při dané hodnotě B přímo závisí na efektivní ploše $S = \pi \rho^2$ uvažovaného prstencového modelu. V důsledku konečné (nenulové) šířky d prstence, kdy oblast mezi drahami interferujících dílčích elektronových vln není přesně definovatelná, veličina ν_0 vykazuje neurčitost. Podle publikace [40] je však v rámci vícemódového Landauerova formalizmu přenosu elektronových vln tato neurčitost nepodstatná a při splnění podmínky $0 < k_b T \ll \epsilon_F$ je také experimentálně potvrzena akceptovatelnost náhrad typů (21). Též je potvrzeno, že při zmíněných okolnostech je amplituda (maximální hodnota) fluktuací $\delta G(B)$ prakticky rovna $G_0 = 2e^2/h$, a to nezávisle na jednotlivých hodnotách $G(B)$. V případech jednomódových přenosů elektronových vln však tyto závěry mohou vést k výrazně větším nepřesnostem.

3.2 Interferenční experimenty s nanometrickým přímým kovovým vzorkem

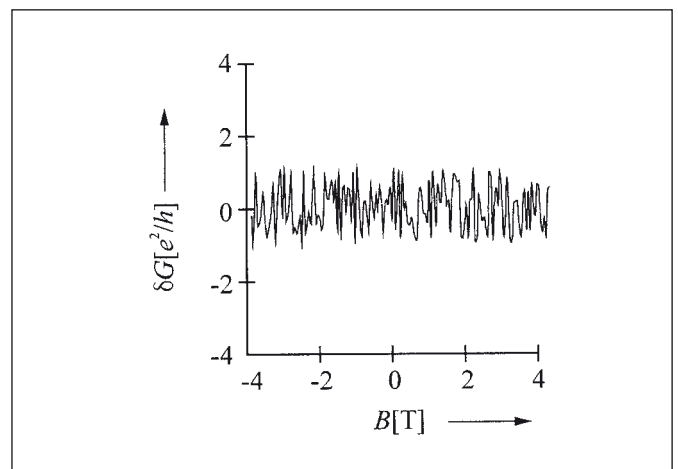
Jde nyní o interferenční jevy nízkoteplotních difuzních elektronových vln v přímém nanometrickém (případně mezoskopickém) kovovém vodiči v můstkovém uspořádání podle obr. 1 a 9. Každá taková vlna z nějakého vstupního bodu A_1 náčrtku na obr. 9 se

vlivem jejího rozptylu rozštěpí na fázově-koherentní dílčí vlny, šířící se v celé oblasti vodiče, které v nějakém výstupním bodě A_2 spolu interferují v závislosti na jejich vzájemných fázích (na obr. 9 jsou znázorněny jen dvě možné rozdílné jejich difuzní dráhy). Přitom se v podstatě realizuje vztah (29) pro celkovou energetickou propustnost T vodiče, která v rámci vícemódového Landauerova formalizmu vystupuje v průměřených relacích (27) a (28). Obdobně jako u experimentů s prstencovým kovovým vzorkem na obr. 6, může se výsledná vzájemná kvantově-mechanická fáze ϑ ladit vnějším magnetickým polem podle vztahů (32) a (33), které pro jeho výhodnou homogenní a statickou formu, kolmou k délce l uvažovaného vodiče, splňují obdoby středních tvarů (35) a (36).



Obr. 9 Náčrt nanometrického přímého kovového vodiče mezi vstupním a výstupním elektronovým rezervoárem \mathcal{R}_1 a \mathcal{R}_2 . V jeho vstupním bodě A_1 lze předpokládat rozptylem vzniklé dílčí difuzní koherentní elektronové vlny (jsou znázorněny dráhy jen dvou z nich), které interferují ve výstupním bodě A_2 v závislosti na kolmo aplikovaném ladicím homogenním magnetostatickém poli o indukci B

Protože v modelu s přímým kovovým vodičem podle obr. 9 se dominantně projevuje jen náhodná geometrie difuzních drah elektronů, nelze očekávat existenci periodické složky fluktuací (37) v interferenčním jevu $G(B)$. Jejich neperiodičnost byla potvrzena systematickými experimentálními výzkumy pro různé můstkové modelované nanometrické a mezoskopické kovové vodiče, zmíněnými v publikacích [18,30,33,41]. Příklad záznamu neperiodických fluktuací $\delta G(B)$ difuzní vodivosti $G(B)$ pro stříbrný přímý vodič šířky $d = 120$ nm podle publikace [41] je uveden na obr. 10.



Obr. 10 Příklad záznamu neperiodických fluktuací $\delta G(B)$ difuzní elektrické vodivosti $G(B)$ nanometrického stříbrného přímého vodiče šířky $d = 120$ nm v závislosti na indukci B kolmo působícího ladicího homogenního magnetostatického pole

Ke kvantifikaci fluktuací (37) difuzní elektrické vodivosti $G(B)$ daného přímého vodiče byly ve výše zmíněných publikacích využity dvě charakteristické statistické veličiny, a to střední hodnota

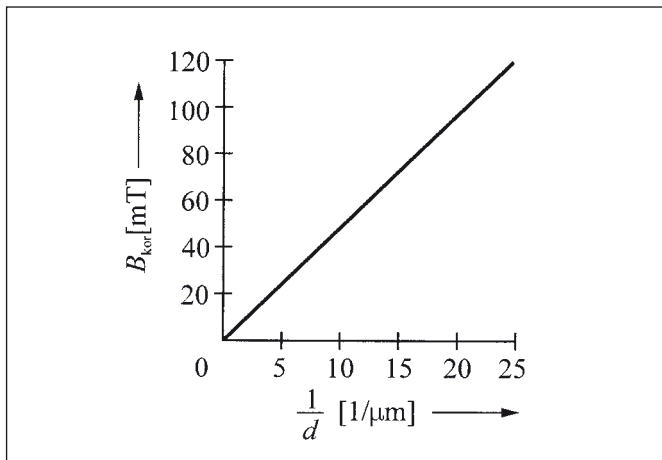
$$\langle \delta G(B) \rangle = \langle G(B) - \langle G \rangle \rangle \quad (39)$$

těchto fluktuací pro statistický soubor všech realizovaných měření závislosti $G(B)$ a tzv. korelační magnetické pole B_{kor} , definované jako specifická šířka autokorelační (autokovarianční) funkce typu

$$\mathcal{A}(\Delta B) = \frac{1}{2B_0} \int_{-B_0}^{B_0} \delta G(B) \delta G(B + \Delta B) dB. \quad (40)$$

Tato šířka charakterizuje efektivní rozsah působícího ladicího vnějšího magnetického pole o využitím rozmezí hodnot od $-B_0$ do B_0 , v němž se elektrická vodivost $G(B)$ daného kovového vodiče ještě mění významně. Je-li funkce (40) využito pro prstencový model, pak základní perioda $1/v_0$ jeho periodické vodivostní fluktuací složky $\delta G(B)$ je prakticky úměrná (kvalitativně odpovídá) veličině B_{kor} .

Konkrétní výsledky experimentálních výzkumů podle publikace [41] pro stříbrné a zlaté přímé nanodrátky různé šířky od $d = 45$ nm do $d = 320$ nm a délek $l = 500$ nm a $l = 1000$ nm prokázaly vedle zjištěné symetrie $\delta G(B) = \delta G(-B)$ též v analogii s prstencovým modelem při nízkých absolutních teplotách $0 < T < 1$ K i velmi podobné amplitudy vodivostních fluktuací, nyní o velikostech $\approx 0,25 e^2/h \Omega^{-1}$. Navíc byla pro oba materiály zjištěna úměrnost $B_{\text{kor}} \sim \Phi_0/l d$ při majoritním vlivu hodnot d . To znamená, že náhrada stříbrného nanodrátku za zlatý a též změna jejich délky l prakticky nevedly v rámci zanedbatelných odchylek ke změně přibližně lineární závislosti $B_{\text{kor}} \sim 1/d$. Taková statisticky zprůměrovaná vyhlazená závislost je znázorněna na obr. 11.



Obr. 11 Statisticky zprůměrovaná vyhlazená závislost $B_{\text{kor}} \sim 1/d$ korelačního magnetického pole B_{kor} na reciproké šířce $1/d$ stříbrného nebo zlatého nanodrátku podle publikace [41]

4. ZÁVĚR

Přínosem této publikace je kvantově-statistická a elektromagnetická teoretická a experimentální interpretace rovnovážné elektrické vodivosti difuzních vodivostních (volných) elektronů v nanometrickém nebo i mezoskopickém prstencovém nebo přímém kovovém vzorku, která je důsledkem kvantově-mechanické fázové koherence a interference příslušných nízkoteplotních elektronových vln a může být laděna řídicím vnějším homogenním magnetostatickým polem. Tato skutečnost vede ke specifickým výsledkům pro každý vzorek při platnosti analogických fundamentálních relací.

Zkušenosti však ukazují, že rovnocenné kovové vzorky se stejnou geometrií mohou za stejných experimentálních podmínek někdy vykazovat rozdílnou difuzní vodivost a interferenční jev. Tento poznatek vyplývá z možné odlišnosti mikroskopických detailů, zvláště poloh rozptylových oblastí (určujících difuzní dráhy vodivostních elektronů) a přeorientačních defektů v daném vzorku

(např. jeho ohřátím a následným ochlazením). Je-li však možné zjistit difuzní elektrickou vodivost G souboru kovových vzorků stejné geometrie při nulovém řídicím vnějším magnetickém poli ($B = 0$), lze reálně očekávat stejné její statistické fluktuace $\delta G(B)$ v závislosti na magnetické indukci B a i odpovídající stejné interferenční jevy. Změny ladicího vnějšího magnetického pole u daného vzorku nebo volba různých vzorků při fixovaném magnetickém poli obecně vedou ke dvěma rozdílným souborům pro statistické zkoumání příslušných koherentních fázových prostorů. U takových prostorů pro vzorky stejné geometrie lze se zřetelem k ergodické hypotéze očekávat stejné statistické střední hodnoty [42,43]. Jiný přístup ke zkoumání koherentního fázového prostoru daného kovového vzorku může být založen na tzv. Fermiho rychlosti vodivostních elektronů [2,18,34,44].

Článek vznikl v rámci spolupráce na řešení Výzkumného záměru FZÚ AV ČR číslo AVOZ 10100522 a Projektu AV ČR číslo KAN 301370701.

Literatura

- [1] Bohren C.F., Huffman D. R., *Adsorption and Scattering of Light by Small Particles*. J. Wiley and Sons Inc., New York 1983.
- [2] Rodriguez S., *Electron Theory of Solids*. Pardue Univ. Press, Pardue 1987-1988.
- [3] Kreibich U., Vollmer M., *Optical Properties of Metal Clusters*, Vol. 25. Springer – Verlag, Berlin 1995.
- [4] Jha S. S., *Properties in Optoelectronics*. World Sci. Publ. Comp., Singapore 1995.
- [5] Datta S., *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2005.
- [6] Mitin V.V., Kochelap V.A., Strosio M.A., *Quantum Heterostructures – Microelectronics and Optoelectronics*. Cambridge Univ. Press, New York 1999.
- [7] John S., Toader O., Busch K., *Encyclopedia of Science and Technology*, Vol. 12. Academic Press, Berlin 2001.
- [8] Sakoda K., *Optical Properties of Photonic Crystals*. Springer – Verlag, Berlin 2001.
- [9] Guozhong C., *Nanostructures and Nanomaterials*. World Sci. Publ. Comp., London 2004.
- [10] De Los Santos H.J., *Principles and Applications of Nano-MEMS Physics*. Springer – Verlag, Dordrecht 2005.
- [11] Busch K., Powell A., Röthig C., Schön G., Weissmüller J. (Eds.), *CFN Lectures on Functional Nanostructures*, Vol. 1. Springer – Verlag, Berlin 2005.
- [12] Klemperer O., *Electron Physics. The Physics of the Free Electron*. Butterworths, London 1972.
- [13] Beiser A., *Úvod do moderní fyziky*. Academia, Praha 1975.
- [14] Komrska J., Korpuskulární optika jako experimentální východisko při výuce kvantové mechaniky. *Pokroky mat., fyz. a astronomie*, 27, 1982, č. 1, 24-37; č. 2, 61-74; č. 3, 148-162.
- [15] Sakurai J.J., *Modern Quantum Mechanics*. Addison-Wesley, New York 1994.
- [16] Čulík F., Noga M., *Úvod do statistické fyziky a termodynamiky*. Alfa, Bratislava a SNTL, Praha 1982.
- [17] Kvasnica J., *Statistická fyzika*. Academia, Praha 1983.
- [18] Weber H.B., Interference and interaction in metallic nanostructures. In [11], 185-203.
- [19] Larkin A.I., Khmel'nitskii D.E., *Sov. Phys. JETP*, 64, 1986, 1075.
- [20] Häussler R., Weber H.B., V. Löhneysen H., *J. Low Temp. Phys.*, 118, 2000, 467.

- [21] Onsager L., *Phys. Rev.*, **38**, 1931, 2265.
 [22] Casimir H.B.G., *Rev. Mod. Phys.*, **17**, 1945, 343.
 [23] Büttiker M., *IBM J. Res. Develop.*, **32**, 1988, 3.
 [24] Häussler R., Scheer E., Weber H.B., V. Löhneysen H., *Phys. Rev. B*, **64**, 2001, 085404.
 [25] Benoit A.D., Washburn S., Umbach C.P., Laibowitz R.B., Webb R.A., *Phys. Rev. Lett.*, **57**, 1986, 1765.
 [26] Fuka J., Havelka B., *Elektrina a magnetismus*. SPN, Praha 1965.
 [27] Kvasnica J., *Teorie elektromagnetického pole*. Academia, Praha 1985.
 [28] Mechlová E., Košťál K. a kol., *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Prometheus, Praha 1999.
 [29] Ashcroft N.W., Mermin N.D., *Solid State Physics*. Saunders College, Philadelphia 1976.
 [30] Agrait N., Levy-Yeyati A., Van Ruitenbeek J.M., *Phys. Rep.*, **377**, 2003, 86.
 [31] Ziman J.M., *Principles of the Theory of Solids*. Cambridge Univ. Press, London 1972.
 [32] Fischer D.S., Lee P.A., *Phys. Rev. B*, **23**, 1981, 6851.
 [33] Umbach C.P., Washburn S., Laibowitz R.B., Webb R.A., *Phys. Rev. B*, **30**, 1984, 4048.
 [34] Altshuler B.L., Aronov A.G., *Electron – Electron Interactions in Disordered Systems*. North-Holland, Amsterdam 1985.
 [35] Weis J., Single-electron devices. In [11], 87-122.
 [36] Kvasnica J., *Matematický aparát fyziky*. Academia, Praha 1989.
 [37] Aharonov Y., Bohm D., *Phys. Rev.*, **115**, 1959, 485.
 [38] Saleh B.E.A., Teich M.C., *Fundamentals of Photonics*. J. Wiley and Sons Inc., New York 1991 (český překlad: *Základy fotoniky*, svazky 1 až 4. Matfyzpress, Praha 1994-1996, kap. 2).
 [39] Pospíšil J., *Základy vlnové optiky, část A*. Vyd. UP, Olomouc 1992, kap. 2.
 [40] Webb R.A., Washburn S., Umbach G.P., Laibowitz R.B., *Phys. Rev. Lett.*, **54**, 1984, 2696.
 [41] Scheer E., V. Löhneysen H., Hein H., *Physica B*, **218**, 1996, 85.
 [42] Altshuler B.L., Kravtsov V.E., Lerner I.V., *Sov. Phys. JETP Lett.*, **43**, 1986, 441.
 [43] Lee P.A., Stone A.D., *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 1985, 1622.
 [44] Weber H.B., Häussler R., V. Löhneysen H., Kroha J., *Phys. Rev. B*, **63**, 2001, 165436.

Prof. RNDr. Ing. Jaroslav Pospíšil, DrSc., katedra experimentální fyziky PřF Univerzity Palackého a Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a FZÚ AV ČR, Tř. 17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc. Tel.: 585 634 283, E-mail: pospis@prfnw.upol.cz
 RNDr. Jan Hrdý, Ph.D., katedra experimentální fyziky PřF Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc
 RNDr. František Pluháček, Ph.D., katedra optiky PřF Univerzity Palackého, Tř. 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc

Technické pokyny pro autory

Příspěvky se přijímají v elektronické formě.

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

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

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

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

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

Pokyny k předávání příspěvku

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

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

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

CORRECTION COEFFICIENTS FOR CALCULATING YOUNG’S MODULUS FROM RESONANT FREQUENCY OF FLEXURAL VIBRATION – REVISITED

We argue that the correction coefficients used to calculate Young’s modulus from resonant frequency of flexural vibration obtained by Štubňa and Trník (*Journal of Mechanical Engineering – Strojníski vestník*, 52, 2006, p. 317) can be applied with very good precision only when Poisson’s ratio $\mu = 0.25 \pm 0.05$. We revise their results and propose more accurate correction coefficients for the first overtone and a prismatic sample with a square cross-section when their discrepancy is most evident.

1 INTRODUCTION

The Young’s modulus is one of the important mechanical parameters of the materials. A resonant method, which is often used for its measurement, permits determination of Young’s modulus from the resonant frequency, dimensions of the sample, and density of the material. Practically, the simplest variant is the resonant method based on flexural vibrations. If the ratio of the length l and the diameter (or thickness) d of the sample is $l/d < 20$, either a complex frequency equation or correction coefficients are to be used for calculating Young’s modulus. Here we are interested in the latter case.

In the ASTM standard [3] a correction coefficient T is introduced to obtain the value of Young’s modulus by the formula

$$E = \left[\left(K \frac{l^2 f}{d} \right)^2 \rho \right] T, \quad (1)$$

where ρ is the material density and $K = 1.12336$ for a cylindrical sample, while $K = 0.97286$ for a prismatic sample (both the values are for the fundamental mode). The coefficients T are generally accepted and extensively applied and have been verified experimentally.

In order to calculate the correction coefficients T in dependence on Poisson’s ratio μ , Štubňa and Liška [2] proposed the equation

$$T = \left(1 + \frac{1}{l/d} \left\{ \frac{A}{\mu} + \frac{1}{l/d} \left[B + \frac{1}{l/d} \left(C + \frac{D}{l/d} \right) \right] \right\} \right)^2 \quad (2)$$

with suitable constants A, B, C, D . In fact, they introduced correction coefficients $Q = \sqrt{T}$, but here we will use their squares to make them directly comparable to T . Later, Štubňa and Trník [1] proposed different values for these constants (see *Tab. 1* and *2*).

Tab. 1 The parameters A, B, C, D for the fundamental mode

Parameter	cross-section	
	circular	square
A	0.00002	-0.00002
B	2.5719	3.44347
C	-0.14069	0.44952
D	-2.43588	3.34228

Tab. 2 The parameters A, B, C, D for the first overtone

Parameter	cross-section	
	circular	square
A	-0.00131	-0.00249
B	7.44851	10.0605
C	-3.56057	-7.076
D	-4.50048	-2.02022

The objective of this paper is to compare the correction coefficients T evaluated from Eq. (2) using Štubňa and Trník’s constants A, B, C, D from *Tab. 1* and *2* with the ASTM corrections coefficients.

2 RESULTS AND DISCUSSION

Figs. 1, 2, and 3 show the comparison between the correction coefficients T_{ST} that were obtained by Štubňa and Trník [1] from Eq. (2) with the constants A, B, C, D given in *Tab. 1* and the correction coefficients T_{ASTM} given in the ASTM standard. In the

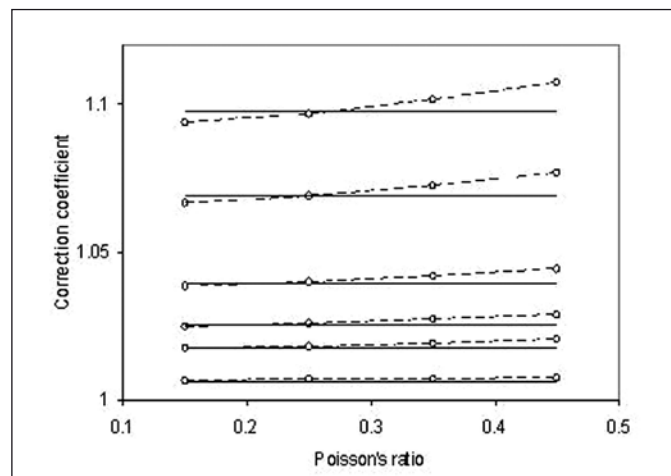


Fig. 1 The correction coefficients T obtained by Štubňa and Trník [1] (full lines) and by the ASTM standard (dashed lines) versus Poisson’s ratio μ and $l/d = 5, 6, 8, 10, 12, 20$ (from the top to the bottom) for the fundamental mode and a circular cross-section.

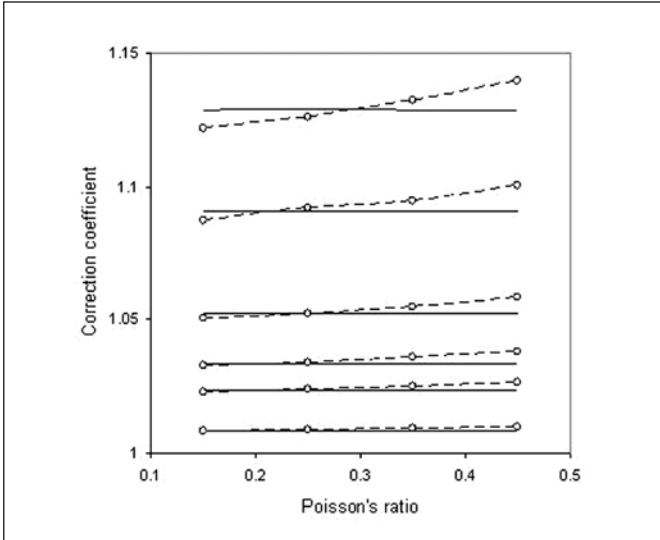


Fig. 2 The correction coefficients T obtained by Štubňa and Trník [1] (full lines) and by the ASTM standard (dashed lines) versus Poisson's ratio μ and $l/d = 5, 6, 8, 10, 12, 20$ (from the top to the bottom) for the fundamental mode and a square cross-section.

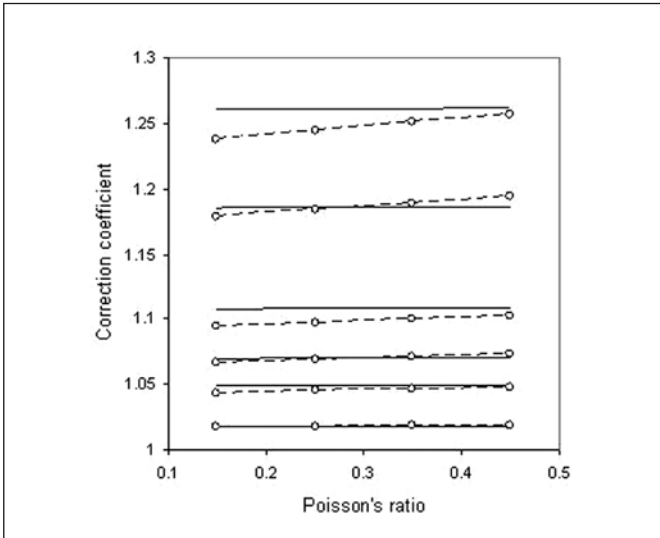


Fig. 3 The correction coefficients T obtained by Štubňa and Trník [1] (full lines) and by the ASTM standard (dashed lines) versus Poisson's ratio μ and $l/d = 5, 6, 8, 10, 12, 20$ (from the top to the bottom) for the first overtone and a circular cross-section.

latter case the correction coefficients for the fundamental mode were calculated according to the standard ASTM C 1198-01 [3]. Since this standard does not have formula for calculating correction coefficients for the first overtone, we use the ones from Ref. [4] for a circular cross-section.

It turns out that good agreement between the correction coefficients T_{ST} and T_{ASTM} occurs only for the values of Poisson's ratio in the range $\mu \in (0.20, 0.30)$. A relative error RE calculated as

$$RE = \frac{T_{\text{ST}} - T_{\text{ASTM}}}{T_{\text{ASTM}}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

is shown in Tab. 3. The values T_{ST} are not dependent on Poisson's ratio μ . This is caused by the fact that the values of the constants A in Tabs. 1 and 2 are very small. This implies that the term A/μ is negligible in Eq. (2) and, as a result, the correction coefficient T_{ST} are practically constant for every μ .

Tab. 3 The relative error for $\mu = 0.25$ and various values of l/d .

	l/d	5	6	8	10	12	20
CSFM	RE [%]	0.089	0.001	0.045	0.044	0.036	0.016
PSFM	RE [%]	0.263	0.0846	0.024	0.041	0.038	0.019
CS1O	RE [%]	1.369	0.204	0.929	0.068	0.367	0.017

Notice: CSFM – cylindrical sample, fundamental mode, PSFM – prismatic sample, fundamental mode, CS1O – cylindrical sample, the first overtone.

Since the correction coefficients for the first overtone and the prismatic sample with rectangular cross-section are neither tabulated nor formula for their calculation exists, we calculate them from Timoshenko's equation [5, 6] that is used for solution of the flexural vibration of the beams with uniform cross-section. The frequency equation derived from Timoshenko's equation for the free-free sample is [5, 6]

$$2[(a^2 + R)(b^2 - R)(a^3 + aK)(b^3 - bK)](\cosh al \cos bl - 1) + [(a^2 + R)^2(b^3 - bK)^2 - (b^2 - R)^2(a^3 + aK)^2] \sinh al \sin bl = 0, \quad (4)$$

where the shorthands $R = \rho\omega^2/c_L^2$ and $K = (1+\rho)\omega^2/c_L^2$ are used. Moreover,

$$a = \frac{\omega}{c_L i} \sqrt{-\frac{i^2(1+p)}{2} + i \sqrt{\frac{i^2(1+p)^2}{4} - \left(i^2 p - \frac{c_L^2}{\omega^2}\right)}}, \quad (5)$$

$$b = \frac{\omega}{c_L i} \sqrt{+\frac{i^2(1+p)}{2} + i \sqrt{\frac{i^2(1+p)^2}{4} - \left(i^2 p - \frac{c_L^2}{\omega^2}\right)}}, \quad (6)$$

where $i = d/\sqrt{12}$ is the gyration radius of the square cross-section, $p = 2(1+\mu)/\kappa$ with $\kappa = 0.830$ being a shape factor for the square cross-section, c_L is the velocity of propagation of the longitudinal wave (i.e., the sound velocity), and ω is the angular frequency.

If the sample is thin, $l/d > 20$, the influence of the shear forces and rotary inertia can be neglected. Then $K \rightarrow 0$, $R \rightarrow 0$, and $a \rightarrow b$ so that Eq. (4) is reduced to the simple form

$$\cosh(al) \cos(al) - 1 = 0 \quad \text{with} \quad a = \sqrt{\frac{\omega}{c_L i}}. \quad (7)$$

Using Eq. (4) and Eq. (7), the resonant angular frequencies of the first overtone $\omega_{1(4)}$ and $\omega_{1(7)}$, respectively, can be obtained. They yield the correction coefficients for the first overtone and a rectangular cross-section, namely,

$$T_{1(\text{Tim})} = \left(\frac{\omega_{1(7)}}{\omega_{1(4)}} \right)^2. \quad (8)$$

The comparison between the coefficient T_{ST} calculated from Eq. (2) using the constants from Tab. 2 and the coefficient $T_{1(\text{Tim})}$ is shown in Fig. 4.

The differences between T_{ST} and $T_{1(\text{Tim})}$ revealed by Fig. 4 are rather large. In order to pinpoint the cause of this difference, we will employ the alternative equation of the flexural vibration of Štubňa and coworkers [6,7]. It leads to a frequency equation of the same form as Eq. (4) with the same values of the parameters p , i , R , and K . However, the parameters a and b are this time given as

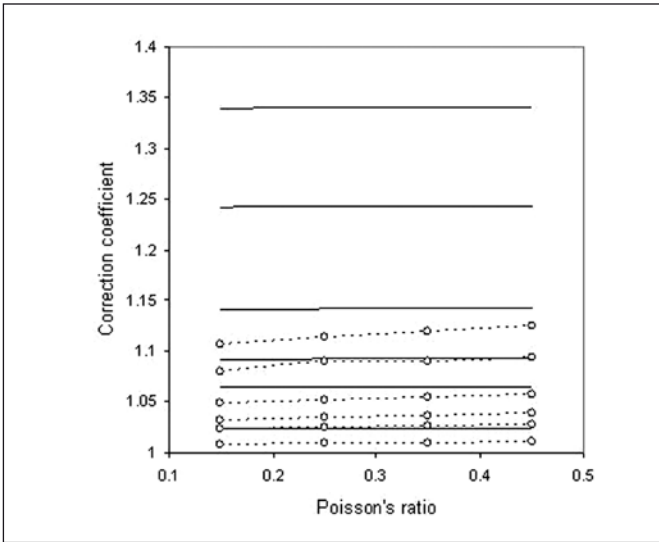


Fig. 4 The correction coefficients T_{SR} obtained by Štubňa and Trník [1] (full lines) and $T_{1(Tim)}$ evaluated from Eq. (8) (dashed lines) versus Poisson's ratio μ and $l/d = 5, 6, 8, 10, 12, 20$ (from the top to the bottom) for the first overtone and a square cross-section.

$$a = \frac{\omega}{c_L} \sqrt{-\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} + \left(\frac{c_L}{i\omega}\right)^2}}, \quad (9)$$

$$b = \frac{\omega}{c_L} \sqrt{+\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} + \left(\frac{c_L}{i\omega}\right)^2}}.$$

If we use the angular frequencies $\omega_{1(Alt)}$ obtained from the alternative equation, then Eq. (8) for the correction coefficients for the first overtone and a rectangular cross-section is replaced by

$$T_{1(Alt)} = \left(\frac{\omega_{1(7)}}{\omega_{1(Alt)}} \right)^2. \quad (10)$$

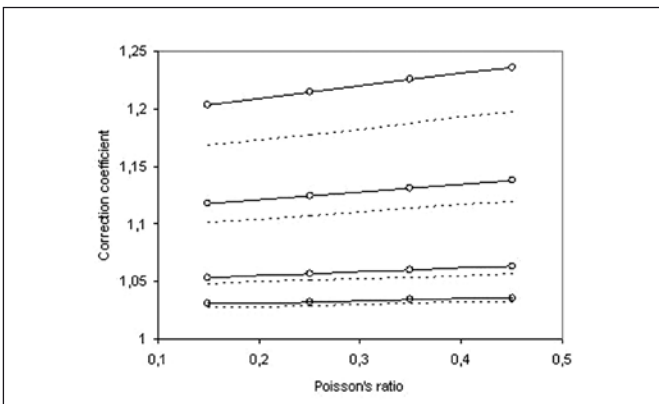


Fig. 5 – The correction coefficients $T_{1(Alt)}$ (full lines) and $T_{1(Tim)}$ (dashed lines) versus $l/d = 6, 8, 12, 16$ (from the top to the bottom) for the first overtone and a square cross-section

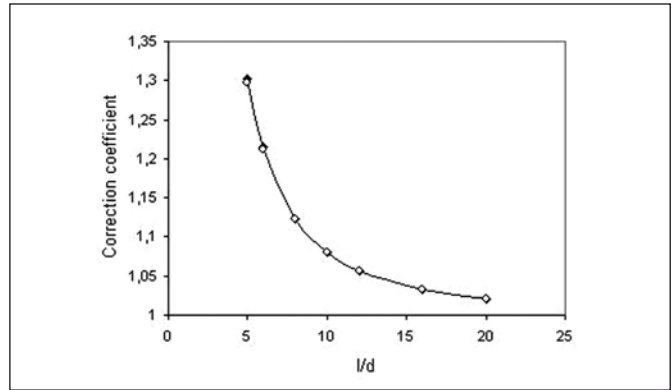


Fig. 6 The correction coefficients $T_{1(Alt)}$ calculated from Eq. (10) (full line) and from Eq. (1) (points) for the first overtone and a square cross-section at $\mu = 0.25$.

The coefficients $T_{1(Alt)}$ together with the coefficients $T_{1(Tim)}$ calculated for $\mu = 0.25$ are depicted in Fig. 5. Since $\omega_{1(4)} < \omega_{1(Alt)}$, the difference between $T_{1(Alt)}$ and $T_{1(Tim)}$ are increasing with the ratio l/d . The values of $T_{1(Alt)}$ depend on Poisson's ratio in the same manner as $T_{1(Tim)}$, thus confirming the incorrectness of the constants A, B, C, D in Tab. 2 for a square cross-section. The agreement of $T_{1(Alt)}$ calculated from Eq. (10) with the correction coefficients calculated from Eq. (2) occurs if $A = 0.00510$, $B = 9.48758$, $C = 13.9541$, $D = 21.4486$ as can be seen in Fig. 6.

CONCLUSION

A comparison between correction coefficients calculated from Eq. (2) (supplemented by Tabs.1 and 2) and the correction coefficients given in the ASTM standard and calculated with the help of Timoshenko's equation was performed. The results show satisfactory agreement only for Poisson's ratio $\mu = 0.25 \pm 0.05$. However, a relatively large disagreement occurs between the proposed coefficients and the coefficients calculated from Timoshenko's equation for the first overtone and a square cross-section. This is because of the values of the constants A, B, C, D (given in Tab. 2). More appropriate values are $A = 0.00510$, $B = 9.48758$, $C = 13.9541$, $D = 21.4486$.

ACKNOWLEDGEMENT

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

References

- [1] Štubňa, I., Trník, A. (2006) Correction coefficients for calculating the Young's modulus from the resonant flexural frequencies. *Journal of Mechanical Engineering - Strojníski vestník*, **52**, 2006, pp. 317-322
- [2] Štubňa, I., LIŠKA, M. (2001) Formula for correction coefficients for calculating Youngs modulus from resonant frequencies. *Acustica - Acta Acustica* **87**, 2001, pp. 149-150
- [3] ASTM C 1198-01: Standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio for advanced ceramics by sonic resonance. (Published in 2001, Standard Documents, Philadelphia USA)
- [4] Schreiber, E., Anderson, O., Soga, N. (1973) *Elastic Constant and Their Measurement*. McGraw-Hill, USA
- [5] Timoshenko, S.P.(1955) *Vibration problems in engineering*. D. Van Nostrand Inc., New York
- [6] Štubňa, I., Trník, A. (2005) Equations for the Flexural Vibration of a Sample with a Uniform Cross-Section. *Journal of Mechanical Engineering - Strojníski vestník*, **51**, 2005, pp. 90-94
- [7] Štubňa, I., Majerník, V. (1998) An alternative equation of the flexural vibration. *Acustica - Acta acustica*, **84**, 1998, pp. 999-1001

RNDr. Alžbeta Lintnerová, Department of Physics, Constantine the Philosopher University, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
tel.: +421 37 6408 618, email: alintnerova@ukf.sk;

doc. RNDr. Igor Medved, PhD., Department of Physics, Constantine the Philosopher University, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra,
tel.: +421 37 6408 616, email: imedved@ukf.sk;

doc. RNDr. Vladimír Labaš, PhD., Department of Physics, Faculty of Material Engineering, Slovak Technical University, Pavlínska 16,
917 24 Trnava tel.: +421 33 5521 002, kl. 59, email: vladimir.labas@stuba.sk.

Katadioptrické soustavy

(Dokončení článku z minulého čísla)

2.3. Cassegrainova soustava s opraveným sklenutím

V části 2.2. byl ukázán výpočet Cassegrainovy soustavy s dvoudílným kompenzátorem. Ptejme se nyní, jaký tvar musí mít zrcadlová soustava, aby bylo sklenutí odstraněno. Musí tedy platit ($\varphi = 1$)

$$\varphi_3 + h_4 \varphi_4 = 1, \quad \varphi_3 + \varphi_4 = -P = 0, \quad (42)$$

kde P je Petzvalova suma. Dále platí následující vztahy

$$x'_4 = h_4 = e + a, \quad h_4 = 1 - e\varphi_3, \quad h_4 = \frac{1 + \varphi_3 a}{1 + \varphi_3},$$

z předcházejících rovnic plyne: $\varphi_3 = -\varphi_4$. Z rovnic (42) dostáváme

$$\varphi_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{1 + \sqrt{5 - 4a}}{1 - a} \right).$$

Pro $a = 0$ nabudou předcházející vztahy velmi jednoduchého tvaru

$$\varphi_3 = -\varphi_4 = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{5}) = 1,618, \quad h_4 = \frac{2}{3 + \sqrt{5}} = 0,382.$$

Dosadíme-li za φ_3 a φ_4 do vztahů (41), můžeme obdobným způsobem jako v 2.2. určit tvar kompenzátoru.

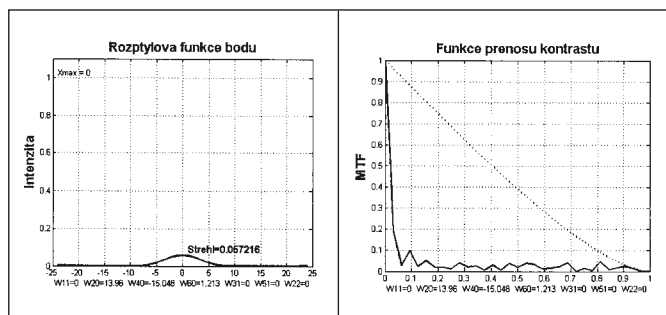
3. PŘÍKLADY POUŽITÍ

V této části si na dvou příkladech ukážeme korekční možnosti jednotlivých typů kompenzátorů, které byly podrobně analyzovány v předcházející části.

Příklad 1

Máme určit parametry meniskové astronomické komory pro relativní otvor 1:1,8 a $n_D = 1,51674$ (sklo BK7). Pro $f' = -100$ mm dostáváme ze vztahů (12) pro parametry komory následující hodnoty: $r_1 = -51,914$ mm, $r_2 = -56,964$ mm, $r_3 = -213,60$ mm, $d = 10$ mm, $e = 119,66$ mm.

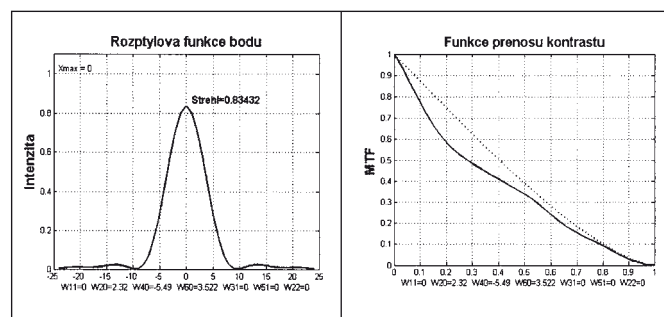
Pro koeficienty vlnové aberace, vztažené k referenční sféře v paraxiálním obrazovém bodu, dostáváme: $W_{20} = 0,0188$, $W_{40} = -15,048$, $W_{60} = 1,213$. Abychom zjistili kvalitu zobrazení této optické soustavy, vypočítáme si její rozptylovou funkci a funkci



Obr. 6

přenosu kontrastu. Na obr. 6 jsou uvedeny grafy rozptylové funkce bodu a funkce přenosu kontrastu pro výše uvedené parametry optické soustavy. Z těchto obrázků je patrné, že pro dosažení dobré kvality zobrazení musíme provést optimalizaci této optické soustavy.

Provedeme-li optimalizaci parametrů, dostáváme: $r_1 = -55,646$ mm, $r_2 = -61,823$ mm, $r_3 = -213,327$ mm, $d = 10$ mm, $e = 119,66$ mm. Pro koeficienty vlnové aberace, vztažené k referenční sféře v paraxiálním obrazovém bodu, dostáváme: $W_{20} = 0,104$, $W_{40} = -5,490$, $W_{60} = 3,522$. Na obr. 7 jsou uvedeny grafy rozptylové funkce bodu a funkce přenosu kontrastu pro výše uvedené parametry optimalizované optické soustavy.

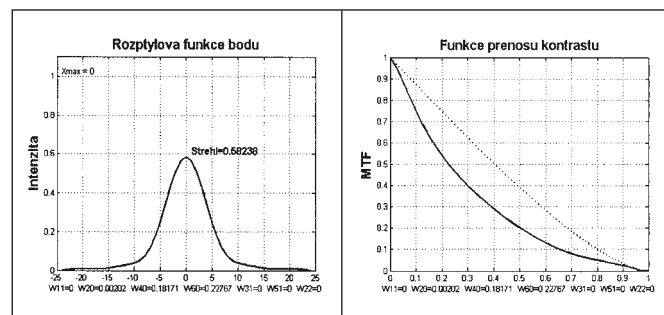


Obr. 7

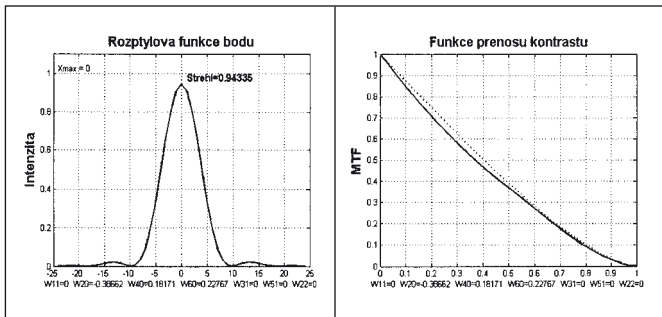
Jak je z uvedených grafů patrné, malou změnou poloměrů křivosti optické soustavy se nám podařilo získat optickou soustavu, která již poskytuje dobré zobrazení.

Příklad 2

Máme vypočítat parametry astronomické komory s dvoudílným afokálním kompenzátorem. Volíme-li $f' = -100$ mm, relativní otvor 1:1,8, $A = 0$, $B = 0$, $C = 0,22$, $n_D = 1,51674$ (sklo BK7) a požadujeme, aby poslední plocha kompenzátoru byla rovina ($r_4 = \infty$). Užitím vztahů uvedených v části 1.3 dostáváme pro lámavost prvního členu kompenzátoru dvě hodnoty, a to $\varphi_1 = 0,34744$ a $\varphi_1 = -0,12083$. Volíme první hodnotu, která poskytuje větší hodnoty poloměrů křivosti, potom dostáváme: $\varphi_1 = 0,34744$, $r_1 = 245,83$ mm, $r'_1 = -376,52$ mm, $r_2 = -148,73$ mm, $r'_2 = \infty$, $r'_3 = -200$ mm, $e = 106,19$ mm. Volme pro tloušťky čoček kompenzátoru hodnoty $d_1 = 8$ mm, $d_2 = 4$ mm, $d_3 = 5$ mm. Pro koeficienty vlnové aberace, vztažené k referenční sféře se středem v paraxiálním obrazovém bodu, dostáváme: $W_{20} = 0,002$, $W_{40} = 0,182$, $W_{60} = 0,227$.



Obr. 8



Obr. 9

Na obr. 8 jsou uvedeny průběhy rozptylové funkce bodu a funkce přenosu kontrastu vzhledem k referenční sféře se středem v paraxiálním obrazovém bodu vypočítané optické soustavy. Na obr. 9 jsou uvedeny průběhy rozptylové funkce bodu a funkce přenosu kontrastu vzhledem k optimální referenční sféře téže optické soustavy. Jak je z těchto grafů patrné, získali jsme optickou soustavu, která i bez optimalizace poskytuje lepší výsledky než předcházející optická soustava s meniskovým kompenzátořem po optimalizaci.

Příklad 3

Máme určit parametry objektivu Cassegrainova typu s afokálním kompenzátořem. Volíme $A = B = 0$, $h_4 = 0,4$, $a = 0,1$, $n_D = 1,51674$ (sklo BK7). Pro $f' = 500$ mm dostáváme následující hodnoty poloměrů křivosti: $r_1 = -251$ mm, $r'_1 = -753,15$ mm, $r_2 = 6400$ mm, $r'_2 = -400$ mm, $r_3 = -500$ mm, $r_4 = -400$ mm, $e = 150$ mm. Volíme-li relativní otvor objektivu 1:5, potom pro tloušťky čoček kompenzátořu volíme hodnoty: $d_1 = 10$ mm, $d_2 = 1$ mm, $d_3 = 10$ mm. Provedeme-li optimalizaci poloměrů křivosti a požadujeme-li, aby $r_2 = \infty$, dostáváme: $r_1 = -250,3$ mm, $r'_1 = -738,98$ mm, $r_2 = \infty$, $r'_2 = -400$ mm, $r_3 = -500$ mm, $r_4 = -400$ mm, $e = 150$ mm. Zbytkové vlnové aberace osového svazku jsou pro všechny vlnové délky menší než $\lambda/15$ a soustava je tedy fyzikálně dokonalá, neboť Strehlova definice ≈ 1 . Pro obrazové zorné pole o průměru 20 mm je velikost rozptylového kroužku pro kraj zorného pole menší než 0,01 mm.

4. ZÁVĚR

V tomto článku byly odvozeny vztahy pro výpočet parametrů čtyř druhů zrcadlo-čočkových soustav objektivů používaných především v astronomii a fotografii. I když bychom mohli uvést ještě řadu dalších modifikací, poskytují analyzované druhy nejlepší korekci aberací, a proto jsou pro praktické použití nejhodnější. Získané parametry pak mohou sloužit jako vstupní parametry pro další optimalizaci korekčního stavu optické soustavy pomocí nějakého optimalizačního programu nebo totéž můžeme udělat změnou hodnot aberačních koeficientů. V obou případech dojde prakticky k stejným výsledkům. Ze tří připojených příkladů je patrné, že kompenzační schopnost dvoudílného kompenzátořu je mnohem větší než při užití menisku. Pro amatéra však bude „možná“ přijatelnější zhotovit meniskový dalekohled (vyrábí se jen jedna čočka), než dalekohled s dvoudílným kompenzátořem. Chceme-li však dosáhnout dokonalější korekce, je třeba použít dvoudílného kompenzátořu. Při návrhu objektivu Cassegrainova dalekohledu je třeba také přihlížet k absorpci pupily (centrálnímu zaclonění pupily druhým zrcadlem), a proto je třeba volit průměr druhého zrcadla menší než 40 % průměru vstupní pupily objektivu.

Práce byla vypracována v rámci projektu MSM6840770022 Ministerstva školství ČR.

Literatura

- [1] A. Mikš, *Aplikovaná optika 10*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.
- [2] J. Fuka, B. Havelka: *Optika*, SPN, Praha 1961.
- [3] B. Havelka, *Geometrická optika I*, NČSAV, 1956.
- [4] D. Volosov, *Metody rasčeta složnych fotografičeskich sistem*, OGIZ, 1948.
- [5] E. Kepřt, *Teorie optických přístrojů I*, UP Olomouc, SPN, Praha 1964.
- [6] www.optima-research.com



ELEKTRO EXPO

Viac než sme mohli očakávať

Do roku 2009 vstúpilo výstaviisko INCHEBA EXPO Bratislava (www.incheba.sk) s novým medzinárodným veľtrhom elektro-techniky, elektroniky a energetiky ELEKTRO EXPO, ktorý sa uskutočnil spolu s 3. ročníkom medzinárodného veľtrhu nových priemyselných technológií, materiálov a zariadení INDUSTRY EXPO od 17. do 19. februára 2009. Na ploche viac ako 9500 m² sa predstavilo 126 vystavovateľov zo Slovenska, Českej republiky, Nemecka, Rakúska, Španielska a Vietnamu. Záštitu nad veľtrhom ELEKTRO EXPO prevzalo Ministerstvo hospodárstva SR.

Nomenklatúra veľtrhu ELEKTRO EXPO, ktorý sa uskutoční najbližšie na jeseň v dňoch 30. septembra až 2. októbra 2009 sa člení na:

- elektronické prvky a moduly;
- silnoprúdovú elektrotechniku a elektroenergetiku;
- elektroinštalačnú techniku;
- elektrotechnické materiály;
- automatizačnú, riadiacu, meraciu, regulačnú a laboratórnú techniku;
- osvetľovaciu techniku;
- zabezpečovaciu techniku a systémovú techniku budov;
- rádiokomunikačnú a telekomunikačnú techniku;
- výpočtovú techniku;
- spotrebnú elektrotechniku a elektroniku;
- služby.

Počas spoločenského večera, ktorý pre vystavovateľov pripravil organizátor, výstaviisko INCHEBA EXPO Bratislava boli udelené ceny v siedmych výrobných odboroch. Ocenenie PRÍX 2009 získali výrobky:

- Kompaktný pohon o miniatúrnom priemere RCL-RA1L-I-2-N-25-A1-S (vystavovateľ: REM – Technik)
- Dvojpolové prúdové chrániče PFI 2 a PFB 2 (vystavovateľ: SEZ KROMPACHY)
- Dynamické osvetlenie prechodu pre chodcov FLICKER (vystavovateľ: Ing. Jozef Sedlák – SEAK)
- Ultrazvuková čistička na čistenie v horľavinách s uzatvoreným chladiacim okruhom UCI (vystavovateľ: S POWER PRODUCT) a ocenenie GRAND PRIX 2009:
- Variabilný systém skrine s dvermi pre výstavbu rozvádzačov – ENYSTAR (vystavovateľ: HENSEL)
- Káblový žľab RKS – Magic (vystavovateľ: OBO BETTERMANN)
- Ventilátory v tuneli (vystavovateľ: Eas/Evg – Lufttechnik)
- Systém meracieho prístroja a softver určený pre zabezpečenie kontroly a revízie elektrických spotrebičov počas používania REVEXprofi (vystavovateľ: ILLKO)

Odborný sprievodný program a ďalšie propagačné akcie podporili nielen prezentácie vystavených exponátov, ale reagovali hlavne na aktuálne úlohy predovšetkým Ministerstva hospodárstva

SR, Ministerstva dopravy, pôšt a telekomunikácií SR, Ministerstva životného prostredia SR a Ministerstva vnútra SR, sekcie verejnej správy. Počas veľtrhu odzneli prednášky, na ktorých sa zúčastnili odborníci z daných výrobných odborov.

Nosné workshopy boli sústredené do nasledujúcich oblastí:

Workshop: **Modernizácia verejného osvetlenia**

1. Európska legislatíva a európske normy
Garant: Slovenský ústav technickej normalizácie
2. Podnikateľský plán obnovy a rekonštrukcie osvetlenia pozemných komunikácií
Garant: PROMETEUS
3. Svietidlá pre verejné osvetlenie a ich príslušenstvo
Garant: PHILIPS
4. Svietidlá na osvetlenie pozemných komunikácií a tunelov
Garant: SITECO Lighting
5. Údržba verejného osvetlenia
Garant: HELLUX ELEKTRA
6. Osvetľovacie stožiare
Garant: ELV PRODUKT
7. Mechanické systémy na údržbu verejného osvetlenia
Garant: FLESCHE
8. Diskusia a záver
Garant: PROMETEUS

Workshop: **Optimalizácia technologického vybavenia tunelov**

1. Technologické vybavenie tunela Bôrik
Garant: PPA CONTROLL
2. Náhradné zdroje elektrickej energie v tuneli
Garant: PHOENIX ZEPELLIN
3. Káblové nosné systémy s funkčnosťou pri požari pre cestné a vlakové tunely
Garant: OBO BETTERMANN
4. Zmeny osvetlenia vo dne a regulácia osvetlenia v tuneli
Garant: ELECTRIC – SPECIAL PHOTOTRONICSYSTEME
5. Požiarne núdzové osvetlenie
Garant: DAMBACH Verkehrsleitsysteme
6. Riadenie vetrania v prípade požiaru v tuneli
Garant: Consulting Engineers
7. Kontrastná metóda projektovania osvetlenia tunelov
Garant: SCHRÉDER
8. Monitorovacie systémy v tuneli
Garant: SWARCO – ELSIG

Workshop: **Profesionálne a efektívne nakladanie s elektroodpadom**

1. Kolektívne systémy fungujú transparentne a efektívne
Garant: SEWA
2. Metódy separácie elektroodpadu
Garant: ENVIDOM

3. Partnerské kolektívne systémy v zahraničí v oblasti elektroodpadu zo svetelných zdrojov a svietidiel
Garant: EKOLAMP
4. Metódy a spôsoby zberu a spracovania vyradenej osvetľovacej techniky
Garant: ARGUSS
5. Diskusia a záver
Garant: SEWA

Medzi ďalšie akcie patrili *Aktuálne otázky bezpečnosti technických zariadení* (garant: Technická inšpekcia), *Elektromagnetická kompatibilita* (garant: SCHMID – MULTITECH), *Určovanie a uplatnenie vonkajších vplyvov pri obsluhu, údržbe, montážach a revíziách vyhradených technických zariadeniach elektrických podľa platných noriem* (garant: ÚNIA SLOVENSKÝCH ELEKTROTECHNIKOV), *Uplatňovanie súčasných legislatívnych a technických predpisov v praktickej činnosti elektrotechnikov* (garant: ČECH ELEKTROTECHNIKOV SLOVENSKA), *Elektromobily – skutočnosť, teória a prax* (garant: ELEKTROMOBILY), *Veterná energia v SR* (garant: Združenie pre veternú energiu Slovenska), *Aktuálny stav vo využívaní biomasy na energetické účely* (garant: AGROBIOENERGIA, A.B.E., združenie pre poľnohospodársku biomasu) *alebo propagačná akcia spoločnosti CSAT zameraná na Parametre smerových mriežkových antén WLAN pre pásmo 2,4 GHz a 5 GHz (WiFi)*, *Počítačová podpora inžinierskych činností* (garant: Strojnícka fakulta STU v Bratislave) *či okrúhly stôl Vzdelanie = budúcnosť Slovenska* (garant: Trenčianska univerzita A. Dubčeka, Fakulta mechatroniky) *a akcie zamerané na témy veľtrhu INDUSTRY EXPO. Na všetkých odborných podujatiach sprievodného programu boli zastúpení odborníci z daných výrobných odborov, významné osoby a ľudia z praxe.*

Veľkú zásluhu na vysokej odbornej úrovni veľtrhu ELEKTRO EXPO pripisujeme účasti vlajkových lodí podľa tovarovej nomenklatúry: DISTRELEC, SCHMID – MULTITECH, ELECTRIC – SPECIAL PHOTOTRONICSYSTEME, RITTAL, STRABAG



Anlagentechnik, SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE, PHOENIX ZEPPELLIN, S POWER PRODUCT, ELV PRODUKT, HAGER SYSTEMS, SEZ KROMPACHY, MURAT, HENSEL, KIWA, OBO BETTERMANN, BRILUM, FAGERHULT CENTRAL EUROPE, ORGECO, KOLEKTÍVNE SYSTÉMY OBLASTI NAKLADANIA S ELEKTROODPADOM a ďalších vystavovateľov. Okrem tradičných vystavovateľov odborných časopisov a technickej literatúry sa verejnosti po nultom čísle predstavil vydavateľ OKTAGON s prvým číslom časopisu pre elektrotechniku, energetiku a automatizáciu pod názvom ELEKTROTECHNIK. Aktuálne informácie z oblasti technickej normalizácie v elektrotechnike poskytli na stánku a v prednáške Európska legislatíva a európske normy vedúci pracovníci SLOVENSKÉHO ÚSTAVU TECHNICKEJ NORMALIZÁCIE. Ceníme si úsilie, ktoré vynaložili na prípravu odborného sprievodného programu ÚNIA SLOVENSKÝCH ELEKTROTECHNIKOV a ČECH ELEKTROTECHNIKOV SLOVENSKA, ako aj STU v Bratislave a Trenčianska univerzita A. Dubčeka.

Vystavovatelia veľmi pozitívne hodnotili:

- geograficky a ekonomicky výhodnú polohu výstavniska INCHEBA EXPO Bratislava,
- moderný areál s reprezentatívnymi výstavnými priestormi,
- optimálne podmienky pre prezentáciu noviniek a trendov na trhu v oblasti elektrotechniky, elektroniky a energetiky,
- výhodné cenové podmienky,
- odborný, vysoko kvalitný sprievodný program,
- stretnutie výrobcov a predajcov na jednom mieste v rovnakom čase,
- príležitosť naštartovať nové obchodné vzťahy nielen na slovenskom trhu,
- efektívne vynaložené náklady na prezentáciu,
- možnosť vlastného firemného dňa bezplatne.

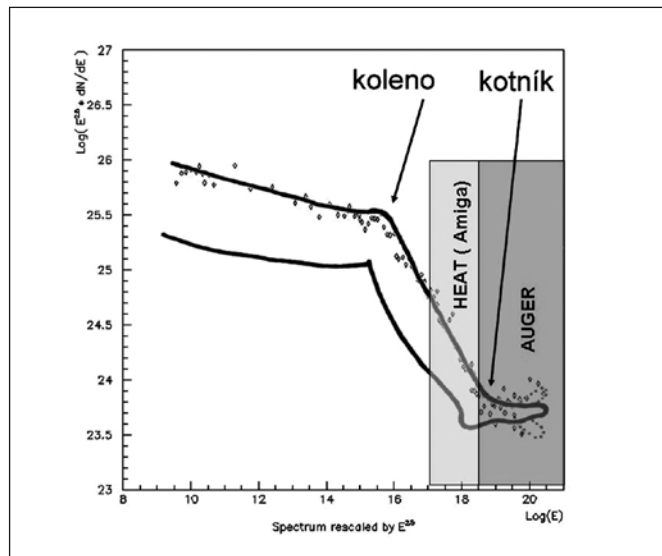
Na tomto mieste sa chceme poďakovať vystavovateľom, ako aj návštevníkom za záujem o tento nový medzinárodný veľtrh elektrotechniky, elektroniky a energetiky na výstavisku INCHEBA EXPO Bratislava. Veríme vážení vystavovateľa, že sa aktívne zúčastní aj prvého samostatného medzinárodného veľtrhu ELEKTRO EXPO, ktorý sa uskutoční na jeseň v dňoch 30. septembra až 2. októbra 2009. Tento termín, ktorý sa v budúcnosti zachová, je viazaný na daňový rok, ktorý sa všeobecne začína v apríli a končí v marci nasledujúceho roku, čím sme vyšli v ústrety požiadavke vystavovateľov. Taktiež sa tento termín vyznačuje dlhodobou nižšími cenami, ktoré INCHEBA EXPO Bratislava nastavila tak, aby vystavovatelia nepociťovali stávajúcu situáciu finančnej krízy a s tým spojené tzv. „uťahovanie si opaskov“. INCHEBA EXPO Bratislava týmto krokom chce poskytnúť firmám ďalej pokračujúci štandard vystavovania v oblasti elektrotechniky, elektroniky a energetiky za nižšie ceny, aby vystavovatelia v tejto oblasti nezaregistrovali dodatočný prílev nákladov. Tešíme sa na ďalšiu spoluprácu v septembri 2009.

Projekt HEAT (High Elevation Auger Telescopes)

Autoři tohoto článku podávají stručnou informaci o další aktivitě v oblasti studia kosmického záření, do které jsou zapojeni odborníci z České republiky.

V roce 2008 byla dokončena jižní observatoř projektu „Pierre Auger Observatory“, určeného pro rozsáhlé systematické studium kosmického záření o extrémně vysokých energiích. Hybridní detektor observatoře zabírá plochu asi 3000 km². Detektor spršek kosmického záření využívá dva rozdílné typy detekce. Soustava 1600 povrchových detektorů (SD) pracuje na principu detekce brzdného Čerenkovova záření pomocí fotonásobičů uložených v tancích s vodou. Druhý typ detekce vychází z použití teleskopů vybavených kamerami s fotonásobiči pro registraci krátkých záblesků fluorescenčního záření. Sledovaný fluorescenční signál vzniká při interakci spršky iniciované částicí kosmického záření s dusíkovými molekulami v zemské atmosféře. Čtyři šestice optických fluorescenčních detektorů (FD) rozmístěné ve čtyřech budovách na vnějších okrajích observatoře monitorují atmosféru nad plochou pokrytou pozemními detektory. Jednotlivé teleskopy FD mají horizontální i vertikální zorné pole 30° a jsou schopny detekovat fluorescenční záření vybuze primárními částicemi s energiemi vyššími než $3 \cdot 10^{18}$ eV. V některých případech dopadu primární částice do sledovaného prostoru leží maximum intenzity fluorescenčního záření mimo zorné pole FD teleskopů. Tato situace je typická pro spršky vyvolané primárními částicemi s energiemi pod detekčním prahem, který je pro fluorescenční detektor observatoře $3 \cdot 10^{18}$ eV. Pravděpodobnost dopadu vysokoenergetické částice na jednotkovou plochu klesá s její rostoucí energií. Současné FD detekují energie v oblasti tzv. „kotníku“, naším cílem bylo najít řešení, které by tento limit posunulo směrem k již zmíněným nižším energiím - do oblasti tzv. „kolena“ (viz obr. 1).

V roce 2006 bylo rozhodnuto o rozšíření jižní observatoře o detektor částic schopný zaznamenat částice kosmického záření s energiemi pod zmíněným limitem. Díky tomu byl nastartován projekt HEAT (High Elevation Auger Telescopes). Technicky se jedná o dodatečnou stavbu tří fluorescenčních teleskopů.

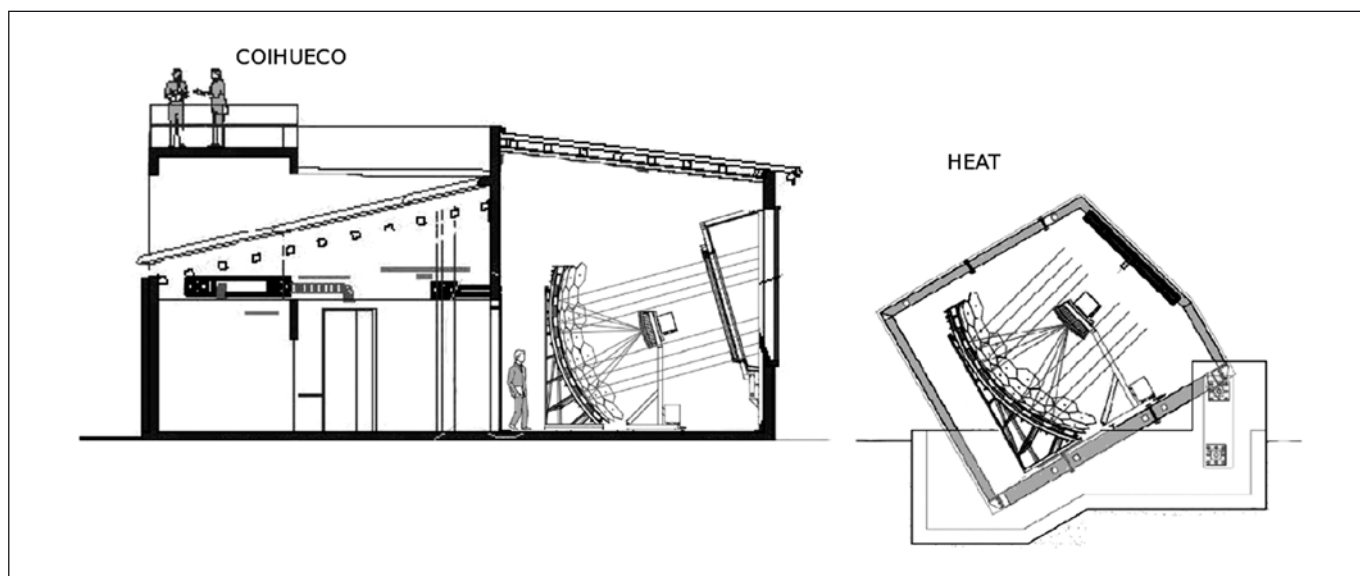


Obr. 1 Závislost četnosti dopadu částic na jejich energii, obrázek ukazuje příspěvek nově navržených FD k rozšíření spektra detekovaných částic

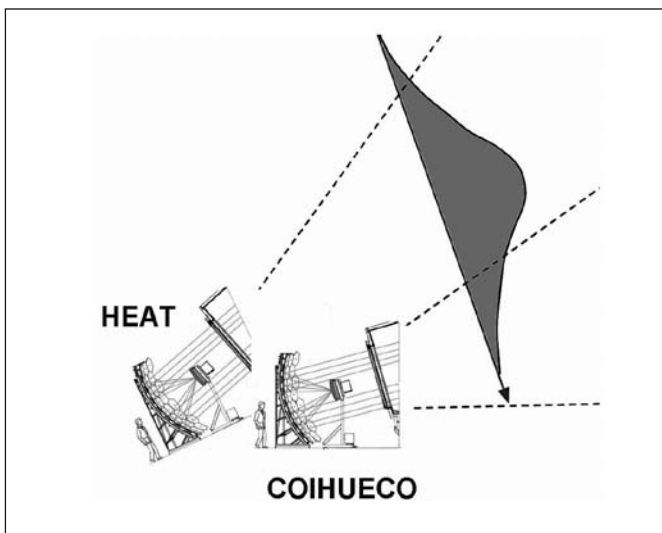
Teleskopy HEAT mají stejné zorné pole jako teleskopy FD, ale mají větší elevační úhel (viz obr. 2). Při elevačním úhlu 45° teleskopy zobrazují pole mezi 30° - 60°. V kombinaci se stávajícími teleskopy umístěnými na Coihuecu tak bude pokryto vertikální zorné pole cca 0° - 60° (viz obr. 3).

Teleskopy HEAT jsou zabudovány v kovových klimatizovaných boxech s hydraulickým naklápěcím systémem pro změnu elevačního úhlu.

Řešení mechanické konstrukce boxů pro teleskopy HEAT vyžádalo řadu nových zejména tolerančních analýz optického systému



Obr. 2 Řez budovou FD projektu Auger (vlevo) a novým detektorem HEAT (vpravo)



Obr. 3 Schematický obrázek vystihující zvětšení vertikálního zorného pole kombinací stávajícího FD a FD HEAT



Obr. 4 Fotografie objektu teleskopu v operační poloze



Obr. 5 HEAT box osazený fluorescenčním teleskopem (fotomontáž)

teleskopů, které definují základní požadavky na rozměrovou stabilitu konstrukce. Výsledky u nás provedených tolerančních výpočtů a simulací vyústily v osazení teleskopů sadou senzorů, sledujících vybrané vzdálenosti [6].

V průběhu roku 2008 byla provedena instalace zrcadlové plochy prostředního teleskopu HEAT-2 a prostředního teleskop HEAT byl uveden do provozu. V dubnu roku 2009 dojde k osazení posledních dvou boxů zrcadly ze SLO UP a FZÚ AV ČR Olomouc. Předpokládaný termín zprovoznění celého HEAT je druhá polovina roku 2009.

Poděkování

Tento výsledek byl získán za podpory projektu MŠMT ČR INGO – LA08016 a projektu MŠMT ČR č. 1M06002.

Na první straně obálky jsou umístěny dva obrázky:

Horní obrázek: Boxy teleskopů HEAT (vlevo) a budova Coihueco (vpravo).

Dolní obrázek: Čelní pohled na trojici objektů s fluorescenčními teleskopy projektu HEAT.

Literatura

- [1] H. Klages, for THE PIERRE AUGER COLLABORATION, Enhancement Telescopes for the Pierre Auger Southern Observatory in Argentina, *Astron. Nachr. /AN* 328 (2007), No. 7
- [2] A. Etchegoyen, for THE PIERRE AUGER COLLABORATION, AMIGA, Auger Muons and Infill for the Ground Array, *Proceedings of the 30th ICRC, Merida, Mexico*, 007
- [3] G. Medin Tanco, for THE PIERRE AUGER COLLABORATION, Astrophysics Motivation behind the Pierre Auger Southern Observatory Enhancements, *Proceedings of the 30th ICRC, Merida, Mexico*, 2007
- [4] A.V. Olinto, et al., Cosmic Rays: The Highest-Energy Messenger, *Science* 315, 68 (2007)
- [5] THE PIERRE AUGER COLLABORATION, The Fluorescence Detector of the Pierre Auger Observatory, Preprint submitted to Elsevier
- [6] Joaquín Calvo de N6, Monitoring of camera positions for Auger Fluorescence Telescopes, GAP-2008-10011.

Mgr. Dušan Mandát, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Tř. 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 573, email: mandat@jointlab.upol.cz

RNDr. Miroslav Palatka, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Tř. 17. listopadu 0A, 772 07 Olomouc

prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Tř. 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc

RNDr. Petr Schovánek, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Tř. 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc

Mgr. Miroslav Pech, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Tř. 17. listopadu 50A, 772 07 Olomouc

CONTENTS

Aspects of adhesive bonded surface mechanical treatment by grit blasting (M. Müller, M. Jirka, R. Chotěborský) 63

An Adhesive bonded surface mechanical treatment is one of necessary steps in an adhesive bonding technology application. A grit blasting ranges among prospective adhesive bonded surface treatment technologies. A resulted surface structure depends on many factors. A grit blasting material grain size together with specific fraction size belongs to basic parameters.

This paper deals with an influence of the grain on surface roughness parameters as well as on a charge of an adhesive bond strength.

Key words: Adhesive bonding, grain size, grit blasting, surface roughness

Discrete-controlled continuous processes with prediction of limit value of determining dynamic variable with time delay (R. Krehel) 66

This article describes a new concept evolution to the simulation process of cutting tool size abrasion with subsequent element of correction in limits of parametrically defined optimal feeding. It deals only with one aspect concerning the polynomial transformation of experimentally obtained discrete values of cutter head position and their integration into continuous functional form compatible with used software environment.

Transient diagram of transponder MOBY I – MDS 439E (M. Růžička, G. Künzel)..... 68

This contribution describes an object identification in the extreme industrial environment, specifically in environments with high temperatures. It is focused on analysis of the transponder MOBY I – MDS 439E - its features and behaviour in such environments. The results of measuring the dependence of internal temperature on external temperature were used to create a transient diagram, transfer function and the transfer function optimised employing the Matlab – Simulink software. These results will be used for the design of an identification system - most notably for its adjustment during conveyor systems' tact increase and the development and enhancement of heat-isolated features.

Evaluation and quantification of the reliability interval of measurement parameters (M. Borovička) 70

The article presents an evaluation and quantification of the reliability interval of measurement parameters based on the theory expressing an uncertainty in measurement as was recommended by the CIPM (Comité International des Poids et Mesures) in 1993. Numerical values of the reliability interval are quantified by statistical methods. The quantification technique for reliability interval has three components. The reliability interval u_c is obtained as a statistical calculation of measurement parameters x_i using the reliability coefficient $e = 2.72$. The combined reliability interval u_{cc} is obtained as a statistical (square) sum of reliability interval u_c and uncertainty of parameters measuring device u_b . The reliability interval of measurement parameters U_c is obtained as a multiplication of combined reliability interval u_{cc} with coverage factor k relevant to the probability P .

The reliability interval of measurement parameters is used for evaluation and managing technology processes with aim to secure the quality of products and the efficiency of production.

Mathematical model of the vehicle movement (J. Hromádka, V. Hönig, P. Miler, J. Hromádka)..... 72

Abstract. The aim of this article is to design a mathematic model of the vehicle movement, which will be able indirectly determine the immediate and cumulate value of the production of emissions

and the fuel consumption. These determined and cumulated value of emissions or more precisely fuel consumption can be paid for and stimulate the drivers to be considerable to the environment in this way. A principle of the method is based on determination of engine load course that is possible to be assigned to the production of harmful emission and the fuel consumption. Characteristics of the engine's emissions and the fuel consumption must be known preliminary. The model of the vehicle movement is used to determine the engine load course.

Keywords. driving resistance, engine speed, engine torque, fuel consumption, harmful emissions

Interference of diffuse electron waves in metallic nanometric conductors under the equilibrium regime (J. Pospíšil, J. Hrdý, F. Pluháček) 75

The fundamental quantum-statistical and electromagnetical theoretical interpretation of the electrical conductance of diffuse free electrons in a nanometric metallic conductor under its thermodynamical, electrical and statistical equilibrium, regarding to an entrance and exit electron reservoir, is introduced in the present article. Such a conductance is treated as the consequence of the quantum-mechanical phase coherence and interference of the adequate de Broglie's corpuscular (electron) waves in a metallic nanosample under the low absolute temperature. The formulae presented follow from application of the quantum Fermi-Dirac statistics of energetic distributions of free electrons in a metallic nanosample and from considerations about the two-beam interference of totally coherent electron waves over the entire nanosample, whose relative stochastic phase is controlled by an external tuning magnetic field. Furthermore, some contemporary methods of experimental verification of formulae mentioned above for a ring and straight metallic nanosample and homogeneous tuning magnetostatic field are then described and evaluated in the closing text of this article.

Katadioptrie systems (A. Mikš)..... 86

More than we could expect (P. Horňák, A. Janíčková, F. Mikuláš) 88

HEAT – High Elevation Auger Telescopes (D. Mandát, M. Palatka, M. Hrabovský, P. Schovánek, M. Pech) 90

ANOTACE

Korekčné koeficienty pre výpočet Youngovho modulu z rezonančnej frekvencie ohybových kmitov – revízia (A. Lintnerová, I. Medved', V. Labaš) 83

V príspevku poukazujeme na to, že korekčné koeficienty, ktoré použili Štubňa a Trník na výpočet Youngovho modulu z rezonančnej frekvencie ohybových kmitov (Journal of Mechanical Engineering – Strojniški vestnik. 52, 2006, p. 317), je možné použiť s veľmi dobrou presnosťou iba ak Poissonovo číslo $\mu = 0.25 \pm 0.05$. Po preskúmaní ich výsledkov navrhujeme presnejšie hodnoty korekčných koeficientov pre prvú vyššiu frekvenciu a hranolovú vzorku so štvorcovým prierezom, kedy je ich nesúlad najzjavnejší.



IWA 2009
& *Outdoor Classics*

Norimberk, Německo

**Meopta - optika, s. r. o., představila své nové výrobky
na tradičním 36. mezinárodním veletrhu
loveckých zbraní, vybavení a doplňků**

**Dalekohledy pro zájmovou činnost a volný čas
„Lepší pohled na svět“**



Meopta - optika, s. r. o.

Kabelíkova 1, 750 02 Přerov

tel.: + 420 581 241 111, fax: +420 581 242 222

meopta@meopta.com, www.meopta.com

AMPER 2009

17. mezinárodní veletrh elektrotechniky a elektroniky

31. 3. - 3. 4. 2009
PVA Letňany - Praha

- elektronické prvky a moduly
- zařízení pro výrobu a rozvod elektrické energie
- elektroinstalační technika
- vodiče a kabely
- pohony a výkonová elektronika
- měřicí a zkušební technika
- automatizační, řídicí a regulační technika
- osvětlovací technika
- elektrotepelná technika
- zabezpečovací technika a systémová technika budov
- telekomunikace
- síťové služby
- radiokomunikační technika
- výpočetní technika
- zvuková a obrazová technika
- stroje, zařízení, nářadí a pomůcky v oboru
- odborné časopisy, portály a literatura

www.amper.cz

future just now