



KATEGÓRIE FAKTOROV VPLYVAJÚCICH NA HYDROERÓZIU

CATEGORIES OF PARAMETERS INFLUENCED ON HYDROEROSION

Ján KMEC - Lýdia SOBOTOVÁ- Ľuba BIČEJOVÁ

Abstract

Water jet cutting technology presents new accesses of shape cutting and various material separations at cold cut without heat influence to material on cutting edge.

Key words

Water jet cutting technology, cold cut, material

Úvod

Technológia vodný lúč je zložitý hydrodynamický proces pri ultravysokých tlakoch, ktorý sa môže v súčasnosti charakterizovať ako oblasť lúčových technológií. Samotný proces si vyžaduje čo najefektívnejšie a najekonomickejšie využitie energie vodného lúča, pričom priamo súvisí s najvhodnejším určením výrobo-technologických parametrov lúča kvapaliny, pri rešpektovaní základných fyzikálnych vlastností kvapaliny ako rezacieho média a rešpektovaní hydrodynamických zákonov.

Faktory vplyvajúce priamo i nepriamo na povrch erózie, môžeme formulovať do troch kategórií a následne konkrétne identifikovať, a to :

1. Faktory základných fyzikálnych vlastností a hydrodynamické zákonitosti kvapalín.
2. Technické faktory vplyvajúce na hydroerózný výrobný proces.
3. Technologické faktory vplyvajúce na hydroerózný povrch rezu.

1. Faktory základných fyzikálnych vlastností a hydrodynamické zákonitosti kvapalín

Z hľadiska podstaty technologického procesu vysokotlakového vodného lúča, rozvíjajú sa ďalšie lúčové technologické metódy, využívajúce oblasť hlavne ultravysokých tlakov, na báze fyzikálnych vlastností a hydrodynamických zákonitosti. Za základné fyzikálne vlastnosti a hydrodynamické zákonitosti kvapalín používané v hydraulických procesoch, významné pre hydrodynamické procesy lúčových technológií, možno predovšetkým identifikovať :

- a) Fyzikálne vlastnosti, a to: hustota kvapaliny, viskozita kvapaliny, stlačiteľnosť reálnych kvapalín, rozťažnosť kvapalín,
- b) Hydrodynamické zákonitosti, a to : základné hydrodynamické rovnice, šírenie tlakových zmien – rýchlosť šírenia, vodný ráz - Žukovského veta, tok reálnych kvapalín – charakter toku.

Z hľadiska hydrodynamických procesov, všeobecne hovoríme o disperzných alebo heterogénnych sústavách. V bežnej spotrebnej a priemyselnej praxi sú pre disperzné sústavy, vzniknuté rôznymi kombináciami fáz, zaužívané obvyklé označenia podľa tab.1.



Tab. 1 Kombinácie disperzných sústav prostredia

Skupenstvo disperzného prostredia	Skupenstvo dispergovanej fázy prostredia	Disperzná sústava
kvapalina	pevná fáza	suspenzia
kvapalina	kvapalná fáza	emulzia
kvapalina	plynná fáza	pena
plyn	pevná fáza	prach, dym
plyn	kvapalná fáza	hmla

a) Fyzikálne vlastnosti

Hustota kvapaliny

Hustota kvapaliny - tekutiny (merná hmotnosť) ρ [kg.m⁻³] sa pre homogénne tekutiny dá vyjadriť vzťahom :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (1.1)$$

kde: m [kg] je hmotnosť tekutiny, V [m³] je objem.

Hustota vody, ktorá je bez prítomnosti vzduchu, sa mení s teplotou a dosahuje maximum pri teplote +3,98 °C a pri tlaku 101 324,72 Pa. Nové maximum hustoty vody sa pri inom tlaku presúva na inú hodnotu teploty.

Viskozita kvapaliny

Viskozitu kvapaliny možno charakterizovať ako vnútorný odpor tekutiny proti šmykovej deformácii. Dynamická viskozita η [Pa.s] je identifikovaná podielom dotykového napätia τ [Pa] a príslušného gradientu rýchlosti (dc/dy) [s⁻¹], pri laminárnom prúde, kde y je premenlivá vzdialenosť od steny [m]. Definuje sa :

$$\eta = \frac{\tau}{dc/dy} \quad (1.2)$$

Viskozita v každom prípade patrí medzi najvýznamnejšie fyzikálne vlastnosti reálnych kvapalín.

Stlačiteľnosť reálnych kvapalín

Schopnosť reálnych kvapalín zmenšovať svoj objem pri zväčšovaní vonkajšieho tlaku definujeme ako stlačiteľnosť kvapalín. V skutočnosti sú všetky reálne kvapaliny stlačiteľné. Pri malých tlakových zmenách sa nemôžu objemové zmeny ani prakticky merať. Ak však pracujeme s kvapalinou pri relatívne vysokých tlakoch, môžeme so stlačiteľnosťou počítať. S rastúcim tlakom sa objem kvapaliny znižuje.

Pre výpočet sa používajú experimentálne hodnoty súčiniteľa stlačiteľnosti β_p [Pa⁻¹] pri zmenšení objemu V o ΔV a pri konštantnej teplote, potom platí :

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right)_T \quad (1.3)$$

Súčiniteľ stlačiteľnosti je potom definovaný ako podiel pomerného zmenšenia objemu k prírastku tlaku Δp , ktorý ho spôsobil. Rôzne kvapaliny charakterizované hustotou ρ [kg.m⁻³] a súčiniteľom stlačiteľnosti β_p sú uvedené v tab. 2.



Tab. 2 Hustota a súčiniteľ stlačiteľnosti kvapalín

<i>Kvapalina</i>	olej	voda	glycerín	ortuť
ρ [kg.m ⁻³]	900	1 000	1 220	13 650
β 10 ¹¹ [Pa ⁻¹]	73	50	20	4

Rozťažnosť kvapalín

Rozťažnosť kvapalín - tekutín spôsobujú zmeny teploty. Kvapaliny zahrievaním naberajú na objeme a ochladzovaním sa ich objem znižuje. Relatívnu zmenu objemu môžeme definovať podobným spôsobom ako pri stlačiteľnosti kvapalín, odkiaľ platí, že β_T [K⁻¹] je súčiniteľ teplotnej rozťažnosti :

$$\beta_T = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_p \quad (1.4)$$

Konkrétne hodnoty súčiniteľa teplotnej rozťažnosti, pre rôzne kvapaliny a skvapalnené plyny, sú tabuľkovo spracované.

b) Hydrodynamické zákonitosti

Základné hydrodynamické rovnice

Hydrodynamika skúma kvapalinu - tekutinu v pohybe. Takže priamym dôsledkom pohybu kvapaliny je zmena dráhy, rýchlosti a zrýchlenie častíc kvapaliny vo zvolených bodoch v priestore a v určitých časových intervaloch. V technickej praxi spravidla sledujeme prúdenie kvapaliny v určitých obmedzených objemoch a konečných prierezoch .

Objemový prietok $\dot{V}$ je objem kvapaliny dV [m³], ktorá pretečie prietokovým prierezom za jednotku času dt [s⁻¹]

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.5)$$

Hmotnostný prietok $\dot{m}$ je hmotnosť kvapaliny dm [kg], ktorá pretečie prietokovým prierezom za čas dt [s⁻¹]

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.6)$$

Prietokový prierez A [m²], tiež aj ako plocha, je plošný obsah rezu prúdom kvapaliny, ktorý v každom bode je kolmý k vektoru rýchlosti. Ak vieme definovať prietokový prierez, potom môžeme definovať aj strednú rýchlosť v danom priereze $\bar{c}$:

Stredná prierezová rýchlosť $\bar{c}$ [m.s⁻¹]

$$\bar{c} = \frac{1}{A} \int_A c dA \quad (1.7)$$

kde : c je hodnota okamžitej miestnej rýchlosti v ľubovoľnom bode prierezu dA .

Sústavu základných hydrodynamických rovníc, aplikovaných v technológií vodný lúč, predstavujú podľa :

- Rovnice kontinuity.
- Pohybové rovnice.
- Rovnica o zachovaní energie.



Rovnice kontinuity

Rovnicou kontinuity – sa môže pre ustálený stav definovať ako látková bilancia kvapaliny prúdiacej prietokovou trubicou s prierezom A, napr. ako medzikružie s polomermi r a $r + dr$, pričom do sledovanej prúdovej trubice vstúpi hmota m :

$$m = A \bar{c} \rho dt \quad (1.8)$$

kde : $A [m^2]$ je prietokový prierez,
 $\rho [kg.m^{-3}]$ je hustota pretekajúcej tekutiny,
 $dt [s]$ je časový úsek,
 $\bar{c}$ je už definovaná stredná prierezová rýchlosť

Najvšeobecnejší prípad nastane vtedy, keď pozdĺž úseku dx sa mení okrem prierezu aj hustota ρ (napr. stlačiteľné médium). V takom prípade platí :

$$\frac{d(\rho \dot{V})}{dx} = \frac{dm}{dx} = 0 \Rightarrow \dot{m} = \text{konšt} \quad (1.9)$$

Pohybové rovnice

Pohybové rovnice – pre ich odvodenie budeme vychádzať zo základnej Newtonovej rovnice vo všeobecnom tvare :

$$F = m.a \quad (1.10)$$

kde F je súčet všetkých síl pôsobiacich na sledovaný element tekutiny o hmote m , pohybujúci sa so zrýchlením $a [m.s^{-2}]$.

Pokiaľ budeme uvažovať konkrétnu kvapalinu newtonovského charakteru, pre ktorú platí výpočet šmykového napätia :

$$\tau = \eta \frac{dc}{dr} \quad (1.11)$$

Pri uvedených podmienkach, je významné, že strata tlaku je priamo úmerná dĺžke sledovaného úseku a je nepriamo úmerná rozmeru, ktorý charakterizuje prietokový prierez.

Rovnica o zachovaní energie – Bernoulliho rovnica

Rovnica o zachovaní energie - Bernoulliho rovnica - pri riešení praktických prípadov sa veľmi často vychádza z bilancie energií, ktorú najvýstižnejšie vyjadruje Bernoulliho rovnica. Pre ideálnu - nestlačiteľnú kvapalinu platí Bernoulliho rovnica v tvare :

$$\frac{\bar{c}^2}{2g} + \frac{p}{\rho \cdot g} + z = \text{konšt} \quad (1.12)$$

kde: prvý prvok predstavuje kinetickú energiu v prúdovej trubici,
druhý prvok tlakovú energiu,
tretí potenciálnu energiu.

Rýchlosť šírenia tlakových zmien

Vzhľadom na to, že prostredie, ktoré sa nachádza v priemyselných aparátoch je vždy stlačiteľné, bude mať konečnú rýchlosť aj šírenie tlakových zmien. Keď uvažujeme, že tlakové zmeny podrobíme časticu tekutiny o hmotnosti m , ktoré sa rovnajú konštante, potom platí :

$$m = V\rho = \text{konšt} \quad (1.13)$$

Pre zmeny hybnosti hmoty dm v čase dt bude platiť, že impulz sily bude rovný hybnosti hmoty, ktorý možno zapísať :

$$F \cdot dt = dm \cdot c \quad (1.14)$$



Ak uvažujeme, že $1/\beta_p = k$, ktoré je už skôr odvodený modul pružnosti sledovanej tekutiny a ak ho dosadíme do odvodennej rovnice, pričom hodnoty β_p a ρ pre vodu budeme uvažovať pri teplote 20°C , potom dostaneme hodnotu rýchlosti postupne sa šíriacich zmien :

$$c_* \cong 1,45 \cdot 10^3 \text{ [m.s}^{-1}\text{]} \quad (1.15)$$

Táto hodnota odpovedá rýchlosti šírenia zvuku v danom prostredí. Prvý krát bola táto hodnota experimentálne stanovená v Ženevskom jazere v roku 1827, keď pre vodu o teplote $8,1^\circ\text{C}$, bolo nameraná hodnota $c_* = 1\,435 \text{ m/s}$.

Vodný ráz - Žukovského veta

Ďalej predpokladajme platnosť zákona o zachovaní energie, to znamená, že nedochádza k žiadnej disipácii mechanickej energie.

Pri prúdení vody, podľa určitých podmienok, nastane pri totálnom ráze vzostup tlaku, ktorý môžeme charakterizovať výškou stĺpca kvapaliny :

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{\bar{c} \cdot c_*}{g} = 100 \cdot \bar{c} \quad (1.16)$$

Rázom v potrubí rozumieme tlakovú zmenu, ktorá je vyvolaná prúdiacou kvapalinou pri náhlej zmene prietoku, alebo pri úplnom uzatvorení prietokového prierezu.

Charakter toku reálnych tekutín

Prúdenie kvapaliny, s ktorým sa stretávame v bežnej praxi, môže byť laminárne alebo turbulentné. Laminárne prúdenie tekutiny je charakterizované pohybom častíc tekutiny v hladkých, navzájom súbežných vrstvách. Turbulentné prúdenie sa charakterizuje náhodnosťou tak, že rýchlosť tekutiny i ostatné veličiny na nej závislé sa menia nepravidelne a pohyb častíc je náhodný. Pri prúdení dochádza k pohybu celých makročastíc. Pre hodnotu okamžitej miestnej rýchlosti c možno ju zapísať :

$$c = \bar{c} + c' \quad (1.17)$$

kde $\bar{c}$ je stredná hodnota rýchlosti, spriemerovaná pre časový interval, ktorý je dostatočne veľký, ale dostatočne malý k zmenám tlakového spádu, ktorý vyvoláva prúdenie.

c' je fluktuačná zložka, tzv. fluktuácia rýchlosti

2. Technické faktory vplývajúce na hydroerózný výrobný proces

Obsahuje súhrnný prehľad technických faktorov v závislosti od modelu vysokotlakového čerpadla, napríklad čerpadlo 50 Hp, konkrétne Streamline SL-V, ktoré je najrozšírenejším čerpadlom. Tieto parametre a ich predpísané dimenzovanie – nastavenie, pomerne zásadne vplýva na rovnomernosť chodu technologického procesu a jeho vplyvu na povrch erózie.

2.1 Faktory základné výkonové

- Model čerpadla – model, výkon motora, max. prevádzkový tlak, max. prietok,
- Úroveň hluku – model, hladina hluku [dB(A)],

2.2 Faktory prostredia

- Okolité prostredie
- Okolitá teplota

2.3 Faktory špecifikácie vody

- Faktory prívodu rezacej vody - Sústava nízkotlakovej vody
- Faktory prívodu chladiacej vody (Recirkulačná sústava)
- Faktory kvality vody - požiadavky na hodnoty látok



Kvalita privádzanej rezacej vody je jedným z najdôležitejších faktorov, ovplyvňujúcich výkon a životnosť súčiastok vysokotlakového čerpadla. Podľa analýzy vody môžu byť stanovené požiadavky na jej úpravu. Vysoká koncentrácia rozpustených pevných látok, obzvlášť vápnika, kremičitanu a chloridov, má negatívny dopad na životnosť vysokotlakových súčastí.

2.4 Faktory hydraulikkej sústavy a sústavy vysokotlakovej vody

- Hydraulická sústava
- Pneumatický ovládací ventil
- Sústava vysokotlakovej vody
- Maximálny prietok

2.5 Faktory výberu vodných a abrazívnych trysiek

- Doporučený vnútorný priemer otvoru u vodných trysiek
- Doporučené kombinácie veľkostí vodnej a abrazívnej – fokusačnej trysky
- Výber vodnej trysky podľa výkonu motora a tlaku čerpadla
- Faktory počtu vodných trysiek podľa výkonu čerpadla pri prevádzke

3. Technologické faktory vplyvajúce na hydroerózný povrch rezu

Analýza technologických faktorov vo vzťahu vplyvu na povrch erózie, predstavuje dimenzovanie optimálnych hodnôt, ktoré zásadne kvalitatívne vplyvajú na povrch erózie. Jednotlivé okruhy faktorov je vhodné členiť v nasledovnej štruktúre keď uvažujeme o tom, že budeme používať najviac rozšírené vysokotlakové čerpadlo SL-V 50 Hp :

3.1 Faktory výkonovo – prevádzkové

- výkon vysokotlakového čerpadla : výkon elektromotora – 50 Hp ,množstvo vysokotlakovej vody za minútu - 3,8 l/min , max. pracovný tlak – 410 MPa
- výkon chladiča pre chladienia oleja vysokotlakového čerpadla – 9 kW
- vstupná voda : rezacia voda – min. prítok 15,1 l/min.
 - min. vstupný tlak 2,4 bar dynamický
 - max. vstupný tlak 6,9 bar
- chladiaca voda – min. prítok 9,5 l/min.
 - min. vstupný tlak 2,4 bar
- tlak vzduchu – 5,5 až 6,9 bar

3.2 Faktory technologicko - vstupné

- Hydraulické: tlak kvapaliny, (určuje, koľko je schopné čerpadlo vyrobiť vysokotlakovej vody/min.), priemer vodnej trysky v mm. (Priemer vodnej trysky stanovuje prietok vysokotlakovej vody/min..), vnútorný priemer abrazívnej trysky v mm. Určuje maximálny prietok abrazíva vo vzťahu k priemeru vodnej trysky.)
- Abrazívum: druh abrazíva (Jednotlivé druhy abrazív určujú hlavne ich tvrdosť a oteru vzdornosť.), zrnitosť abrazíva v MESH. (Vplyva hlavne na kvalitu rezu pri danom druhu materiálu.). Hmotnostný tok (gramáž) abrazíva v g/min. (Podstatne ovplyvňuje rýchlosť a kvalitu rezu a radu ďalších parametrov.)
- Materiál: druh materiálu. (Jedná sa o základný druh materiálu, jeho chemické zloženie a vlastnosti.), hrúbka materiálu v mm. (Hrúbka materiálu ovplyvňuje hĺbku a kvalitu rezu.), povrchová úprava materiálu. (Povrchová úprava rezaného materiálu ovplyvňuje tlak pri prestrele, rýchlosť rezu, uhol dopadu lúča na materiál.)



3.3 Faktory technologicko – výrobné

- **Priamo regulačné**
 - Regulácia reznej rýchlosti
(možno dosiahnuť dobrú kvalitu rezu po celej hrúbke materiálu),
 - Regulácia tlaku kvapaliny
(možno dosiahnuť zvýšenie výroby vysokotlakovej vody za minútu),
 - Regulácia zmeny pomerov priemeru vodnej trysky k abrazívnej tryske
(možno dosiahnuť zvýšenie prietoku suspenzie cez abrazívnu trysku)
 - Regulácia hmotnostného toku abrazíva
(avšak len po hodnotu kritického množstva abrazíva),
 - Dynamická stabilita lúča
(rovnomernosť dodávania abrazíva, pulzácia tlaku vstupnej vody a pod.)
 - Zdvih trysky nad materiálom v mm.
(Výška trysky nad materiálom ovplyvňuje hlavne kvalitu rezu, šírku reznej špáry, hĺbku rezu, čas priestrelu, ostrosť hrany rezu, vejárovitosť spodnej hrany rezu a celkovú dynamickú stabilitu lúča.)
 - Uhol dopadu lúča na materiál v stupňoch.
(Za optimálny sa považuje kolmý uhol dopadu lúča na materiál. Uhol dopadu ovplyvňuje hĺbku a kvalitu rezu.)
 - Počet prechodov lúča – využíva sa veľmi ojedinele.
(Počet prechodov lúča môže zväčšiť hrúbku rezaného materiálu, ale hlavne môže podstatne eliminovať vejárovitosť spodnej časti reznej hrany.)
- **Nepriamo regulačné**
 - Šírka reznej špáry
(na jej šírku vplývajú všetky kvalitatívne parametre),
 - Hĺbka rezu
(závisí od rýchlosti rezu, prietoku vysokotlakovej vody a gramáže abrazíva),
 - Čas priestrelu materiálu
(závisí od tlaku, prietoku vysokotlakovej vody a gramáže abrazíva)
 - Druh abrazíva
(v závislosti od tvrdosti abrazíva možno ovplyvniť kvalitu rezu)
 - Smer rezu
(pri lineárnej interpolácii možno ovplyvniť rýchlosť rezu a pri kruhovej interpolácii možno ovplyvniť rýchlosť rezu a kvalitu rezu)

3.4 Faktory výrobné kvalitatívne – výstupné

- Meranie kvality rozmerovej presnosti výrobku
(kontrola rozmerovej presnosti sa spravidla vykonáva digitálnym meradlom)
- Meranie kvality reznej hrany – drsnosť povrchu rezu
(pomocou drsnomeru sa vykonáva meranie drsnosti povrchu reznej hrany, väčšinou v strede reznej hrany, alebo podľa metodicky definovaných zón merania, ktoré rozdeľujú celý povrch reznej hrany na niekoľko zón)
- Uholovitost reznej hrany
(uhlovitosť možno merať uhlovým meradlom)
- Opatrebnosť – ostrosť hornej eróznej hrany pri vstupe lúča do materiálu



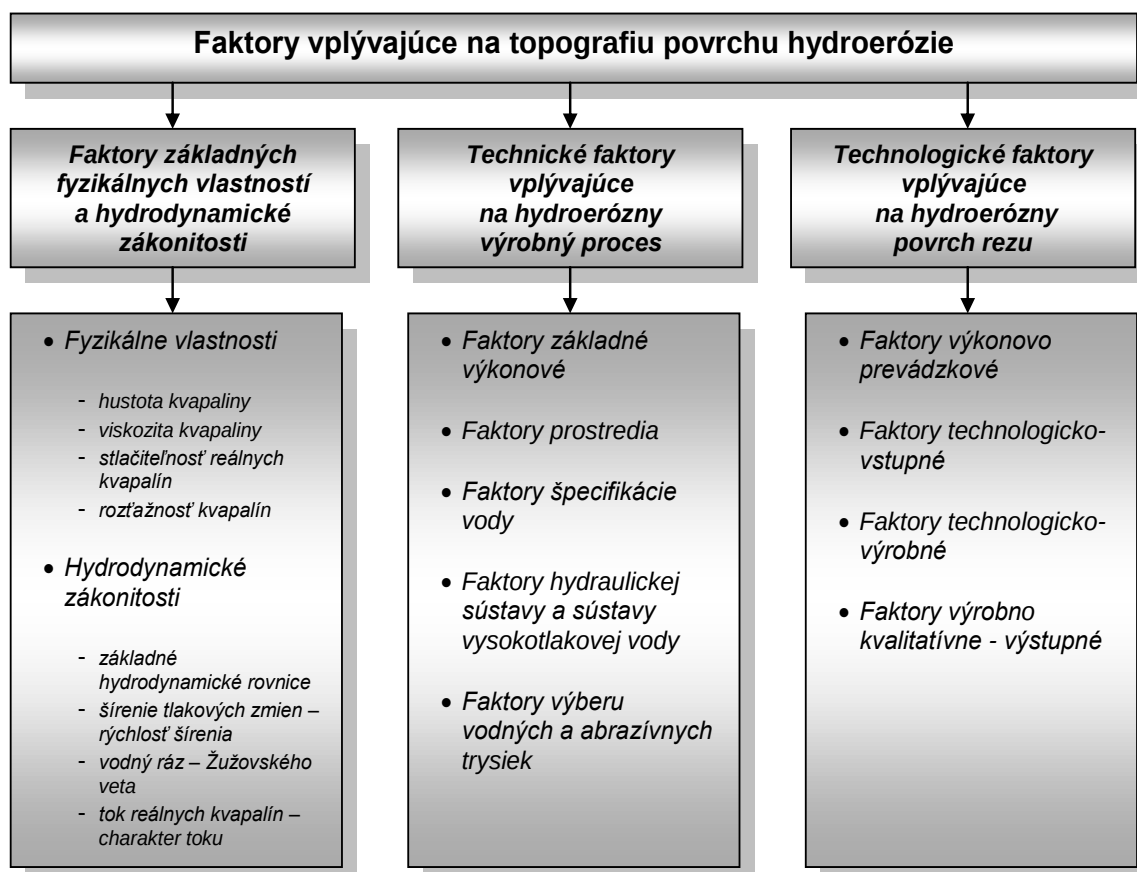
(na ostrosť hrany pri vstupe lúča do materiálu vplýva kvalitná fokusácia suspenzie vody a abrazíva v abrazívnej fokusačnej tryske)

- Rozdiel vstupu a výstupu lúča z materiálu
(Tento rozdiel možno eliminovať správnym nastavením technologických rezných parametrov rezania a vstupných výrobných – technologických parametrov. V samotnom materiáli medzi vstupom a výstupom lúča vytvára ohnutie lúča v oblasti druhej tretiny materiálu.)
- Vejárovitosť spodnej časti reznej hrany
(V spodnej časti materiálu na reznej hrane vejárovitosť spôsobuje dynamická nestabilita lúča. Vejárovitosť spôsobuje nie len rozdiel vstupu a výstupu lúča z materiálu, ale aj rovnaký vstup a výstup lúča z materiálu.)
- Kvalita odpadovej vody
(Praxou potvrdené sedimentačné kaskády na čistenie odpadovej vody v štyroch stupňoch.)

Tieto faktory môžeme považovať za základné, ktoré predstavujú kvalitatívny rozsah hodnotenia výsledku topografie reznej plochy, vytvorenej hydroeróziou.

5. Súhrnné zhodnotenie

Celý komplex faktorov charakterizujúcich povrch erózie (rezu), je popísaný v prácach autorov. Na základe uvedenej komplexnej špecifikácie bol navrhnutý grafický model komplexu faktorov, ktorý bol definovaný vo WATING Prešov a na Katedre technológií a materiálov Strojníckej fakulty TU v Košiciach, ako model KMF1, ktorý je na obr. 1.



Obr. 1 Grafický model komplexu faktorov hydroerózie - model KMF1



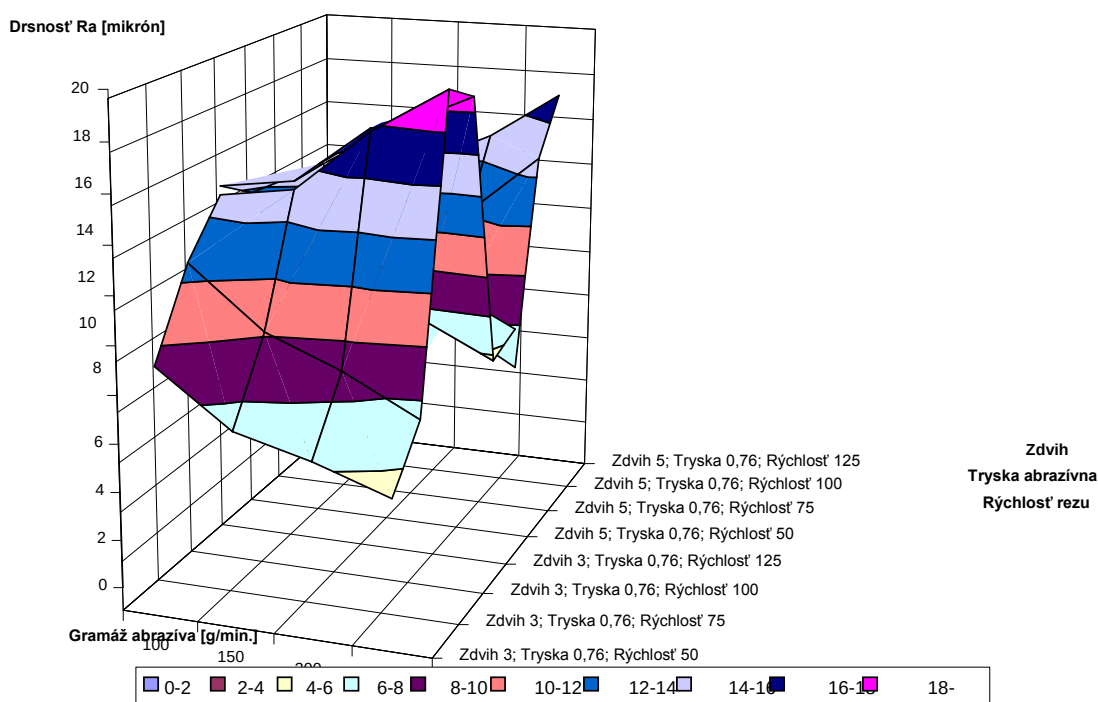
Overenie formulovaných faktorov sa nakoniec vykonalo na vzorkách materiálu AISI 304 pri hrúbke 15 mm. Na obr. 2 sú rezané skúšobné vzorky, na ktorých sa vykonalo 768 rezov.



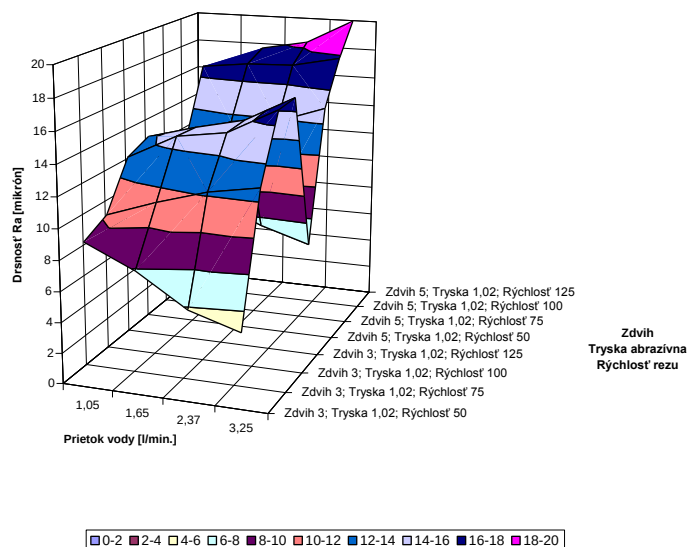
Obr. 2 Rezanie skúšobných vzoriek

Parametre rezania uvedených overovaných vzoriek boli zachytené do protokolov a ich samotné vyhodnotenie v grafickej podobe, je znázornené na obr. 3. Uvedená závislosť znázorňuje vplyv množstva abrazíva použitého pri rezaní na kvalitu povrchu rezu. Z grafu jednoznačne vyplýva, že na kvalitu povrchu rezu veľmi vplýva množstvo abrazíva, ktoré sa použije pri rezaní.

Podobný vplyv na kvalitu povrchu rezu vykazuje aj množstvo prietoku vysokotlakovej vody, ktorá sa pri rezaní použije. To znamená, že veľkosť vodnej dýzy, ktorá určuje prietok vysokotlakovej vody za minútu, pomerne zaujímavo vplýva na kvalitu povrchu rezu a hlavne v kombinácii so zdvihom rezacej hlavice nad materiálom. Na obr. 4 je znázornená plocha závislosti drsnosti na prietoku vysokotlakovej vody.



Obr. 3 Plocha závislosti drsnosti na množstve abrazíva



Obr. 4 Plocha závislosti drsnosti na prietoku vysokotlakovej vody.

Pre súčasnú prax, z hľadiska ekonomického efektu samotného rezania hydroeróznym lúčom, výskum zmeny prietoku, alebo jeho rozdelenie do dvoch hlavíc, predstavuje pomerne rozsiahly prienik do samotných technologických parametrov vodného lúča, s cieľom nájsť spôsob definovania rezných parametrov, ktoré budú garantovať výstupný kvalitatívny technologický aspekt a zároveň ekonomický aspekt procesu rezania vodným lúčom, pri optimálnych faktoroch hydroerózie.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA č. 1/0725/08, Výskum podmienok ovplyvňujúcich medznú deformáciu tenkých, povrchovo upravených oceľových plechov.

Literatúra

- [1] MEDEK, J. 2000. Hydraulické pochody, 3 vydanie, VUT Brno, 2000.
- [2] KMT Waterjet Systems: Streamline high pressure waterjet pump, Status: 02/2006 - Rev.5.
- [3] SPIŠÁK, E. 2000. Matematické modelovanie a simulácia technologických procesov - ťhanie. Typo Press Košice 2000, s.147, ISBN 80-7099-530-0
- [4] KMEC, J. - BIČEJOVÁ, E. 2008. Rozdelenie vodného lúča do dvoch rezacích hlavíc. In: Operation and diagnostics of machines and production systems operational states : Scientific Papers. Brno : Tribun EU, 2008. p. 100-107. ISBN 978-80-7399-634-5.
- [5] KMEC, J. TVARUŽEK, M. – GREGUŠ, P. 1999. Projekt Waterjet slitte union, BELOIT Poland, Wating, Prešov 1999.
- [6] KMEC, J. – TVARUŽEK, M. – GREGUŠ, P. 1999. Projekt Waterjet cutting systém W 32 BN, H+H Kft. Dunaujvaros, Wating, Prešov 1999.
- [7] KMEC, J. – SOBOTOVÁ, L.: Lúčové technológie vody, 25 rokov na Slovensku. 1. elektronický optický disk (CD-ROM). In: Nekonenčné technológie 2010, Strečno, 22. jún 2010. - Žilina : ŽU, 2010. - ISBN 978-80-554-0222-2. S. 1-8.

Kontaktná adresa

doc. Ing. Ján Kmec, CSc.,

doc. Ing. Lýdia Sobotová, PhD.

TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, KTaM, Mäsiarska 74, 040 01 Košice

e-mail: jan.kmec@tuke.sk, lydia.sobotova@tuke.sk