

MODELAREA STATISTICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE A ROCILOR CU JET HIDRAULIC PRIN METODA EXPERIMENTULUI DELPHI

*Eugeniu STEFAN, Dr. ing., Presedinte al Societatilor : Bekam S.A., Free
wan, Esvincom. Sevres , Franta;
Ioan PRIP, Drd. ing., Universitatea din Petrosani*

In the cutting of rock and materials with hydraulic jets, in order to determine the most important parameters that are influencing performance indicators of the process, is used the Delphi experiment. Based on this experiment are created math models that will constitute the basis for optimization of rock and materials cutting process with hydraulic jets.

O problemă de o importantă deosebită care se ridică la tăierea și prelucrarea cu jet hidraulic a rocilor și a materialelor o constituie determinarea parametrilor principali care au o influență majoră asupra indicatorilor de performanță a procesului. În acest scop există un număr mare de metode care se pot utiliza, dar ele necesită un volum mare de încercări experimentale și din acest considerent se apelează la experimentul Delphi.

Pentru derularea experimentului Delphi s-au parcurs următoarele etape:

1. Stabilirea parametrilor prelucrării și a indicatorilor de performanță; (Tab.1)
2. Întocmirea chestionarului;
3. Sintetizarea informațiilor și corelarea valorilor primare;
4. Ponderarea opiniilor specialistilor și verificarea gradului de consens a acestora;
5. Reprezentări grafice;
6. Gruparea factorilor pe grupe de influență;
7. Interpretarea rezultatelor;
8. Modelarea matematică a procesului de prelucrare cu jet hidraulic.

Stabilirea parametrilor prelucrării și a indicatorilor de performanță

Pe baza analizei documentației existente și a experienței anterioare, s-au stabilit parametrii reglabili care constituie mărimi care pot să fie evidențiate și reglate. Acestea sunt prezentate în chestionar.

Întocmirea chestionarului

Chestionarul a fost realizat astfel încât să fie simplu și concis, ușor de completat și centralizat. Au fost consultați 17 specialiști de la 5 institutii.

Sintetizarea informațiilor și corelarea valorilor primare

Pentru sintetizarea informațiilor a fost utilizat un program special în unul din utilitățile de tip tabelar worksheet de tip Quattro, Excel sau Lotus.

Acest program are la bază centralizarea informațiilor în foi distincte pe trei niveluri. Pe primul nivel sunt centralizate datele brute unde au fost chestionate 17 persoane, din care s-au eliminat 7 persoane, pentru al doilea nivel rămânând doar 10 persoane, a căror date prelucrate fiind în situația în care un specialist a acordat pentru doi parametri același coeficient se vor anula.

Iar pentru nivelul al treilea se vor face corecțiile de rigoare și se va face optimizarea prin atribuirea coeficienților corespunzători celor 10 specialiști rămași pe bază de calcul, astfel încât să fie satisfăcută condiția de verificare a textului FISCHER sau Hi pătrat, simultan pentru toți factorii. Pe baza acestei metodologii au fost în final reținute numai punctajele atribuite de 10 specialiști din cei 17. Astfel au fost refăcute primele tabele obținând în final datele din tabele corectate pentru:

- Valori initiale ale productivității la prelucrarea cu jet hidraulic
- Valori corectate ale productivității la prelucrarea materialelor cu jet hidraulic
- Coeficient de corectie initial corectat privind productivitatea materialelor prelucrate cu jet hidraulic
- Valori initiale ale vitezei de uzare a duzei la prelucrarea materialelor cu jet hidraulic.

La definirea principalelor mărimi s-a ținut seama de mărimile esențiale care afectează procesul de prelucrare cu jet de apă. Aceste mărimi au fost identificate ca fiind cele care influențează direct procesul fiind determinate pe baza literaturii de specialitate studiate de autor. Ele au fost prezentate persoanelor chestionate în forma de mai sus și susținută pe bază verbală motivată alegerea numai a acestor mărimi și nu și a altora.

Chestionar pentru prelucrarea cu jet hidraulic

În vederea stabilirii ordinii de influență, prin metoda experimentului Delphi, a parametrilor reglabili asupra unor indicatori de performanță, la prelucrarea cu jet hidraulic, vă rugăm să precizați în chestionar, care este după părerea dumneavoastră ordinea. Se va utiliza ordinea descrescătoare de importanță a acestora de la 1 cel mai important la 7 cel mai puțin important.

Semnificația notiunilor din tabel este:

- presiunea nominală a jetului, p_j , (x_1); - grosimea de material, g , (x_5);
- viteza de avans a jetului, v_a , (x_2); - natura mediului de prelucrat (x_6);
- diam. nom. al duzei de jet abraziv, d_j , (x_3); - tipul de apă utilizată (x_7).
- distanța de la duza la material, h , (x_4);

Tabelul 1. Macheta studiului Delphi pentru prelucrarea cu jet hidraulic

Nr. crt.	Parametrii reglabili Indicatori de performanță (factori)	UM	p_j	v_a	d_j	h	g	Tip	Mediu
			MPa	mm/min	mm	mm	mm	apă	prelucrat
			(x_1)	(x_2)	(x_3)	(x_4)	(x_5)	(x_6)	(x_7)
1.	Productivitatea prelucrării	mm ³ /min							
2.	Viteza de uzare a duzei	ore							
3.	Rugozitatea suprafeței	μm							
4.	Lățimea superioară a tăieturii	mm							
5.	Lățimea inferioară a tăieturii	mm							
6.	Adâncimea de pătrundere în material	mm							
7.	Adâncimea stratului durificat	μm							
8.	Precizie geometrică este adimensională	-							

Parametrii trebuie să îndeplinească o singură condiție esențială “să nu fie în legătură unul cu celălalt”.

Precizia geometrică a tăierii și prelucrării materialelor este adimensională, măsurată în unități specifice.

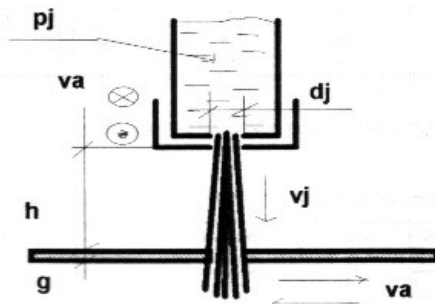


Fig. 1. Definierea principalelor mărimi specifice prelucrării cu jet hidraulic

În tabele s-au prezentat datele centralizate – valorile initiale pentru:

- rugozitatea suprafeței pentru prelucrarea cu jet hidraulic
- lățimea superioară a tăieturii realizate cu jet hidraulic
- lățimea inferioară a tăieturii realizate cu jet hidraulic
- adâncimea tăieturii la prelucrarea cu jet hidraulic
- adâncimea stratului durificat (comprimat) la prelucrarea cu jet hidraulic.

precizia dimensională a fâgasului.

Ponderarea opiniilor specialistilor si verificarea gradului de consens a acestora

Pe baza programului realizat pe calculator s-a putut realiza ponderarea opiniei specialistilor, astfel încât să se poată realiza verificarea conditiei impuse de testul Fischer.

În tabelul 2 se prezintă coeficientii de ponderare determinati. Se poate afirma cu certitudine că dacă pentru numărul de 10 specialisti a căror coeficient este mai mare ca 1 conform literaturii de specialitate nivelul de încredere α este ales a fi 0,1.

Tabelul 2. Coeficienti de ponderare a opiniilor specialistilor

Nr. experti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Coeficient	2,5	4	4	3,3	2,7	4	4	4	1	1	30,5

În cercetarea efectuata s-au intocmit tabele centralizate cu date de calcul pentru productivitate, rugozitate, strat durificat, lățime superioară si precizie dimensională care s-au dovedit a fi parametrii cei mai importanti de urmărit.

Reprezentări grafice

Reprezentarea grafică este o histogramă în care se prezintă variatia tuturor parametrilor în functie de factori de analiză. În fig. 2 se prezintă acest grafic de variatie.

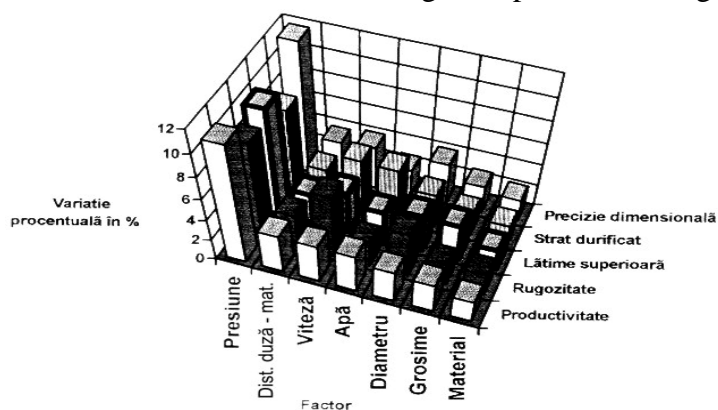


Fig. 2. Variatia procentuală a factorilor pentru prelucrarea cu jet hidraulic

Gruparea factorilor pe grupe de influență s-a realizat realizează pentru fiecare factor în parte utilizând criteriul K. Conform acestuia dacă pentru un număr de factori dat K calculat este mai mic decât K tabelat pentru un coeficient de încredere egal cu 0,05, atunci factorii au acelasi grad de influență. În caz contrar se elimină ultimul factor si se reface calculul pentru cei rămasi, verificându-se conditia mai sus mentionată. Valoarea calculată a lui K este dată de formula: [1, 4]

$$K_c = \frac{k \times R_{aj}}{\sum R_j} \quad (1)$$

unde: k este numărul de factori luat în calcul;

aj este valoarea medie a rangurilor ea se determină cu formula:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_{ij}}{m} \quad (2)$$

unde: R_{aj} este diferența între a_{jmax} și a_{jmin} determinati pe coloană;

ΣR_j este suma celor k factori.

Pentru automatizarea calculului s-a conceput un tabel care permite calculul automat al lui K. [1, 4]

Astfel pentru productivitate avem 7 factori cu datele cuprinse în tabelul 3.

Tabelul 3. Gruparea factorilor pentru productivitate la prelucrarea cu jet hidraulic

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Dist. duză-mat	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	3	5	2	6	7	4		
a_j	3,6	11,2	13,6	11	14,9	19,8	11,3	a_{jmax}	19,8
a_{jmax}	6	20	20	16	24	28	24	a_{jmin}	3,6
a_{jmin}	1	5	4	3	2,7	7	1	R	16,2
R_j	5	15	16	13	21,3	21	23	R_{jtotal}	114,3
K_c	0,99	nr.fact =	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 și apoi 6 și rezultă datele din tabelul 4.

Tabel final privind gruparea factorilor pentru productivitate la prelucrarea cu jet hidraulic

Tabelul 4

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Dist. duză-mat	Grosime	Material	Apă		
Poziție	1	3	5	2	6	7	4		
a_j	3,6	11,2	13,6	11			11,3	a_{max}	13,6
a_{jmax}	6	20	20	16			24	a_{min}	3,6
a_{jmin}	1	5	4	3			1	R	10
R_j	5	15	16	13	0	0	23	R_{jtotal}	72
K_c	0,69	nr.fact =	5						
K_t	0,83								

Cum $K_c < K_t$ se consideră că factorii 1 ... 5 sunt de importanță primară, iar ceilalți doi de importanță secundară. Acești 5 factori sunt ordonați în tabelul nr. 5.

Ierarhizare factorilor în valori procentuale pentru productivitate prelucrării materialelor cu jet hidraulic

Tabelul 5

Nr.crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	11,05 %
2	Dist. duză-material	3,64 %
3	Viteză	3,58 %
4	Apă	3,55 %
5	Diametru	2,94 %

În mod asemănător s-a procedat pentru rugozitatea suprafeței, pentru, lățimea superioară a tăieturii prelucrate cu jet hidraulic, pentru adâncimea stratului durificat la prelucrare cu jet hidraulic, pentru precizia dimensională la prelucrare cu jet hidraulic, adică s-au întocmit tabele cu gruparea factorilor și cu ierarhizarea factorilor în valori procentuale.

Interpretarea rezultatelor

Pe baza calculelor efectuate si a histogramelor trasate s-a realizat tabelul nr.6. În el se marchează pentru fiecare indicator de performanță ordinea de influență, fără însă a se marca si ponderea influentei.

Rezultate finale privind ordonarea factorilor la prelucrarea cu jet hidraulic

Tabelul 6

Nr. crt.	Factor	Presiune	Viteză prel.	Diametru	Dist. duză-mat	Grosime	Tip apă	Material prelucrat
1	Productivitate	1	3	5	2	x	4	x
2	Viteză uzare	1	x	2	4	x	5	3
3	Rugozitate	1	2	3	4	6	5	x
4	Lățime superioară	1	2	3	6	4	5	x
5	Latime inferioară	1	3	6	4	2	5	x
6	Adâncime patrundere	1	2	3	4	5	x	x
7	Adâncime durificare	1	2	4	5	6	3	x
8	Precizie dimensională	1	3	2	4	5	x	x

Luat global conform fig. 3 rezultă că cel mai important factor din proces este presiunea jetului de apă, ceilalti optimizându-si valoarea în functie de criteriul de optimizare urmărit.

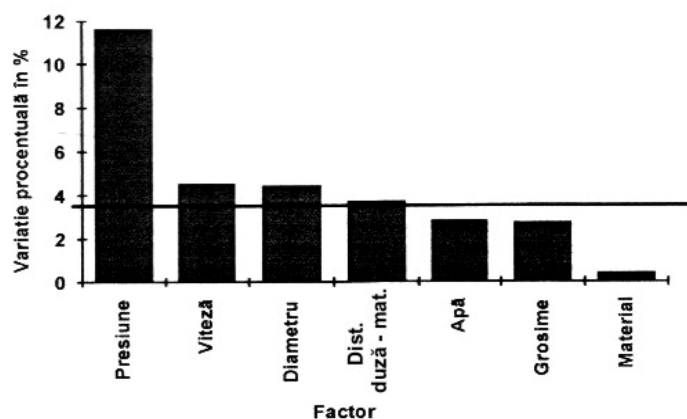


Fig. 3. Variatia procentuală a factorilor la prelucrarea cu jet hidraulic

Exceptând factorul viteză de uzare al duzei, asupra căruia influența directă secundară are diametrul duzei si materialul de prelucrat asa după cum era de asteptat, se obtine fig. 4 din care se observă că la ceilalti factori viteza de prelucrare si diametrul duzei, își împart locurile doi si trei, înălțimea este pe locul patru, iar locurile cinci si sase sunt împărțite de grosimea materialului prelucrat si de tipul de apă utilizat. Interesant este că materialul care se prelucrează, nu intră în discutie decât la viteza de uzare a duzei, în rest el fiind considerat ca factor secundar. În fig.4 s-a trasat o linie orizontală care desparte factorii considerati principali de cei considerati secundari. Fată de linia de demarcatie din fig. 3 se observă că cea din fig. 4 este mai cuprinzătoare fiind inclusă si înălțimea.

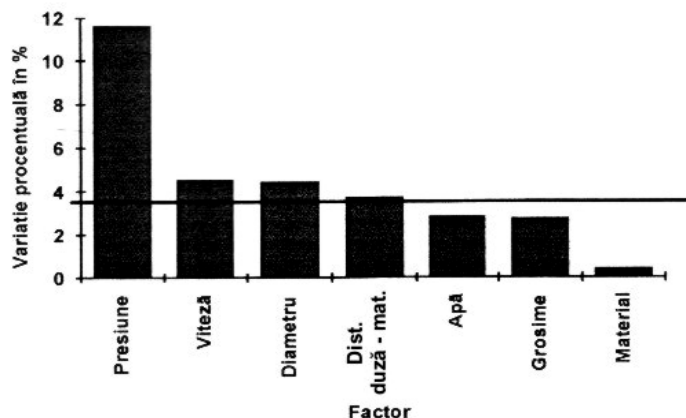


Fig. 4. Variatia procentuala finala a factorilor la prelucrarea cu jet hdraulic

Disponerea factorilor este astfel realizata incat sa poata fi eliminati factorii care nu prezinta influenta. Se poate sesiza cu usurinta ca factorii 2, 3 si 4 sunt foarte greu de departajat.

Daca se traseaza graficul de influenta al coeficientului de pondere a factorilor (fig. 5) se obtin datele din tabelul 7.

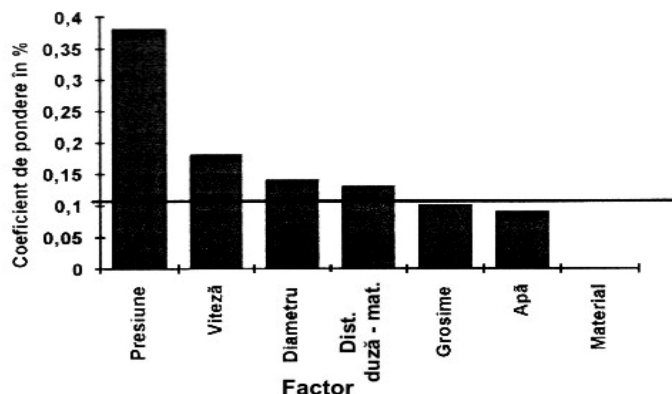


Fig. 5. Variatia coeficientilor de pondere la prelucrarea cu jet hdraulic

Tabelul 7. Calculul coeficientilor de ponderare la prelucrare cu jet hdraulic

Poz init.		Produc-tivitate	Rugo-zitate	Lătime super.	Lătime infer.	Adânc. pătrund	Adânc str. dur.	Preciz. dimens	Variat. procent
1	Presiune	11,05	9,04	9,68	9,09	10,13	7,80	11,70	9,8
2	Dist. duză-mat	3,64	3,20	2,98	3,05	3,54	3,10	3,59	3,3
3	Viteză	3,58	5,56	3,83	3,32	3,86	4,90	3,89	4,2
4	Apă	3,55	2,52	2,95	2,95	x	4,70	x	2,4
5	Diametru	2,94	4,18	3,55	2,94	3,74	3,20	3,92	3,5
6	Grosime	x	2,34	3,36	5,22	2,87	2,30	2,62	2,7
7	Material	x	x	x	x	x	x	x	0
	TOTAL	24,76	27,21	26,55	26,57	24,16	26	25,72	
Poz. finală		a_j	M_j						
1	Presiune	9,81	0,38						
4	Dist. duză-mat	3,29	0,13						
2	Viteză	4,20	0,16						
5	Apă	2,38	0,09						
3	Diametru	3,50	0,14						
6	Grosime	2,67	0,10						
7	Material	0,00	0,00						
	TOTAL	25,85	1,00						
	Val. med.		0,14						

În acest din urmă caz va intra în discuție și grosimea materialului care se situează la limita liniei de demarcație a factorilor principali de cei secundari. Prelucrarea datelor s-a realizat pe baza tabelului centralizator.

Rezultă deci că cercetările în domeniul prelucrării materialelor cu jet hidraulic conform opiniilor specialistilor se vor canaliza pe direcția investigării primilor cinci factori.

În același timp din același tabel 7 s-a făcut și o ordonare a importanței parametrilor analizați rezultând fig.6. Din analiză a rezultat astfel că cei mai importanți sunt productivitatea, rugozitatea și apoi stratul durificat cu același ordin de importanță. Ei sunt urmați la foarte mică distanță de lățimea superioară a tăieturii și precizia dimensională, iar în final de lățimea inferioară și adâncimea de prelucrare. Prin urmare se va orienta cercetarea asupra parametrilor mai importanți rezultați

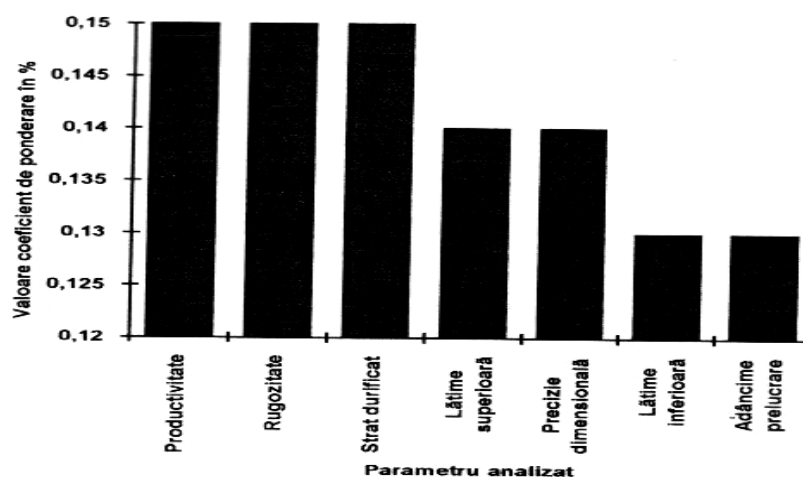


Fig.6. Ordonarea parametrilor analizați la prelucrarea cu jet hidraulic

Concluzie

În această lucrare s-a făcut o analiză a procesului de prelucrare cu jet hidraulic și jet hidraulic cu abraziv, în care a fost analizată influența fiecărui factor asupra parametrilor prelucrării. Se poate concluziona că modelele matematice și studiul întreprins, pot să constituie baza de pornire pentru optimizarea procesului de prelucrare pentru diferite materiale, cât și pentru realizarea programului de simulare a procesului de prelucrare cu jet hidraulic și respectiv cu jet hidraulic cu abraziv pe calculator, respectiv pentru elaborarea unui program expert de elaborare a tehnologiei de prelucrare cu jet hidraulic și respectiv cu jet hidraulic cu abraziv.

Referințe bibliografice

1. NICHICI, AL., CICALĂ, E. MEE, R.- Prelucrarea datelor experimentale, Lito. UP Timisoara – 1996.
2. ȘTEFAN, E. -Tehnologii neconventionale pentru tăierea și prelucrarea rocilor. Editura Universitas, Petrosani, 2012.
3. ȘTEFAN, E. - Contribuții la dezvoltarea unor tehnologii neconventionale pentru tăierea și prelucrarea rocilor, Teza de doctorat, 2012.
4. TALOI, D. Optimizarea proceselor tehnologice. Aplicații în metalurgie U.P. Timisoara – 1996
5. VASILESCU, D. - Program pentru determinarea principalelor parametri ai unei instalații de prelucrare cu jet de apă, Conferința a 3-a TCM Craiova – 1994
6. VASILESCU, D. - Considerații economice asupra alegerii soluției de prelucrare cu jet de apă a marmorei de carieră, A 3-a Conf. TCM Craiova – 1994
7. SANFIRISCA, P.- Contribuții la creșterea eficienței instalațiilor de tăiere a materialelor cu jeturi de înaltă presiune. Teza de doctorat, 2005.Petrosani.