

О ПРОЦЕСУ РЕЗАЊА КАМЕНА ВОДОМ ABOUT THE HARD STONES WATER JET CUTTING PROCESS

DOI: 10.5937/RG2402029R

Оригинални научни рад

Original Scientific Paper

Сорин Михаи Раду
Универзитет Петросани, Румунија
sorin_mihai_radu@yahoo.com

Sorin Mihai Radu
Petroșani University, Romania
sorin_mihai_radu@yahoo.com

Примљен 4 јуна 2024; Рецензиран 6 децембра 2024; Прихваћен 8 децембра 2024.
Received 4 June 2024; Received in revised 6 Decembre 2024; Accepted 8 Decembre 2024

Сажетак: Проучавање димензионалног сечења камена воденим млазом једно је од главних области рада тима за хидромеханизацију Капдегре за рударску опрему Пејтрошани Универзитета. У раду су истраживања спроведена у лабораторијском сечењу мермера и других stijena на основу закона који регулишу овај процес.

Кључне речи: ХИДРОМЕХАНИЗАЦИЈА, СЕЧЕЊЕ, СТЕНЕ, „WATER JET“ ТЕХНОЛОГИЈА

Abstract: The study of dimensional stone cutting using water jets is one of the major fields of activity of the Hydromechanization team of the Department of Mining Equipment of the University of Petroșani. The paper presents the researches carried out in laboratory cutting of marble and other rocks in order to derive the laws, which are governing this process.

Key words: HYDROMECHANIZATION, CUTTING, ROCKS, WATER JETS

УВОД

За добијање бољих површина за сечење, за елиминисање линија сечења насталих класичним измештањем, сада се све више развија неконвенционална технологија сечења воденим млазом под високим притиском. У поређењу са класичним методама путем перфорације – пуцања или дијамантских каблова, декоративне стене пресечене методом водених млазница имају проценат поврата од 70%.

ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ПОЈАВА ХИДРАУЛИЧНОГ СЕЧЕЊА СТЕНА

У циљу утврђивања утицаја сваког воденог млаза и параметра стене на процес сечења,

INTRODUCTION

For obtaining some better cutting surfaces, for elimination the cutting lines created through classical dislocation, in present it has developed more and more a unconventional technology, the cutting with high pressure water jets. In comparison with the classical methods through perforation – shooting or with diamond cables, the decorative rocks cut through water jets method have a recoverable percent of 70%.

THE THEORETICAL ANALYZE OF THE ROCKS HYDRAULIC CUTTING PHENOMENA

In order to establish the influence of each water jet and rock parameter on the cutting process

развијен је нови модел [3] који покушава да објасни интеракцију између млаза и стене која се сече.

Овај модел предлаже средство за анализу ефикасности воденог млаза у процесу сечења стена. Полази се од претпоставке да се снага млаза користи за сечење Δv запремине стене. Стену карактерише јединствени параметар A , односно отпор стене према дејству млаза [3].

Према овом моделу, коначна поједностављена релација за одређивање дубине прореза h је:

$$h = k_1 \frac{\left[d_1 (\rho_p + \rho_0) p_0^{\frac{3}{2}} \right]}{Au^{0,33}} - \frac{\pi}{2} d_1 \quad (1)$$

где је:

d_1 – пречник млазнице воденог или абразивног млаза;

p_0 – почетни притисак млаза;

u – брзина померања млаза у односу на стену;

ρ_p – густина абразива;

ρ_0 – густина воде.

У релацији (1) може се приметити да процес сечења почиње од притиска p_s [3] који се назива праг притиска, што је полазна тачка у процесу сечења, као и формирања прореза. Отпор стене против дејства млаза A може се утврдити на основу једначине (2):

$$A = \frac{k_1 d_1 (\rho_p + \rho_0) p_0^{\frac{3}{2}}}{\left(h - \frac{\pi}{2} d_1 \right) u^{0,33}} \quad (2)$$

Ова карактеристика стене узима у обзир природу стене и њену порозност, величину узорка, њене пукотине и пропустљивост итд.

ЕКСПЕРИМЕНТИ СА МЛАЗОВИМА ЧИСТЕ ВОДЕ

Обим истраживања је био да се с једне стране докажу најефикаснији облици млазница и резних глава, и са друге стране да се утврди правилно сечење воденим млазом према параметрима млаза и стене.

wad developed a new model [3] which tries to explain the interaction between the jet and the rock be cut.

This model proposes a means of analyzing the efficiency of the water jet in the process of rock cutting. It starts from the premise that the jet power is used to cut a Δv volume of rock. The rock is characterized by unique parameter A , that is the resistance of the rock against the jet attach [3].

According to this model, the final simplified relation for the depth of the slit h determination is:

where:

d_1 – the nozzle diameter of the water jet or of the abrasive one;

p_0 – the initial pressure of the jet;

u – the speed of the jet displacement against the rock;

ρ_p – the density of the abrasive;

ρ_0 – water density.

In relation (1) it can be noticed that the cutting process starts from a pressure p_s [3] called threshold pressure, this being the starting point in cutting process, also the slit formation. The resistance of the rock against the jet action A can be identified from the equation (2):

This characteristic of the rock takes into account the nature of the rock and its porosity, the size of the sample, its fissures and permeability, etc.

EXPERIMENTS WITH PURE WATER JETS

The research scope was, on one hand to evidence the most efficiency nozzle forms and cutting heads, and the other hand to determine the legal cutting with water jets according to jet and rock parameters.

а. Утицај угла млазног напада.

Први сет тестова има за циљ да проучава ударни угао утицаја воденог млаза на узорак. Усмерили смо млаз на узорке, како вертикалне ($\Phi = 0$), тако и на $+45^\circ$ и -45° супротно од вертикалног смера.

Приметно је да деловање вертикалног млаза на површину стене нуди најбоље резултате. Изузетак су чиниле стене које већ имају пукотине или расцеп усмерен под одређеним углом. Путем проксимације ова зависност је дефинисана једначином $h=h_0\cos\Phi$, где је h_0 дубина прореза за ($\Phi = 0$).

б. Утицај притиска млаза.

За проучавање утицаја притиска у процесу сечења урадили смо доста експеримената на узорцима лапора, шљунка, мермера, гранита итд. Прорези који су направљени млазом воде под високим притиском на угљу, мермеру, шљунку и граниту приказани су на слици бр. 1. Број експеримената био је довољно велики да се примети да се, без обзира на природу стене која се сече, дубина прореза повећава истовремено са повећањем притиска млаза. Ово повећање није линеарно већ параболично, добијени су дубљи прорези у абразивним и хомогеним стенама (камена ситнеж).

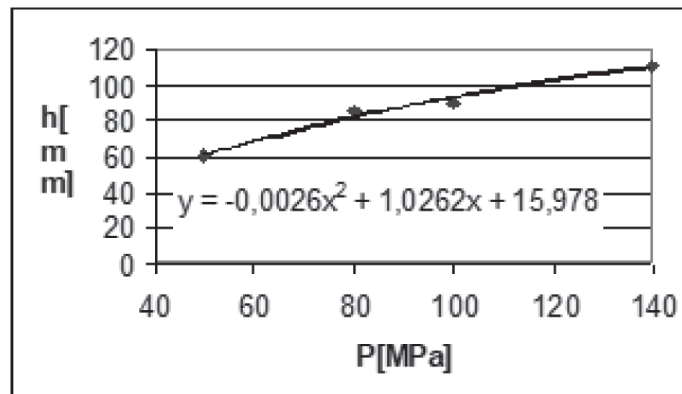
a. The angle of the jet attack influence.

The first set of tests intend to study the attack angle of water jet effect on the sample. We directed the jet on samples, both perpendicular ($\Phi = 0$) and at $+45^\circ$ and -45° against the perpendicular direction.

It observed that the perpendicular jet action on the rock surface offers the best results. Exception made the rocks which have already fissures or a cleavage directed after an certain angle. With approximation this dependence is defined by the equation $h=h_0\cos\Phi$, where h_0 is the depth of the slit for $\Phi=0$.

b. The jet pressure influence.

For study the pressure influence in the cutting process we made a lot of experiments on marl, grit stone, marble, granite samples, etc. The slits created with high pressure water jets on coal, marble, grit stone and granite are presented in figure no. 1. The experiments numbers were enough big for observe that, indifferent of the cutting rock nature, the slit depth increase at the same time with jet pressure increase. This increase is not linear but parabolic, deeper slits had obtained in abrasive and homogene rocks (grit stone).



Слика 1, Зависност дубине резања у односу на притисак

Figure 1, Cut depth ratio by pressure

ц. Утицај пречника млазнице.

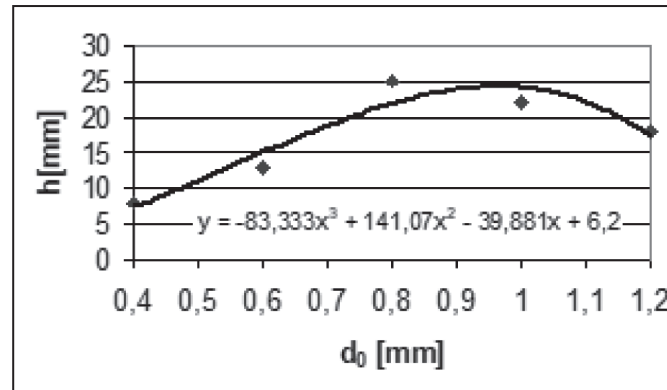
Направљене величине прореза (дубина и ширина) су пропорционалне пречнику млаза. Иако се може веровати да ће се дубина прореза повећати као и пречник млазнице, експерименти показују да за различите притиске

c. The nozzle diameter influence.

The created slit sizes (depth and width) are proportional with the jet diameter. Although it can believe that the slit depth will increase as well as the nozzle diameter increase, the experiments show that for different jet pressure

млаза постоји оптималан пречник млазнице. На слици 2 приказана је зависност добијена за узорак мермера који је тестиран при високом притиску, за који цилиндрична млазница од сафира има оптимум од 0,8 или 1,0 mm.

there is an optimum nozzle diameter. In figure no. 2 we presented the dependence resulted for a marble sample tested at high pressure, for which the cylindrical nozzle from sapphire have an optimum at 0,8 or 1,0 mm.



Слика 2, Зависност пречника млазнице и притиска

Figure 2, Nozzle diameter ratio by pressure

д. Утицај брзине померања млаза.

За све врсте стена које су испитиване, а посебно за хомогене стене, закон зависности је $u^{-\alpha}$. Коефицијент α је скоро константан за различите врсте стена.

Константна појава на свим врстама стена је да се са повећањем брзине померања млаза смањује и дубина прореза. Мада, у случају у коме се изводе дубоки прорези, предложено већу брзину уместо низа мањих брзина померања.

d. The jet displacement speed influence.

For all kind of rocks which were tested and especially for homogeneous rocks the dependence law is $u^{-\alpha}$. The α coefficient is almost constant for different types of rocks.

The constant phenomena at all kind of rocks is that as well as the jet displacement speed increase, the slit depth decrease. Although, in the case in which is executed deep slits, we suggest more high speed instead of a number of lower displacement speed.

е. Утицај удаљености између млазница и стена.

Поред повећања растојање између млазница и стена, смањење се и дубина прореза. Објашњена је константна појава да се такође и млаз на повећаној удаљености распршује услед трења са ваздухом. Дубина сечења се прво одједном смањује, а затим се растојање повећава.

e. The nozzle – rock distance influence.

As well as the nozzle – rock distance increase the slit depth decrease. The constant phenomena is explained that as well as the jet distance increase is dispersed due to the friction with air. The cutting depth decrease at first at once, and then as well as the distance increase lower.

ЕКСПЕРИМЕНТИ СА АБРАЗИВНИМ МЛАЗЕВИМА ВОДЕ

Експерименти рађени на светском нивоу у специјализованој лабораторији су без сумње показали да се перфорација и сечење стена и тврдох материјала воденим млазом

EXPERIMENTS WITH ABRASIVE WATER JETS

The experiments made on world plan in specialized laboratory were demonstrated without doubts that the perforation and cutting the rocks and hard materials with

може побољшати коришћењем абразивних водених млазница.

У овим експериментима као абразивне честице користимо кварцни песак, електрокориндон, силицијум карбид и гранат произведен у Румунији, углавном у CARBOCHIM S.A. Cluj-Napoca.

Креирали смо и реализовали фидер са абразивним честицама за проучавање резања абразивном водом, који се прилагођава постојећем лабораторијском постољу.

У суштини, сечење абразивним млазом воде је слично као и сечење млазом чисте воде. Мада, постоје неке разлике за које смо сматрали да је прикладно њихово представљање.

а. Утицај пречника млазнице при коришћењу чистог и абразивног воденог млаза.

Из извршених експеримената се показало да се оптимални пречник млазнице d_0 креће између 0,8 и 1 mm, при чему је изузетак је чинила суспензија кристала гранат за који је оптимални пречник 1,2 mm. Уместо за све врсте испитиваних стена, оптимални пречник излазног абразивног млаза је $d_1 = 4$ mm.

б. Утицај концентрације абразивних честица у процесу сечења.

За све врсте абразивних честица тестирали смо константу да постоје неке оптималне концентрације за које је дубина прореза максимална. На пример, у кућишту за сечење гранита са воденим млазом у коме је абразив силицијум карбид, најбоље резултате (слика бр. 3) добили смо за концентрације од 0,2 и 1,2 kg/min.

Ако се мешавина воде и абразивних честица реализује само у просторији за мешање хидромонитора, а не у доводној кади, препоручена концентрација је мања (0,8 kg/min). У овом последњем случају абразивна честица не сме бити хигроскопна, иначе се зачепљују путеви кретања абразивних честица у простору за мешање хидромонитора.

water jets can be improved through using the abrasive water jets.

In these experiments we use as abrasive particles the quartz sand, electrocorindon, silicon carbide and garnet produced in Romania, mostly at CARBOCHIM S.A. Cluj-Napoca.

We created and realized a feeder with abrasive particles for study the abrasive water cutting, adaptable to the existing laboratory stand.

In essence, the cutting with abrasive water jets is similar with the cutting with pure water jets. Although, there is some differences for which we considered opportune their presentation.

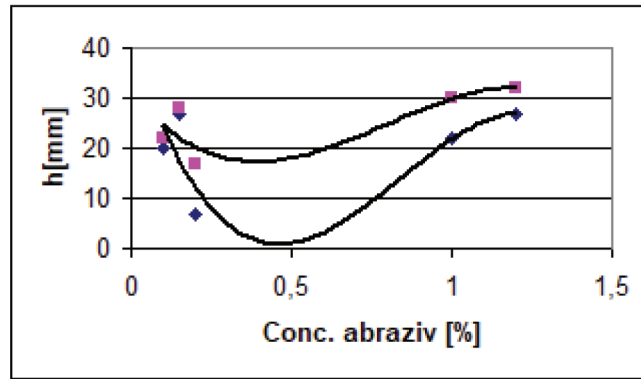
a. The water jet and abrasive water jet nozzle diameter influence.

From the made experiments it has resulted that the optimum diameter of nozzle d_0 is contained between 0,8 and 1 mm, exception made the garnet for which the optimum diameter is 1,2 mm. In stead for all kind of tested rocks, the optimum diameter of abrasive jet exit is $d_1 = 4$ mm.

b. The abrasive particles concentration influence in cutting process.

For all kind of abrasive particles we tested constant that there is some optimum concentrations for which the slit depth is maximum. For example, in granet cutting case with water jet in which the abrasive is the silicon carbide, the best results (figure no. 3) we obtained for concentrations of 0,2 and 1,2 kg/min.

If the water and abrasive particles mixture is realized only in the mixture room of the hydromonitor and not in the feeder tub, the recomanded concentration is smaller (0,8 kg/min). In this final case the abrasive particle mustn't be hygroscopic, otherwise is obturated the direction ways of the abrasive particles at the mixture room of the hydromonitor.



Слика 3, Утицај концентрације абразива на дубину резања

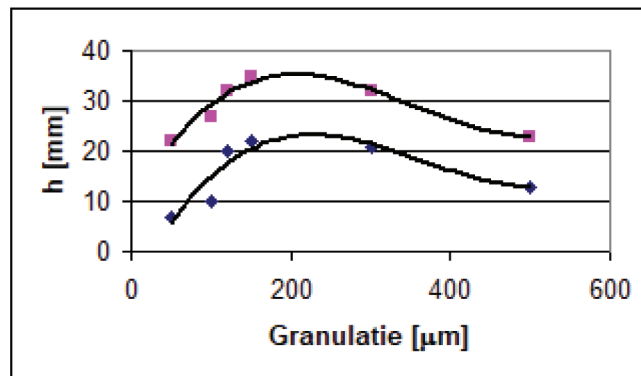
Figure 3, Abrasive concentration influence against cut depth

ц. Утицај гранулације абразивних честица.

Током експеримената користили смо абразивне честице са гранулацијом од 10 до 600 μm (слика бр. 4). Абразивна гранулација утиче и на дубину прореза и квалитет површине сечења. Код већих гранулација абразивних честица, створени прорези су шири.

c. The abrasive particle granulation influence.

During the experiments we used abrasive particles with granulation contain between 10 and 600 μm (figure no. 4). The abrasive granulation influence also the slit depth and the cutting surfaces quality. At bigger granulations of abrasive particle, the created slits are wider.



Слика 4, Утицај гранулације абразивних честица на дубину прореза

Figure 4, The influence of abrasive particle granulation on the slit depth

Да бисмо студију реализовали, што је могуће реалније, извршили смо две анализе:

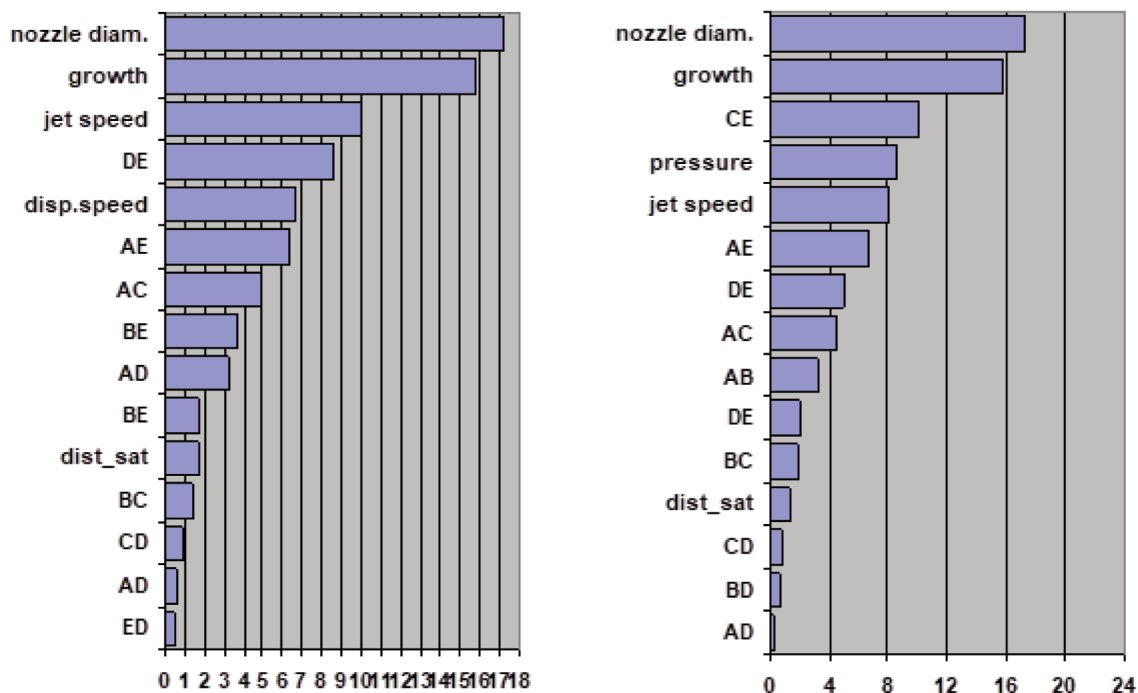
- Прву при притиску од – 100.....200 MPa
- Другу при притиску од – 200400 MPa

са пречником млазнице од 0,12 mm, односно 0,25 mm. Растојање између млазнице и материјала је било 13, 18 и 23 mm, брзина померања млаза је била од 0 до 66 mm/min. Реализовани су хистограми са слике 5, уз запажање да сила резања зависи од пречника млазнице, раста материјала, притиска, односно брзине померања млаза.

In order to realise a study, as real as possible, we made two analyses:

- First at a pressure of – 100.....200 MPa
- The second at a pressure of – 200400 MPa

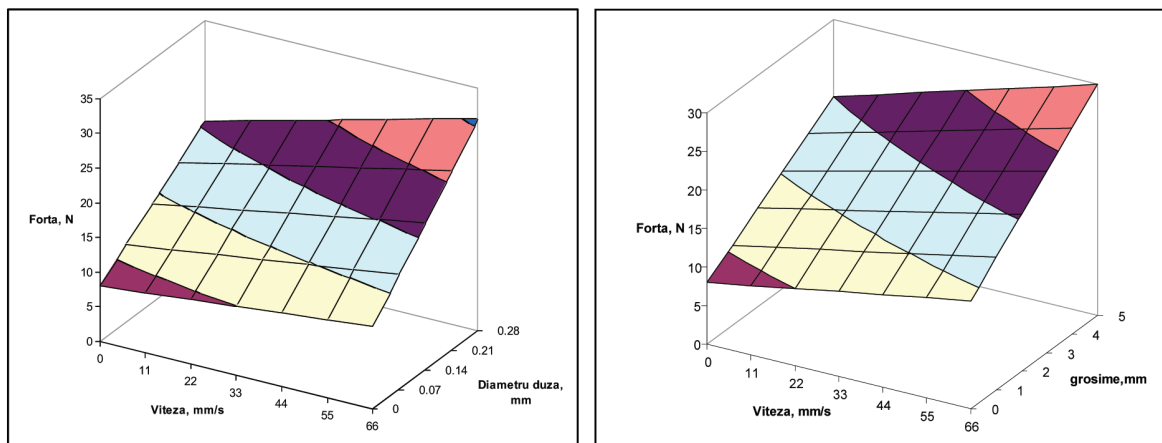
with the nozzle diameter of 0,12 mm and respectively 0,25 mm. The nozzle-material distance was 13, 18 și 23 mm, the jet displacement speed beeing from 0 to 66 mm/min. Were realised the histogrames from Figure 5, observing that the cutting force depends of nozzle diameter, material growth, pressure and respectively the jet displacement speed.



Слика 5, Утицај параметара водених млазева у процеси резања
Figure 5, The influence of the water jets parameters in the cutting process

На слици 6 су приказани значајни фактори који утичу на процес резања и наравно на силу деловања на површину материјала.

In Figure 6. are presented the significant factors which influence the cutting process and of course the acting force on the material surface.



Слика 6, Значајни фактори који утичу на процес резања
Figure 6, The significant factors which influence the cutting process

СТАТИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ ОБРАДЕ МАТЕРИЈАЛА ВОДЕНОГ МЛАЗА ПУТЕМ DELPHI МЕТОДА

STATIC MODELING OF THE WATER JET MATERIAL PROCESSING THROUGH THE METHOD OF DELPHI

Постоји велики проблем који се јавља при резању и обради хидрауличним млазом, који суштински утиче на показатеље перформанси процеса. Постоји велики број

There is a major problem that arises at cutting and processing with hydraulic jet, with a fundamental influence on the performance indicators of the process. There is a large

метода које се могу користити, али оне захтевају велики обим тестова – експеримента, примњивих за ову врсту експеримента. Да би се имао минимум тестова са максимумом релевантних информација, може се користити „Delphi“ метод. У том погледу потребни су следећи кораци:

- Утврђивање параметара обраде и индикатора учинка;
- Израда упитника;
- Синтеза информација и корелација примарних вредности;
- Усклађивање мишљења специјалиста и потврђивање њихове сагласности;
- Графички приказ;
- Распоређивање фактора у групе утицаја;
- Објашњење резултата.

За синтезу информација коришћен је посебан програм који су аутори направили у једној врсти погодних табела у форми – word sheet Quattro, Excel или Lotus. Овај програм се заснива на централизовању информација у јасним формама на три нивоа. Први ниво има централизоване синове податке где је испитано 17 података, од којих је 7 елиминисано, за други ниво је остало само 10 података који су обрађени, а у случају да је специјалиста за два параметра дао исти коефицијент они се поништавају.

За трећи ниво извршиће се потребне корекције и потребна оптимизација, уз оптималну расподелу потребних коефицијената на оних 10 података који су остали у бази података. На тај начин ће се испунити услов верификације текста FISCHER и квадрата H_i , истовремено за све факторе.

На основу ове технологије, на крају су узете у обзир само тачке које је дало тих 10 података од 17. На тај начин су направљене прве табеле, да би се на крају добили подаци из табела. Методом Делпи експеримента, утврђен је утицај подесивих параметара на неке показатеље пер-

number of methods that can be used but they require a big volume of test – experiments, appealing to this kind of experiment. In order to have a minimum of tests with a maximum of relevant information, the Delphi method can be used. In these respect the following steps are required:

- Establishing the processing parameters and performance indicators;
- Elaborating the questionnaire;
- Synthesis of information and correlation of primary values;
- Balancing the specialists' opinions and verifying their concord;
- Graphical representation;
- Arranging the factors in groups of influence;
- Explaining the results.

In order to synthesize the information it was used a special program made by the authors in one of the utilitarian table type – word sheet Quattro, Excel or Lotus types. This program is based on centralizing the information in distinct sheets on three levels. First level has centralized raw data where 17 data were questioned, 7 of them were eliminated, for the second level remained only 10 data, which were processed and in case that the specialist gave for two parameters for the same coefficient these were annulled.

For the third level the necessary corrections will be made and the optimization required will be done, optimizing the distribution of the required coefficients to those 10 data remained in the database, in this way the verifying condition of FISCHER text and H_i square will be fulfilled, simultaneously for all the factors.

Based on this technology, in the end were taken in consideration only the points given by those 10 data from 17. In this way the first tables were remade, obtaining the data from the tables in the end. The influence, through the method of Delphi experiment, of the adjustable parameters over some performance

форманси у процесу резања абразивним воденим млазом.

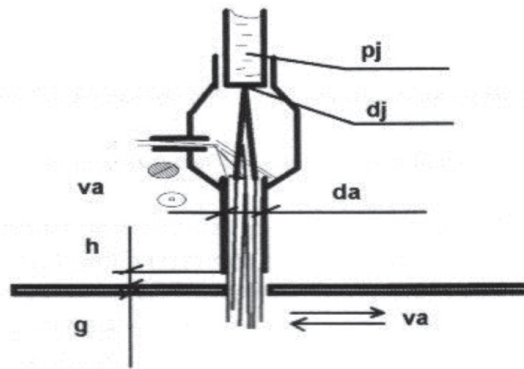
Параметри са слике 7 су:

- Називни притисак воденог млаза, p_j , (x_1);
- Брзина напредовања воденог млаза v_a , (x_2);
- Пречник млазнице, d_j , (x_3);
- Стопа абразивног протока, (x_4);
- Однос пречника млазнице и абразива, d_a/d_j , (x_5);
- Растојање између млазнице и материјала, h , (x_6);
- Дебљина материјала, g , (x_7);
- Врста абразива, (x_8);
- Абразивна ситнеж средњег пречника, (x_9);
- Однос тврдоће између абразивне средине и окружења обраде, (x_{10}).

indicators, in abrasive water jet cutting process, were established.

Parameters from figure 7. are:

- Water jet nominal pressure, p_j , (x_1);
- Water jet advance speed v_a , (x_2);
- Nozzle diameter, d_j , (x_3);
- Abrasive flow rate, (x_4);
- Ratio between the diameters of nozzle and abrasive, d_a/d_j , (x_5);
- Nozzle-material distance, h , (x_6);
- Material thickness, g , (x_7);
- Type of abrasive, (x_8);
- Abrasive grains medium diameter, (x_9);
- Hardness ratio between the abrasive environment and the processing environment, (x_{10}).



Слика 7, Дефинисање параметара обраде абразивној воденој млаза
 Figure 7, Defining the parameters of abrasive water jet processing

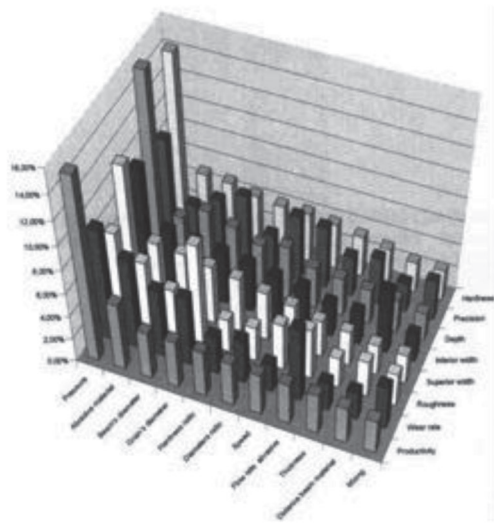
Резултати су разврстани у табеле и израчунати су просечни резултати коришћењем EXCEL табеле. У облику матрице утицаја, у табели 1, приказани су резултати обраде података.

The results were synthesized in tables and the average scores using an EXCELL spreadsheet was calculated. In the form of influence matrix, in the table 1, the results of data processing is presented.

Табела 1, Процентуална вредности фактора у обради абразивној воденој млази
Table 1, Percentage value of factors in abrasive water jet processing

Бр. No.	Фактор утицаја Factor of influence	Продуктивност Productivity	Стопа хабања Wear rate	Храпавост Roughness
1	Притисак Pressure, p , (x_1)	15,4%	9,5%	7,5%
2	Врста абразива Type of abrasive, (x_8)	5,7%	7,7%	5,7%
3	Пречник млазнице Nozzle diameter, d_n (x_3)	4%	5,8%	4%
4	Абразивна зрна средњег притиска Abrasive grains medium diameter, (x_9)	4%	5,9%	8,6%
5	Однос тврдоће Hardness ratio (x_{10})	3,9%	3,3%	2,9%
6	Однос између пречника млазнице и пречника абразива Ratio between the nozzle diameter and abrasive diameter, d_a/d_j , (x_5)	3,7%	3,7%	3%
7	Брзина напредовања воденог млаза Water jet advance speed v_a , (x_2)	3,5%	2,4%	4%
8	Стопа протока абразива Abrasive flow rate, (x_4)	3,5%	6,3%	4,3%
9	Дубина продирања материјала Material penetration depth, g , (x_7)	3,4%	2,4%	2,6%
10	Удаљеност између млазнице и материјала Nozzle-material distance, h , (x_6)	3,1%	2,4%	3,1%
11	Мешање Mixing	2,8%	3,7%	2,8%
12	Притисак Pressure, p , (x_1)	8,8%	14,3%	15,7%
13	Врста абразива Type of abrasive, (x_8)	3,9%	5%	4,5%
14	Пречник млазнице Nozzle diameter, d_n (x_3)	5%	4,9%	5,7%
15	Абразивна зрна средњег пречника Abrasive grains medium diameter, (x_9)	6%	4,4%	5%
16	Однос тврдоће Hardness ratio (x_{10})	3,3%	4,2%	4,1%
17	Однос између пречника млазнице и пречника абразива Ratio between the nozzle diameter and abrasive diameter, d_a/d_j , (x_5)	5,6%	4,2%	4,6%
18	Брзина напредовања воденог млаза Water jet advance speed v_a , (x_2)	5,3%	3,9%	3,5%
19	Стопа протока абразива Abrasive flow rate, (x_4)	3,4%	3,5%	3,3%
20	Дубина продирања материјала Material penetration depth, g , (x_7)	4%	3,1%	3%
21	Удаљеност између млазнице и материјала Nozzle-material distance, h , (x_6)	2,5%	2,6%	2,9%
22	Мешање Mixing	3,4%	2,6%	2,4%

Графички, утицај фактора је приказан на слици 8 и на слици 9. Парето дијаграми су представљени за сваки индикатор учинка.



Слика 8, Дијаграми дисјерибуције значаја фактора утицаја

Figure 8, The distribution of the importance of influence factors

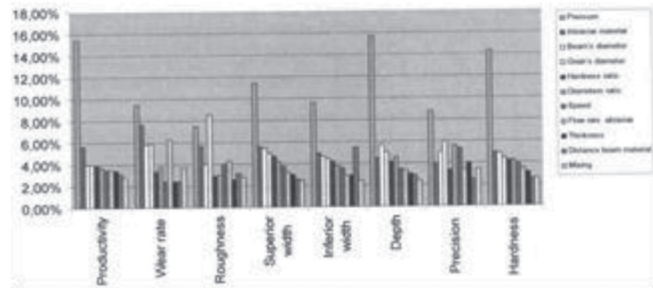
Као резултат ове анализе, прва четири фактора задржана су као битна, за спроведени планирани експеримент у циљу успостављања модела регресије.

ЗАКЉУЧАК

У закључку, иако су перформансе абразивних млазева супериорније од чистих, за економичну ефикасност коришћења абразивних честица морамо анализирати скалу радног притиска, коришћене пречнике млазница, растојање између млазница и стена и искоришћену концентрацију абразива.

Млазнице високог притиска, генерално, и абразивни посебно, због преношења неких великих снага представљају револуционарни инструмент за експлоатацију и обраду декоративних стена и грађевинских материјала, а многе предности ове нове технологије показују позитивна очекивања и примењивост за будућност.

Graphically, the factors influence is presented in figure 8 and in figure 9. The Pareto diagrams are presented for each performance indicator.



Слика 9, Парето дијаграми фактора утицаја

Figure 9. The Pareto diagrams of the factor's importance

As a result of this analysis, the first four factor were retained as important ones, for a conducted planned experiment in order to establish a regression model.

CONCLUSION

In conclusion, although the abrasive jets performances are superior than the pure ones, for the economical efficiency of using abrasive particle we must analyze the work pressure scale, the utilized nozzle diameters, the nozzle – rock distance and the utilized abrasive concentration.

The high pressure jets, in general, and the abrasive one especially, due to transmit some high powers are a revolutionary instrument for the extraction and processing of the decorative rocks and building materials, and a lot of advantages of this new technology let to expect a certain future.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ilias N., Magyari A., Radu S.M., Achim M., Magyari A.A.: Water Jet and Abrasive Water Jet Performances in Materials Cutting, Proceedings of 5th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, New Delhi, India, 3-5 february 1998.
- [2] Radu S.M., Ilias N., Magyari A.: The Prediction of an Abrasive Water Jet Rock Cutting Equation, Proceedings of 5th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, New Delhi, India, 3-5 february 1998.
- [3] Radu S. M., Matei A., Prip I., Costa C.A.: Researches in the nonconventional and clean technology for rock and material cutting, 19th Conference on Environment and Mineral

LITERATURE

- Processing, Technical University of Ostrava, Czech Republic, 04-06. 06. 2015, Part II, pp. 165-169, ISBN 978-80-248-3753-6,
http://homen.vsb.cz/hgf/546/18th_EaMP2015_programme.pdf
- [4] Radu S.M., Chmielarz W., Andras A.: Mining Technological System's Performance Analysis, Annals of the University of Craiova for Journalism, Communication and Management, nr. 2/2016, pp. 56-64, ISSN 2501-3513.
- [5] Radu S.M.: Abrasive waterjet-a clean technology, Director from Romania of international Grant, INCO-COPERNICUS ERB IC 15 CT98 0821, financed by European Community, Bruxelles, 1999-2001.