

## PROGRESÍVNE DELENIE HYDROERÓZIOU

Kmec, Ján, doc. Ing., CSc., TU v Košiciach, SjF , KTaM, Mäsiarska 74, [Jan.Kmec@tuke.sk](mailto:Jan.Kmec@tuke.sk)  
Sobotová, Lýdia, doc. Ing., PhD., TU v Košiciach, SjF , KTaM, Mäsiarska 74, [Lydia.Sobotova@tuke.sk](mailto:Lydia.Sobotova@tuke.sk)

**Technology of water jet cutting and dividing of high pressure water into two jets present new approaches of shape cutting and dividing of various materials at cold cut without influence of heat-affected zone of material in cutting edge.**

⇒ Klíčová slova : Technology of water jet cutting, cold cut (cross-section) cuts all materials

### 1 Úvod

Sila vody vo forme erózie pôsobí v prírode už niekoľko miliónov rokov. Vysokotlakové rezanie vodným lúčom, ktoré sa nazýva aj *Jet-Cutting*, je niekoľko desaťročí kontinuálne rozvíjané. Dôležitý impulz pre využitie vodného lúča vo výrobnej technike ako nástroja prišiel z oblasti konštrukcie lietadiel a kozmonautiky.

### 2 Technológia vodného lúča

Technológia rezania vodným lúčom predstavuje vysokovýkonné rezanie a tvarové delenie všetkých materiálov. Najväčším plusom tejto technológie v porovnaní s inými metódami delenia je proces rezania za studena. Tento sa používa tam, kde bez trieskové, trieskové a termické výrobné techniky poskytujú z mechanických alebo z fyzikálnych dôvodov neuspokojivé výsledky, prípadne kde tieto úplne zlyhávajú.

Podľa bežných zvyklostí sa hydroabrazívne rezanie vykonáva na jednom rezacom stole s jednou hlaviceou (vodná tryska 0,35, abrazívna 1,1 a gramáž abrazíva 650 g/min.). Podobne v prípade dvoch rezacích stolov sa klasicky používa po jednej rezacej hlavici, ktorých výkon rezania sa dimenzuje podľa výkonu vysokotlakového čerpadla. Takýto spôsob sa realizoval na pracovisku firmy WATING Prešov, na ktorom sa dimenzovali rezacie hlavice, podľa variantu I. , pričom označenie hlavice je  $D_w/D_a/P_w$  , kde  $D_w$  je vnútorný priemer vodnej trysky,  $D_a$  je vnútorný priemer abrazívnej trysky a  $P_w$  je prietok vody za minútu.

**Variant I.** : 1. Stôl - Hlavica 0,35/1,02/3,25  
2. Stôl - Hlavica 0,35/1,02/3,25

Vzhľadom na nárast požiadaviek rezania a zvýšenie konkurencieschopnosti sa začali hľadať ďalšie možnosti zvýšenia výkonnosti bez zvýšenia smennosti, a to delením lúča vody. V prípade rozdelenia lúča na aplikácie dvoch rezacích hlavíc súčasne na jednom, alebo dvoch rezacích stoloch, je možné kombinovať rezacie hlavice vo variantoch tak, ako to doporučuje výrobca technológie.

Rozdelenie vodného lúča sa vo WATING Prešov sa vykonal, v rozpore oproti doporučeniu výrobcu, pre rezanie dvomi rezacími hlaviciami na oboch stoloch súčasne. Použili sa kombinácie rôznych vodných dýz k abrazívnej dýze s vnútorným priemerom 0,76 mm, a to podľa variantu 1 až 3.

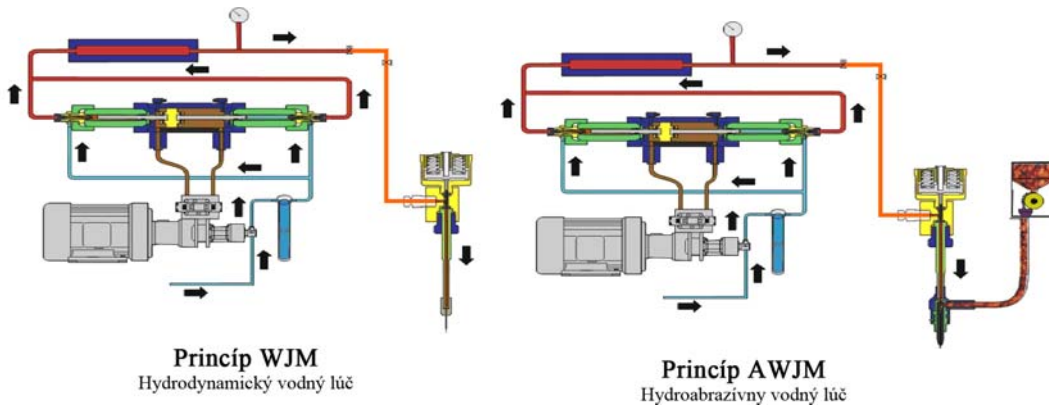
**Variant 1** : 1. Stôl - Hlavica 0,20/0,76/1,05  
2. Stôl - Hlavica 0,25/0,76/1,65

**Variant 2** : 1. Stôl - Hlavica 0,20/0,76/1,05  
2. Stôl - Hlavica 0,30/0,76/2,37

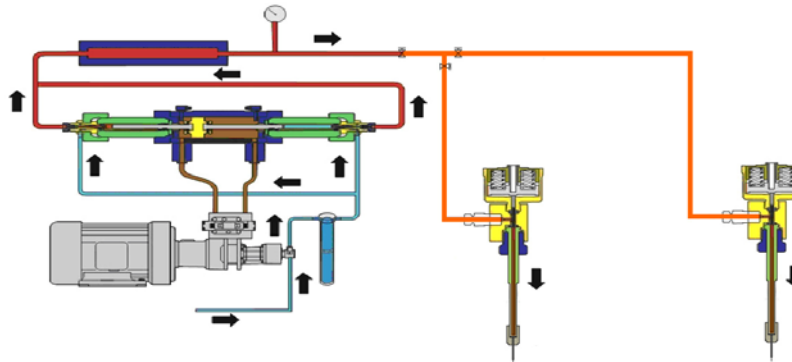
**Variant 3** : 1. Stôl - Hlavica 0,25/0,76/1,65  
2. Stôl - Hlavica 0,25/0,76/1,65

Jadrom vysokotlakového rezacieho zariadenia je vysokotlakové čerpadlo, čerpadlo s tlakovým prevodníkom multiplikátorom s olejovo-hydraulickým pohonom a akumulátorom tlaku.

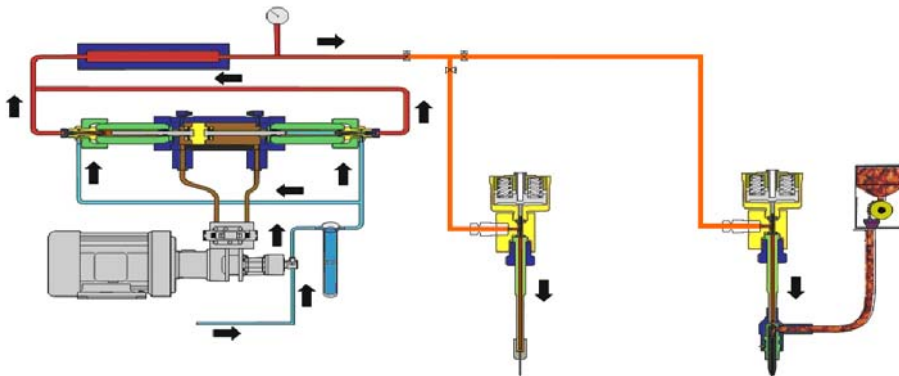
Tlak vody sa potom privádza vysokotlakovým potrubím do rezacej hlavice, ktorý je ovládaný elektropneumatickým ventilom. Princíp rezania vodným lúčom, podľa obr. 1 a následne s rozdelením vysokotlakovej vody, t. j. rezanie dvomi hlaviciami súčasne, je zachytené na obr. 2, obr. 3 a obr. 4 ako možné modely delenia vodného lúča.



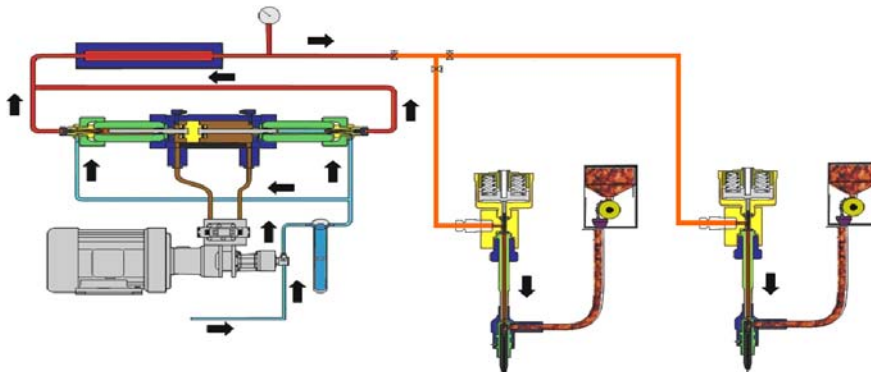
Obr. 1 Modely rozdelenia hydroabrazívneho lúča  
Fig. 1 Models of Dividing of Hydroabrasive jet



Obr. 2 Model KMWJ-WW - využíva princíp WJM + WJM  
Fig. 2 Model KMWJ-WW –using of WJM + WJM princípe

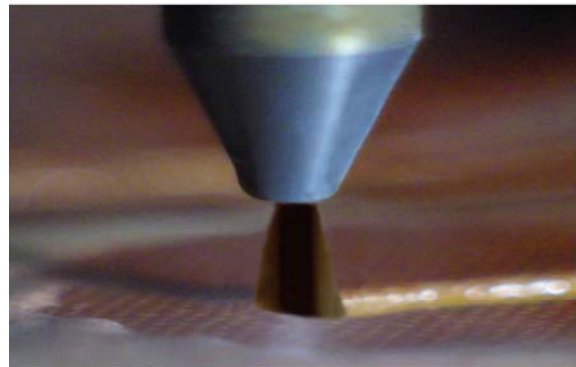
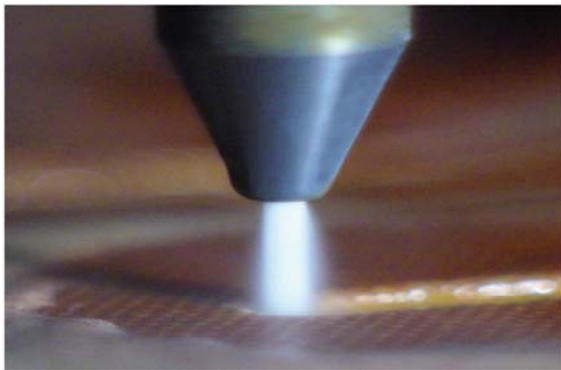


Obr. 3 Model KMWJ-WA - využíva princíp WJM + AWJM  
Fig.3 Model KMWJ-WA - using of WJM + AWJM princípe



Obr. 4 Model KMWJ-AA - využíva princíp AWJM + AWJM  
Fig.4 Model KMWJ-AA – using of AWJM + AWJM princípe

Na obr. 5 je zachytený hydroerózný lúč, kde je zreteľné, že suspenziu vody a abrazíva vytekajúcu z abrazívnej dýzy, obklopuje vodná hmla, v ktorej sa môže nachádzať aj veľmi nepatrné množstvo abrazívnych častíc. Tento fenomén štruktúry hydroerózneho lúča potvrdzuje, že zdvih dýzy nad materiálom, vplyva na hornú eróznú hranu rezaného materiálu.



a) AWJM - obklopuje vodná hmla  
a) AWJM – surrounded with water fog

b) AWJM - rozptyl abrazíva vo vodnej hmle  
b) AWJM – dispersion of abrasive solid in water fog

Obr. 5. Hydroerózný lúč obklopený vodnou hmlou  
Fig. 5 Hydroerosive jet surrounded with water fog

Na základe dlhodobých praktických skúseností, sa náklady na rezanie jednou hlavicou dajú vypočítať tak, že nákladová funkcia musí komplexne zahŕňať všetky náklady priame aj nepriame.

Navrhovanú nákladovú funkciu, ktorú sme vo WATING Prešov používali, brala do úvahy všetky hlavné nákladové položky, a to pre rezanie jednou rezacou hlavicou :

$$C = [CA + CW + CE + CU + CM + CH + CP] \times 1 / PV \quad [€/mm \text{ rezu}]$$

kde: CA - náklady na spotrebu abrazívneho materiálu,  
 CW - náklady na úpravu a spotrebu vody,  
 CE - náklady na energiu (vysokotlakového čerpadla, XY stola, chladenia a vzduchu),  
 CU - náklady na spotrebné komponenty, vodné a abrazívne - fukusačné trysky (dýzy),  
 CM - náklady na manipuláciu a skladovanie (vysokozdvíhny vozík, žeriav, palety atď.),  
 CH - ostatné nepriame variabilné náklady(mzdové, plánovaná údržba, amortizácia atď.),  
 CP - náklady všetky ostatné prevádzkové (režijné, skúšobné rezy, prípravky atď.),  
 PV - počet výrobkov pri rezaní v jednej vrstve (mení sa podľa počtu rezaných vrstiev).

Následne je možné modelovať aj nákladovú funkciu delenia hydroerózneho lúča pre rezanie dvomi hlavicami súčasne, čo považujeme za prínos pre budúcich užívateľov v praxi.

Na základe uvedených prístupov k deleniu hydroerózneho lúča, v rámci rozsiahleho experimentálneho výskumu WATING na materiáli AISI 304 hrúbky 15 mm, sa delil vysoko-tlakový vodný lúč podľa rôznych prietokov. Komplexná identifikácia technických, technolo-gických, meraných a vyhodnocovaných faktorov, predstavuje celkovo 25 faktorov, ktoré môžeme navzájom porovnávať v rôznych hodnotiacich závislostiach.

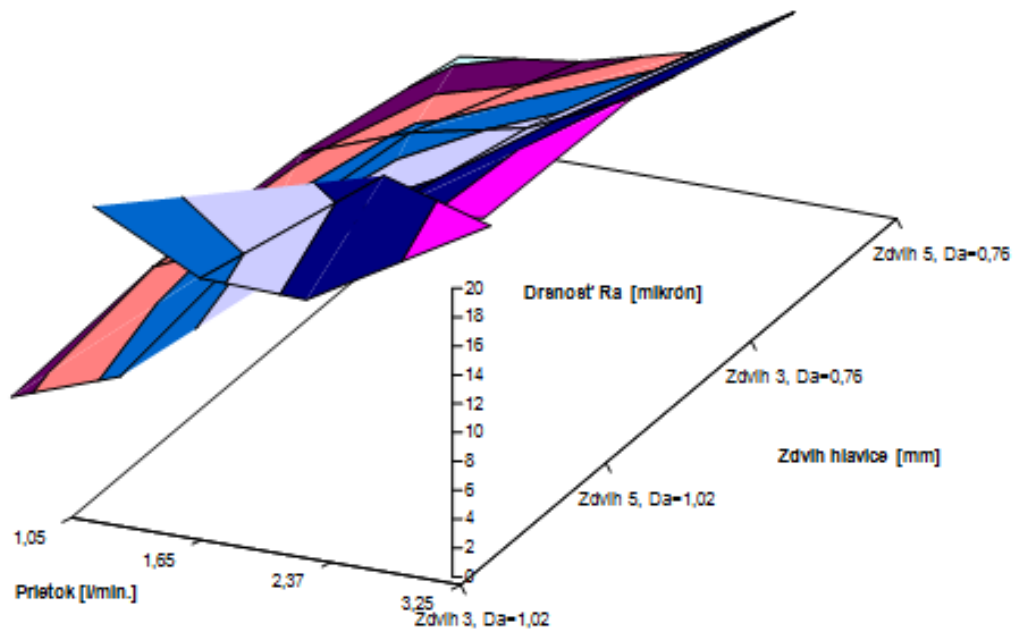
Podobne sa získal zaujímavý výsledok, uvedený na obr. 6, kde je znázornená závislosť drsnosti topografie povrchu rezu na prietoku a zdvihu hlavice.

Zaujímavým zistením je gramáž abrazíva, ktorá v tomto prípade pri rezaní, či už jednou, alebo dvomi hlavicami, bola nižšia zhruba o tretinu. Skúšal sa vplyv gramáže abrazíva pri 100g, 150g, 200g a 250g/min. . Napokon záverečné vyhodnotenie poukázalo na dostatočne kvalitný povrchu rezu pri gramáži abrazíva v rozmedzí 180g až 250g/min.

Nakoniec sa vykonalo overenie na vzorkách pri hrúbke 8 mm a hrúbke 30 mm. Takéto overenie sa zvolilo preto, aby sa dala vypracovať metodika identifikácie technologických – rezacích faktorov pre rozsah hrúbok od 1 mm do 30 mm, a to pre materiál AISI 304.

Konečným cieľom bolo vypracovanie metodiky stanovenia technologických rezacích faktorov pre jednotlivé hrúbky materiálu AISI 304 a pre ďalšie druhy materiálov, ktoré sa režu hydroabrazívnou eróziou.

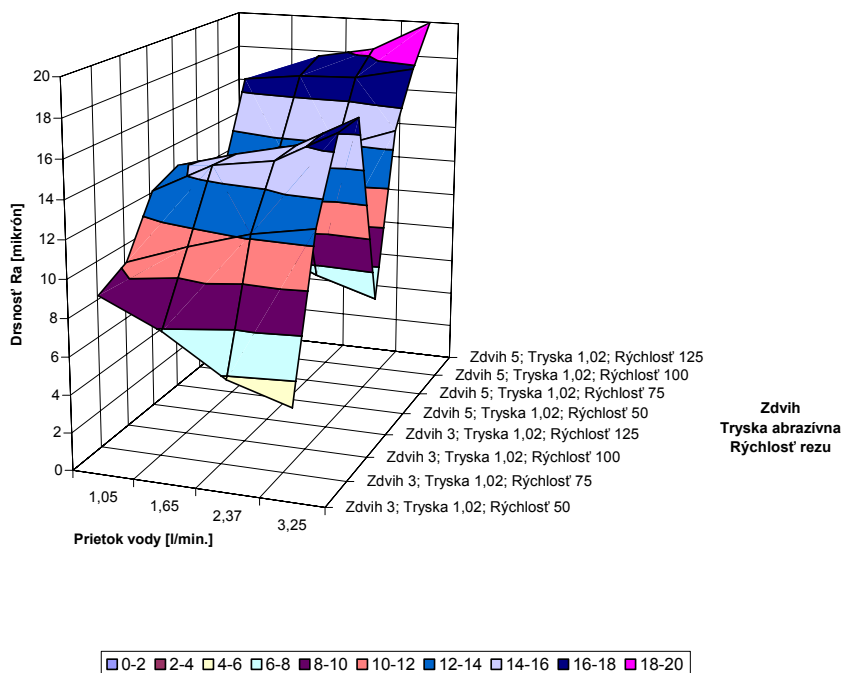
**Závislosť drsnosti na prietoku pri roznych zdvihoch hlavice nad materiálom**



Obr. 6. Vplyv drsnosti na prietoku a zdvihu hlavice  
Fig. 6 Influence of roughness on flow and head stroke

Ďalšia závislosť drsnosti na prietoku a zdvihu hlavice je uvedený na obr.7 , kde sú viditeľné zdvihy hlavice.

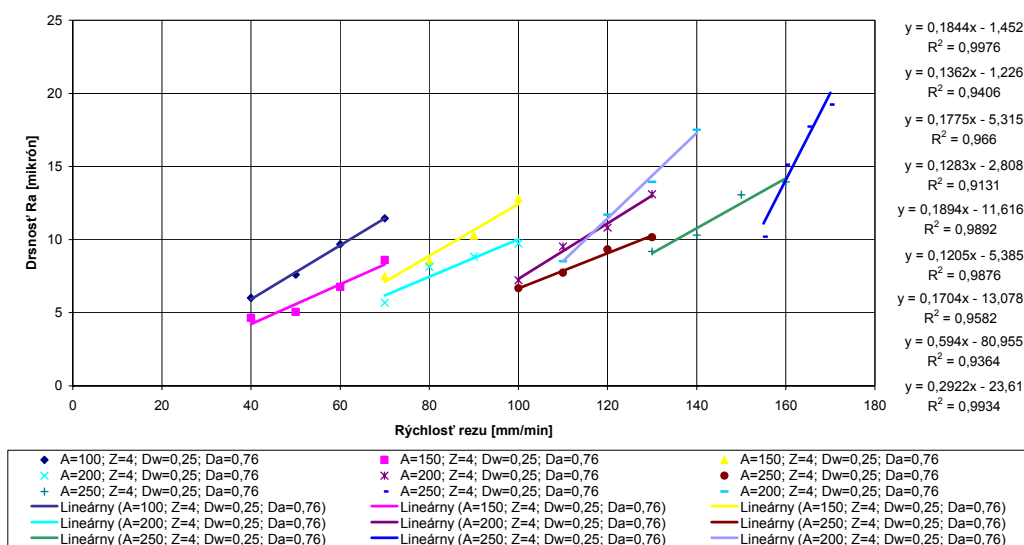
**Plocha závislosti drsnosti na prietoku vody**



Obr. 7. Vplyv drsnosti na prietoku a zdvihu hlavice  
Fig.7 Influence of roughness on flow and head stroke

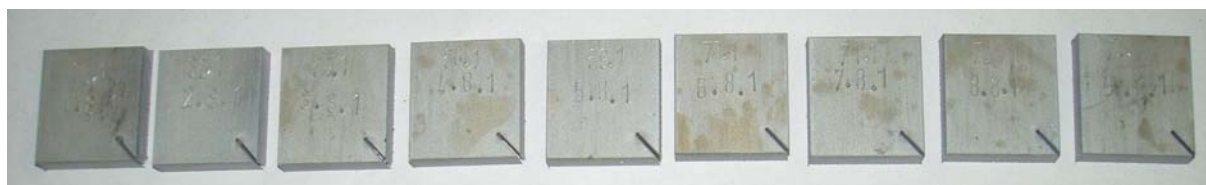
Parametre rezania uvedených overovaných vzoriek boli zachytené do protokolov a ich samotné vyhodnotenie v grafickej podobe, je znázornené na obr.8.

Závislosť drsnosti na rýchlosti rezi pri rôznych gramážach abrazíva pre overenie materiálu AISI 304 hrúbky 8 mm



Obr. 8. Závislosť drsnosti na rýchlosti rezu pre AISI 304 hrúbky 8 mm  
Fig.8 Dependence of roughness on the cutting rate for AISI of thickness 8 mm

Overenie formulovaných faktorov sa nakoniec vykonalo na vzorkách materiálu AISI 304 pri hrúbke 8 mm. Na obr. 9 sú znázornené overované vzorky, ktorých sa vyrezalo 9 ks.



Obr.9. Overované vzorky hrúbky 8 mm  
Fig.9 Verified sample sof thickness 8 mm

### 3 Záver

Pre súčasnú prax, z hľadiska ekonomického efektu samotného rezania hydroabrazívnou eróziou, predstavuje uvedený výskum pomerne rozsiahly prienik do samotnej technológie vodného lúča, s cieľom nájsť spôsob definovania rezných parametrov, ktoré budú garantovať technologický aspekt a zároveň ekonomický aspekt procesu rezania vodným lúčom, pri delení vysokotlakovej vody na dva menšie prietoky vody, alebo pri jednom menšom prietoku vody.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu VEGA č.1/0396/11 Výskum a optimalizácia metód hodnotenie pevnostných a plastických vlastností veľmi tenkých obalových plechov.

### Literatúra

- [1] SPIŠÁK, E. 2000. Matematické modelovanie a simulácia technologických procesov - ťahanie. Typo Press Košice 2000, s.147, ISBN 80-7099-530-0
- [2] KMEC, J. 2007. Technológia vodný lúč - Modelovanie ekonomických nákladov rezania. In: CD-Proceedings of Technology Systems Operation. Prešov: FVT TU, 2007, s. 1-3. ISBN 978-80-8073-912-6.
- [3] KMEC, J. TVARUŽEK, M. – GREGUŠ, P. 1999. Projekt Waterjet slitter union, BELOIT Poland, Wating, Prešov 1999.
- [4] KMEC, J. – TVARUŽEK, M. – GREGUŠ, P. 1999. Projekt Waterjet cutting systém W 32 BN, H+H Kft. Dunaujvaros, Wating, Prešov 1999.
- [5] KMEC, J. – SOBOTOVÁ, L.: Delenie hydroerózneho lúča. 1. elektronický optický disk(CD-ROM). In: Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch Košice, december 2009. - Košice : TU, Sjf, 2009. - ISBN 978-80-553-0330-7. S. 1-5.
- [6] 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.

