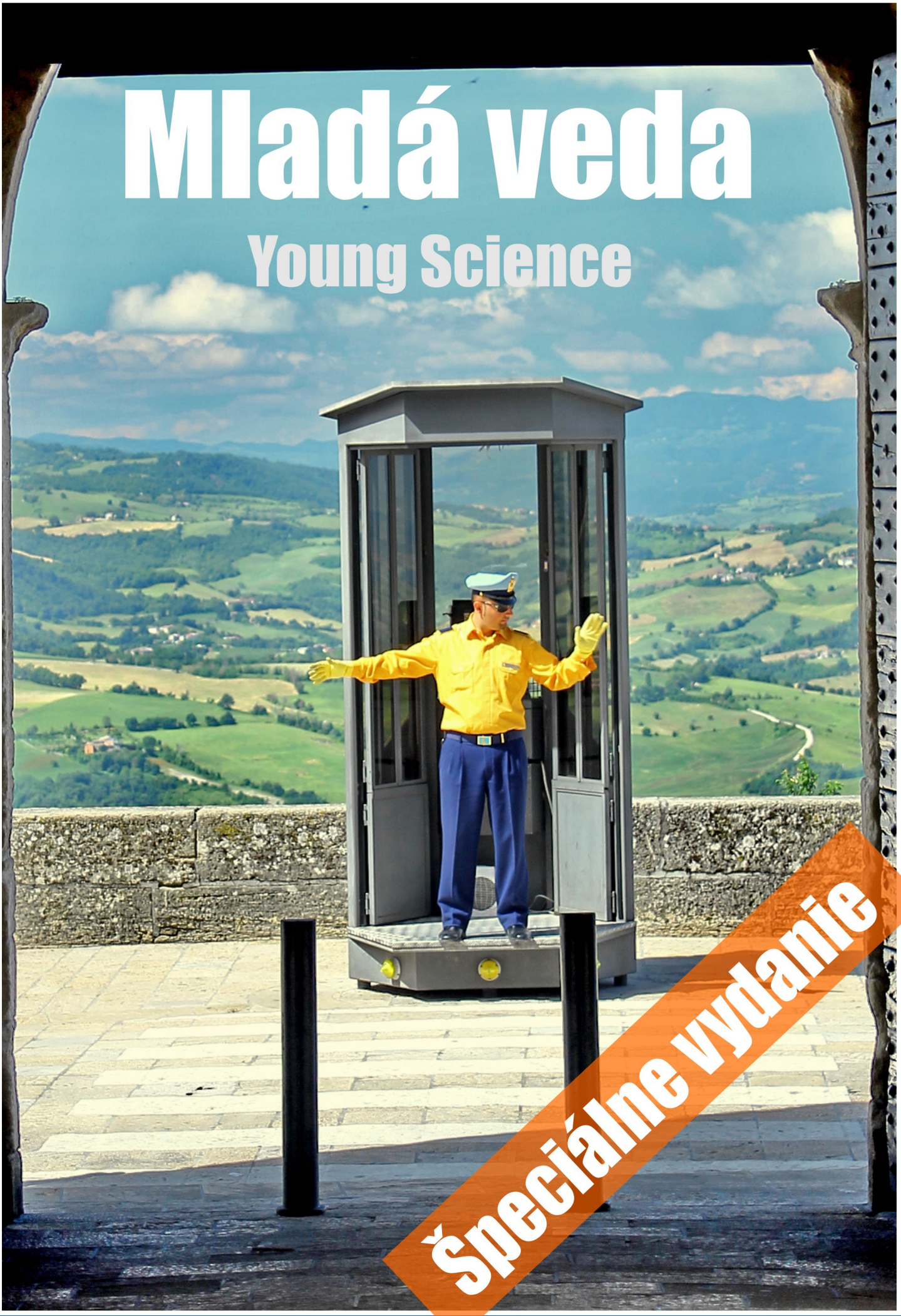
ISSN 1339-3189

7/2017

Mladá veda

Young Science



Špeciálne vydanie

www.mladaveda.sk

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 7, ročník 5., vydané v novembri 2017
ISSN 1339-3189
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: San Marino. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA

doc. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc.,predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA

PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)
Mgr. Martin Hajduk (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)
Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 5 (7), pp. 25-29

EKONOMICKÉ ASPEKTY NÁKLADOV PRI DELENÍ VODNÝM LÚČOM

ECONOMIC ASPECTS OF COST OF DIVIDE MATERIAL WITH WATERJET TECHNOLOGY

Ján Kmec[1]

Ján Kmec pôsobí ako vedúci katedry strojírenství na VŠTE České Budějovice. Vo svojom výskume sa venuje problematike progresívnych technológií.

Jan Kmec is the head of the Department of Mechanical Engineering at VŠTE České Budějovice. In his research he focuses on progressive technology.

Abstract
Waterjet cutting technology represents a new approach of shape cutting of various materials, under conditions of cold cut without influencing the material on the cutting edge.
Key words: Waterjet cutting technology, cold cut, all materials

Abstrakt
Technológia rezania vodným lúčom predstavuje nové prístupy tvarového rezania a delenia rôznych materiálov pri studenom reze bez tepelného ovplyvnenia materiálu na reznej ploche.
Kľúčové slová: Technológia rezania vodným lúčom, studený rez, všetky materiály

Ekonomické aspekty – modelovanie nákladov rezania.
Technológia vodný lúč predstavuje vysokovýkonné rezanie skutočne všetkých druhov materiálov.

V každej priemyselnej aplikácii by sa mal uskutočniť výber parametrov rezania s AVL s ohľadom na prevádzkové náklady (t.j. tie parametre, pomocou ktorých by sa mohol materiál rezať s predpísanou presnosťou a kvalitou povrchu na reznej hrane pri minimálnych možných prevádzkových nákladoch).

Nákladová funkcia by mala brať do úvahy iba hlavné variabilné náklady takýmto spôsobom:

$$C = CA + CW + CE + CU + CH \quad [Sk/mm] \quad (1)$$

Kde

CA náklady na spotrebu abrazívneho materiálu
CW náklady na úpravu a spotrebu vody
CE náklady na energiu

[1] Adresa pracoviska: doc. Ing. Ján Kmec, CSc., Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 37 001 České Budějovice
E-mail: kmec@mail.vstecb.cz

CU náklady na hlavné a zaostrovacie dýzy
CH ostatné nepriame variabilné náklady (mzdové náklady, plánovaná údržba, amortizácia atď).

Náklady na spotrebu abrazívneho materiálu sa môžu vyjadriť veľmi jednoducho vo funkcii technologických parametrov, pretože to závisí priamo od nich:

$$CA = c_a \frac{\dot{m}_p}{v} \quad [Sk/mm] \qquad (1a)$$

kde

v	priečna rýchlosť	[mm/min]
m_p	hmotnostný prietok abrazívneho materiálu	[g/min]
c_a	náklady na hmotnostnú jednotku abrazívneho materiálu (vrátane likvidácie)	[Sk/g]

Podobne aj *náklady na spotrebu vody* možno určiť zo

$$CW = c_v \frac{Q_w}{v} \qquad (1b)$$

kde

c_v	náklady na objemovú jednotku vody (vrátane filtrácie a/alebo demineralizácie)	[Sk/mm^2]
Q_w	prietok vody	[mm^3/min]

Keďže $Q_w = v_w \cdot S_n$, kde S_n je rez hlavnou dýzou a v_w je rýchlosť vody v prúde, daná z približnej Bernoulliho rovnice:

$$v_w = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$,kde p je tlak vody a ρ je hustota vody.

Spotrebu vody možno zapísať nasledovne:

$$\boldsymbol{CW = c_v \cdot \frac{Q_w}{v} = c_v \cdot \frac{v_w \cdot S_n}{v} = c_v \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot S_n \cdot \frac{\sqrt{p}}{v} = c_v \cdot \frac{\sqrt{p}}{v}} \quad [Sk/mm] \qquad (1c)$$

kde

$$\boldsymbol{C_w = c_v \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot S_n}$$

Náklady na energiu sa vypočítajú takto:

$$\boldsymbol{CE = c_p \cdot \frac{Q_q \cdot p}{v \cdot \eta} = c_p \cdot \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot S_n}{\eta} \cdot \frac{\sqrt{p} \cdot p}{v} = c_e} [Sk/mm] \qquad (1d)$$

Kde
c_p sú náklady na energetickú jednotku [Sk/kWh]
η je účinnosť zosilňovača [-]
a

$$c_e = c_p \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot S_n}{\eta}$$

Náklady na dýzu a zaostrovač sa môžu vyjadriť pomocou ich životnosti, ktorá závisí od parametrov rezania, hlavne tlaku vody *p* a hmotnostného toku abrazívneho materiálu m_p, avšak kompletné vyhodnotenie účinku technologických parametrov na opotrebovanie dýz nie je ešte k dispozícii. Takže náklady na dýzu a zaostrovač možno vyjadriť pomocou proporcionálnej priemernej životnosti usúvzťažnenej k danej operácii, t.j.:

$$CU = \left(\frac{c_n}{t_n} + \frac{c_f}{t_f}\right) \cdot \frac{1}{v} = c_u \cdot \frac{1}{v} \text{[Sk/min]} \quad (1e)$$

Kde
c_n a s_f sú náklady na vodnú dýzu a zaostrovaciu rúrku [Sk]
t_n a t_f predstavujú priemernú životnosť vodnej dýzy a zaostrovacej rúrky [min]
c_u sú priemerné celkové náklady na spotrebu dýz a zaostrovačov na min. [Sk/min]

Ostatné nepriame variabilné náklady(mzdové náklady, plánovaná údržba, amortizácia atď) sú úmerné iba prevádzkovej dobe, takže je ich možno vyjadriť nasledovne:

$$CH = \frac{c_h}{v} \quad (1f)$$

Kde c_h zahŕňa všetky nákladové položky úmerné prevádzkovej dobe [Sk/min]
Z uvedeného vyplýva, že *objektívna funkcia* je:

$$C = c_a \cdot \frac{m_p}{v} + c_w \cdot \frac{\sqrt{p}}{v} + c_e \cdot \frac{\sqrt{p^{š}}}{v} + (c_u + c_h) \cdot \frac{1}{v} \quad (2)$$

Obmedzenia, ktoré vyplývajú z praktických úvah, tiež možno vyjadriť:
$v_{min} \leq v \leq v_{max}$ $v_{max} = \min(v_{max1}, v_{max2....})$; $v_{min} = \max(v_{min1}, v_{min2....})$

kde: v_{max}, $v_{max2....}$,v_{min1}, v_{min2} sú možné maximálne a minimálne hodnoty priečnej rýchlosti z rôznych hľadísk, napr. experimentálny rozsah parametrov, možnosť manipulačného systému alebo z hľadiska požadovanej úrovne produktivity atď. Podobne platí:

$p_{min} \leq p \leq p_{max}$ $p_{max} = \min(p_{max1}, p_{max2....})$; $p_{min} = \max(p_{min1}, p_{min2....})$

$m_{pmin} \leq m_p \leq m_{pmax}$ $m_{pmax} = \min(m_{pmax1}, m_{pmax2....})$; $m_{pmin} = \max(m_{pmin1}, m_{pmin2....})$

Pre analytické určenie možných relatívnych alebo absolútnych minimálnych hodnôt treba brať do úvahy nasledujúci systém rovníc:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C}{\partial v} = 0; & \dfrac{\partial C}{\partial v} = -\dfrac{1}{v^2}\left(c_w\sqrt{p} + c_e\sqrt{p^3} + c_u + c_h\right) = 0 \\ \dfrac{\partial C}{\partial m_p} = 0; & \dfrac{\partial C}{\partial m_p} = -\dfrac{c_a}{v} = 0 \\ \dfrac{\partial C}{\partial p} = 0; & \dfrac{\partial C}{\partial p} = +\dfrac{1}{v}\left(\dfrac{c_w}{2\sqrt{p}} - \dfrac{3c_e\sqrt{p}}{2}\right) \end{cases} \tag{3}$$

Keďže (2) je monotónna funkcia, štúdium parciálnych derivácií druhého rádu nám umožní lokalizovať spodné viazané body iba na hranici uvažovanej domény. Ďalej treba mať na pamäti obmedzenie z hľadiska kvality povrchu.

Reakcia materiálu na parametre rezania sa dá lepšie vysvetliť pomocou relatívnej hĺbky merania než pomocou absolútnej hĺbky. Relatívna hĺbka rezania k_r sa definuje ako pomer medzi hĺbkou rezania a maximálnou teoretickou hĺbkou penetrácie lúča (k_{meas}/k_{max}). Z toho vyplývajú významné výhody: napríklad, ak k_r je menšie než 10%, priemer R_a zostáva takmer konštantný a nezávisí od uvažovaných riadiacich premenných. Skutočná priemerná hodnota R_a vnútri tohto rozsahu výrazne závisí od veľkosti zrna a od podmienok prietoku. Pri vyšších k_r hodnotách drsnosť rastie exponenciálne .

Vychádzajúc z experimentálnych výsledkov v zahraničí a v rámci vlastných experimentov sa definovali jednoduché modely z hľadiska maximálnej hĺbky rezu a drsnosti povrchu. Keďže ide o technologické modely, platia iba v rámci uvažovaných parametrických úrovní, ktoré predstavujú typické priemyselné podmienky.

Modely sú založené na modifikácii v závislosti k_{max} na p; v na m_p a nie na veľkosti zrna abrazívneho materiálu.

$$k_r = \frac{k^*_{meas}}{A.\dfrac{p^B.\dot{m}^C_p}{v^D}} \qquad R^*_a = \alpha\,\frac{\left(\beta\left(\dfrac{v}{m_p}\right)^{\delta}\right)^{k_r}}{\#^{\gamma}} \tag{4}$$

Pomocou rovníc (Modelu max. hĺbky rezu, Modelu drsnosti povrchu a Modelu nákladovej funkcie) je možné získať súbor ekonomických parametrov pre priamy rez AVL s určitou drsnosťou (R^*_a) pri zvolenej vzdialenosti (k^*_{meas}) od horného čela rezu nasledujúcim spôsobom:

$$\min\left(C = c_a. + c_w.\frac{\dot{m}_p}{v} + c_e.\frac{\sqrt{p}}{v} + (c_u + c_h)\frac{\sqrt{p}^3}{v} \qquad \frac{1}{v}\right) \tag{5}$$

Kde to platí, je možné získať riešenie numericky pomocou softwaru pre obmedzenú optimalizáciu. Ak napríklad predpokladáme, že drsnosť R^*_a = 6μm je potrebná pri k^*_{max} = 8 mm pri 10 mm hrubej nehrdzavejúcej oceli AISI 304, potom pri použití softwaru ako optimalizačného nástroja je súbor parametrov, ktoré minimalizujú náklady na obrábanie, nasledujúci:

P=350 Mpa; v = 120 mm/min m_p = 232 g/min B.G. #120

Pochopiteľne, riešenie závisí od hodnôt priradených nákladových koeficientov (c_a, c_w, c_e atď.). Vzhľadom na relatívnu jednoduchosť problému dobré výsledky je možné dosiahnuť aj pomocou bežnejších nástrojov, ako napríklad riešiteľská funkcia počítačového programu.

Záver

Tento príspevok sa venuje problému modelovania ekonomických parametrov pre obrábanie s AVL. Použila sa funkcia približných nákladov s minimalizáciou obmedzení s cieľom stanoviť optimálne prevádzkové podmienky.

Takýto prístup, vhodne aplikovaný aj na iné materiály, by sa mohol zakomponovať do softwarového modulu na prognózovanie prevádzkových nákladov rezania a špecifikáciu optimálneho súboru technologických parametrov (p, v, m_p, #) pre potreby koncových užívateľov a zvýšenie konkurencieschopnosti technológie na báze abrazívneho vodného lúča.

Je potrebné ešte pracovať na lepšom vyjadrení nákladovej funkcie, aby sa realistickejšie zohľadnila korelácia medzi technologickými parametrami a mierou opotrebovania vodných dýz, abrazívnych dýz a komponentov rezacieho systému. Zároveň je potrebné overiť navrhované empirické modely na rôznych materiáloch.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda: Ing. Daniel Kučerka, PhD.

Použitá literatúra

1. Vasilko K., a J. Kmec. *Delenie materiálu*. DATAPRESS Prešov, Prešov 2003, 232 st.
2. Fabian S., a S. Hloch. *Abrasive waterjet process factors influence on stainless steel AISI 304 Macrogeometrical cutting duality*. SCIENTIFIC BULLETIN, Volume XIX, NORTH UNIVERSITY OF BAIA MARE 2005, pp. 261-266. Romania. ISSN 1224-3264.
3. Hloch S., a S. Fabian. *Modeling of abrasive waterjet cutting process by means of fullFactorial design*. In.: The 47 th Conference on Simulation and Modeling. Helsinki. September 2006, Suomi.
4. Plančár, Š. a J. Kmec. *Rezná plocha pri delení vodným lúčom*. Medzinárodná vedecká konferencia. Funkčné povrchy 2007. Trenčín 2007.
5. Kolektív autorov. *Jetting Technology*. Zborník 15 Medzinárodnej konferencie Ronneby Švedsko, 2000. ISBN 1 86058 253 2.