

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH UKŁADÓW WIELOOSTRZOWYCH NA EFEKTYWNOŚĆ SKRAWANIA MATERIAŁÓW SKALNYCH

MULTI-TOOL SETS CONSTRUCTIONAL PARAMETERS INFLUENCE ON ROCK MATERIALS CUTTING EFFICIENCY

Artykuł przedstawia wyniki badań laboratoryjnych zmierzających do określenia wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego, takich jak wapień czy piaskowiec.

The paper presents some results of laboratory tests, which aim was to determine influence of multi-tool sets constructional parameters on final efficiency of rock materials cutting process.

1. Wprowadzenie

Definiując proces obróbki skrawaniem określa się, że "... jest on częścią procesu wytwarzania elementów urządzeń technicznych, w trakcie którego przedmiot obrabiany uzyskuje wymagane kształty, wymiary i jakość powierzchni przez usuwanie warstw nadmiaru zamienianego na wióry" [16]. Definicja ta stanowi jednak pewne uogólnienie, w efekcie czego pomijane jest szerokie zastosowanie obróbki skrawaniem w szczególnych przypadkach, do jakich należy między innymi skrawanie materiałów kruchych. Analizując proces skrawania materiałów kruchych pochodzenia technicznego [16] oraz naturalnego możemy stwierdzić, że wciąż istnieje niedostatek odpowiednich opracowań dotyczących tego zagadnienia zarówno teoretycznych, jak i doświadczalnych. Istota procesu skrawania klasycznych materiałów, jakimi są metale znana jest w wielu aspektach, a jej powszechność nie podlega najmniejszej dyskusji. Zupełnie odmiennie jest w przypadku materiałów kruchych, gdzie przy pracach nad analizą procesu skrawania wciąż napotykamy na liczne trudności. Szczególnie ma to miejsce w przypadku analizy wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielonarzędziowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego.

1. Introduction

Cutting process can be defined, as "... part of technical devices production process, during which workpiece obtains required shapes, sizes and surface quality as a result of allowance removal, which is changed into chips" [16]. This definition can be considered as to be some generalization, in which some important applications of cutting process are neglected. It is especially related to the process applications for brittle materials cutting, such as technical and natural (rock materials). When analysing technical brittle [16] and natural materials cutting process we can notice some lack of elaborations of this kind of materials cutting process, both - from theoretical and practical point of view. The theory of classical materials cutting process, there is metals cutting is well known in several different aspects. It is completely different in the case of brittle materials, when we are faced by several problems during most analytical and empirical investigations. These problems appear especially when we try to analyse influence on multi-tool sets constructional parameters on efficiency of natural brittle materials cutting process.

2. Skrawanie skał głowicami wielostrzowymi w świetle rozważań literaturowych

Z przeprowadzonych dotychczas badań [m.in.: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 18] zmierzających do określenia optymalnych wartości parametrów procesu skrawania skał w układach wielostrzowych wynika, że jest to zagadnienie złożone i nie poznane odpowiednio dokładnie. Otrzymywane wyniki badań w tym zakresie są dość rozbieżne. Może to być między innymi efektem różnicy geometrii narzędzi skrawających stosowanych w badaniach, jak i różnic na przykład kąta bocznego rozkruszenia wynikających ze zróżnicowanych właściwości badanych materiałów skalnych, kierunku skrawania oraz głębokości skrawania. Różnice te prawdopodobnie wynikają również z faktu analizowania procesu skrawania materiałów kruchych wyłącznie w układzie jednego ostrza, co stanowi istotne uproszczenie.

Z przeprowadzonej przez autora analizy dotychczasowego stanu wiedzy z zakresu badania procesu skrawania skał głowicami wielostrzowymi wynikają między innymi następujące wnioski:

- analizując parametry konstrukcyjne elementu roboczego, dotyczące skrawania skał w układzie wielostrzowym należy brać pod uwagę cechy konstrukcyjne głowicy skrawającej oraz rozmieszczenie noży, uwzględniając podziałkę poprzeczną t i podziałkę kątową t_0 , liczbę linii skrawania oraz liczbę noży w jednej linii,
- podstawowym parametrem decydującym o wielkości sił występujących w procesie skrawania materiałów kruchych oraz wartości energii jednostkowej jest podziałka linii skrawania (podziałka poprzeczna),
- ze względu na pozyskiwany sortyment skrawanej skały należy dążyć do zapewnienia jak największej głębokości skrawania h_D (odpowiednio do właściwości skrawanego materiału), co można między innymi uzyskać redukując odpowiednio liczbę noży w linii skrawania,
- przy stałej głębokości skrawania opór rośnie wraz z powiększeniem podziałki poprzecznej,
- właściwy dobór podziałki poprzecznej i kątowej powinien nie tylko zapewniać odpowiedni układ skrawania w powiązaniu z głębokością skrawania, ale również umożliwiać osiągnięcie jak najniższej wartości energii urabiania,
- zbyt duża liczba noży na głowicach skrawających powoduje zbędne straty energii na procesy uboczne towarzyszące skrawaniu,

2. Rock cutting with multi-tool heads in literature

Several experimental and theoretical investigations, which aim was to determine optimal values of rock cutting parameters with the use of multi-tool sets prove, that this topic is complex and not well enough known [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 18]. Results obtained from these investigations and researches are usually different and for several reasons cannot be compared. These differences in results obtained during experiments come from differences in geometry of cutting tools used in tests, differences of cut materials mechanical and physical properties, cutting direction or cutting depth. Another explanation of these differences is also typical way of process analysis. Most researchers analyse the process only from one, single cutting tool point of view. This way of analysis can be described as important simplification of real conditions, having huge influence on final results.

From author's literature studies on analysis and investigations of multi-pick cutting process parameters (especially in the case of natural brittle materials), follow such inferences as:

- When analysing constructional parameters of cutting head or another working element, in the case of rock materials cutting with the use of multi-tool sets, one have to take into consideration constructional properties of cutting heads together with rules of cutting tools placing on the head. It means, that from this point of view, among several parameters important for process final result and its efficiency there are: lateral scale between tools (t), angular scale between tools (t_0), number of cutting lines and number of cutting tools in each line.
- The basic parameter deciding about cutting forces value and value of unitary cutting energy during natural brittle materials cutting is the scale between cutting lines (lateral scale).
- For achieved cut rock material chip size one should try to make provision for the highest possible cutting depth (h_D), what among other methods can be obtained as a result of reduced number of cutting tools in lines.
- If the cutting depth has constant value, the value of cutting resistance grows together with increasing value of lateral scale.
- Proper choice of lateral and angular scales values should provide not only correct cutting tools configuration in relation to cutting depth value, but also possibility to achieve the lowest values of energy consumed during rock materials cutting process.
- To highest number of cutting tools on multi-pick heads causes needless energy loss on additional processes, which appear during cutting.

- dla obniżenia wartości sił skrawania stanowiących podstawowy parametr decydujący o efektywności procesu skrawania, niezbędne jest dobranie podziałki linii skrawania (podziałki poprzecznej t) w taki sposób, aby powiązać ze sobą parametry ruchowe i konstrukcyjne maszyny przy uwzględnieniu właściwości skrawanego materiału.

Ostatecznie stwierdzić można, że badania wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych głowicy wieloostrowej na proces skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego są jak najbardziej celowe. W świetle przedstawionej analizy literaturowej, określenie zależności wartości siły skrawania jako funkcji t_0 i t/h_D , z technologicznego punktu widzenia jest w pełni wystarczające do poznania charakterystyki tego procesu w skali makro, i w dalszej kolejności do określania na przykład optymalnego rozmieszczenia noży skrawających na głowicy wieloostrowej.

3. Badania laboratoryjne zależności efektywności skrawania materiałów skalnych od wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wieloostrowych

W celu dokonania pełnej analizy wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wieloostrowych na efektywność skrawania materiałów skalnych przeprowadzono odpowiednie badania laboratoryjne [8, 11, 12, 13, 14]. W ich trakcie analizowano, w jaki sposób podziałka poprzeczna t rozmieszczenia noży, podziałka kątowa t_0 oraz głębokość skrawania h_D wpływają na obciążenie poszczególnych narzędzi układu wieloostrowego. Celem tak prowadzonych prac było między innymi określenie, w jaki sposób należy rozmieszczać narzędzia na głowicy skrawającej, aby wykorzystując efekt ich grupowej pracy uzyskać maksymalną efektywność procesu skrawania. Ponadto wyniki prac pozwoliły na uzyskanie dodatkowych informacji o przebiegu procesu zarówno w skali mikro, jak i makro.

Dla przykładu, analizując w tym celu jeden z przebiegów wykresu obrazującego zależność wartości siły skrawania od głębokości skrawania przy różnych wartościach podziałki poprzecznej dla noża NKP-2w numer 1 (rys. 1 a) stwierdzono, że wartość siły skrawania rośnie wraz ze wzrostem głębokości w niemal identycznym stopniu dla wszystkich analizowanych wartości podziałki poprzecznej. Dla $t_0=0^\circ$ nie widać znaczącego wpływu podziałki poprzecznej na wartość F_c . Podobnie, przy podziałce kątowej $t_0=5^\circ$ (rys. 1b) charakter przebiegu krzywych oraz wartości sił skrawania są zbliżone. Jedynie kształt wykresu jest w tym przypadku bardziej paraboliczny, z mak-

- Cutting force value is the most important factor deciding about cutting process efficiency. To reduce value of cutting forces during natural brittle materials cutting, one have to select proper value of cutting lines scale (lateral scale t) in such way, which ties together constructional and exploitation parameters of cutting head or the whole machine, taking into consideration properties of cut rock material.

Finally, we can certify that analytical and empirical investigation in the field of rock materials cutting process, especially related to multi-tool sets constructional parameters influence on the process efficiency are important and technologically needed. Basing on above presented results of literature studies we can be sure that proper determination of cutting forces values as a function of angular scale value (t_0) and linear scale to cutting depth quotient value (t/h_D), is quite enough to get knowledge of the process in macro scale, especially from the technological point of view. Such knowledge makes us able to determine optimal cutting tools arrangement on the head.

3. Laboratory experiments on rock cutting efficiency dependence of selected multi-tool sets constructional parameters

Laboratory experiments were carried out to make detailed analysis of selected multi-tool sets constructional parameters influence on rock materials cutting efficiency [8, 11, 12, 13, 14]. During the experiment and later experimental data analysis, it was analysed how the values of: lateral scale between cutting tools (t), angular scale (t_0) and cutting depth h_D result on cutting forces values measured on cutting tools group placed on the multi-pick head. The aim of such investigations was to determine how cutting tools should be arranged on the multi-tool heads to make possible use of their group work effect, and as a final result - to achieve maximal efficiency of the cutting process? In addition, results of these experiments gave us accessory knowledge about the process, both - in micro and macro scales.

For example, when analysing one the figures presenting cutting force value on the first tool of the set (NKP-2w type) as a function of cutting depth for different values of lateral scale (fig. 1 a), it was noticed that cutting force value grows together with increased cutting depth value for all analysed values of the lateral scale. For $t_0=0^\circ$ important influence of the lateral scale on the cutting force doesn't appear. Similarly, when angular scale value was equal to 5° (fig. 1 b) function shape and cutting forces values are almost the same as in the previous case. Only function shape in this case is more parabolic, with the highest cutting force value stabilizing on the level equal to

symalną wartością siły skrawania stabilizującą się na poziomie $F_c = 2.70 \text{ kN}$. Bardzo ciekawą zależność zaobserwowano, gdy podziałka kąтова osiągnęła wartość $t_0 = 10^\circ$ (rys. 1c). Odległość kąтова pomiędzy poszczególnymi nożami była w tym przypadku największa z dotychczas analizowanych. Krzywa opisująca zależność $F_c = f(h_D)$ jest tutaj wyraźną parabolą, przy czym szybszy wzrost wartości siły skrawania ze wzrostem głębokości zaobserwowano przy podziałce $t = 45 \text{ mm}$ niż przy $t = 60 \text{ mm}$ i $t = 100 \text{ mm}$. Omawiany przypadek dotyczy noża numer 1, a więc wyprzedzającego. Wyraźnie widzimy tutaj pewien wpływ podziałki poprzecznej, jak i kątovej na wartość mierzonych na tym nożu sił skrawania. We wszystkich analizowanych tutaj przypadkach (rys. 1a, 1b, 1c) wartość tej siły stabilizuje się na zbliżonym poziomie w obszarze $h_D = 25 \text{ mm}$.

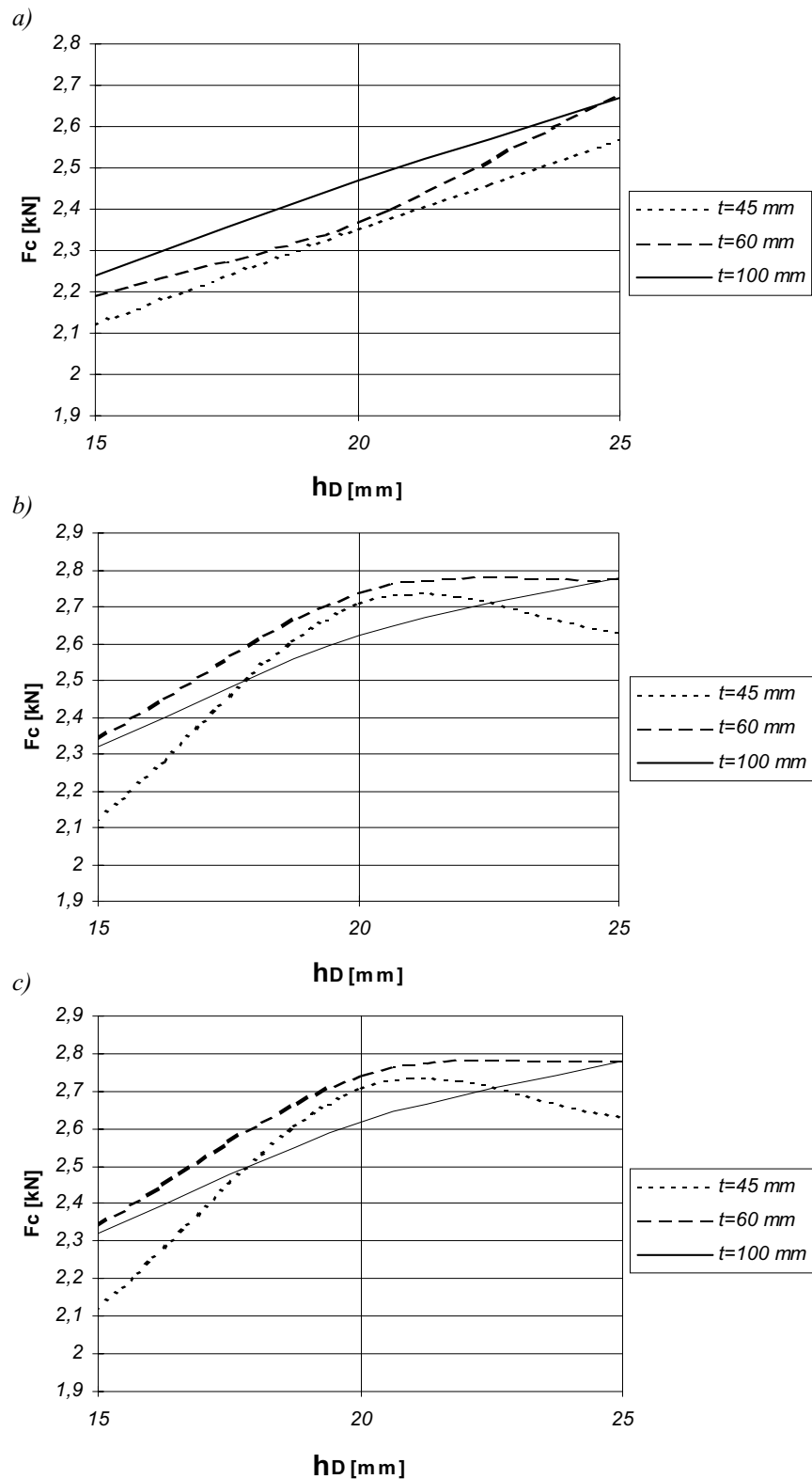
Na podstawie tak przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych badań skrawania skał w układzie wielostrzowym oraz uzupełniającym je analizom modeli teoretycznych [8, 11, 12, 13, 14], możliwe jest wyciągnięcie między innymi następujących wniosków:

- Uzyskanie optymalnej efektywności procesu skrawania skał głowicami wielostrzowymi w aspekcie minimalnych wartości sił skrawania możliwe jest poprzez odpowiedni dobór wartości parametrów konstrukcyjnych charakteryzujących głowice skrawające (h_D , t , t_0).
- Projektując układ nożowy głowicy skrawającej należy tak dobrać jej parametry, aby zapewnić grupowe oddziaływanie noży unikając jednocześnie wykonywania skrawania wymagającego użycia sił skrawania o dużych wartościach. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla analizowanego zakresu głębokości skrawania przy pracy równoległej układu noży ich wzajemny na siebie wpływ występuje jedynie przy podziałce poprzecznej nie przekraczającej $t = 45 \text{ mm}$. Przy przesunięciu kątowym noży obniżenie wartości sił skrawania możliwe jest przy zastosowaniu t z zakresu 40 do 60 mm. Powyżej $t = 60 \text{ mm}$ każdy z noży pracuje samodzielnie i nie podlega wpływowi noży sąsiednich.
- W analizach procesu skrawania materiałów kruchych, bazując na rozważaniach teoretycznych część autorów przyjmuje liniową, a część - potęgową zależność wartości siły skrawania od grubości warstwy skrawanej. Przeprowadzone badania wykazały, że analizując skrawanie wapienia nożami typu NKP-2w oraz Rapid 83, przy ich pracy równoległej zależność $F_c = f(h_D)$ należy traktować jako funkcję liniową, natomiast przy rozstawionym układzie noży - jako potęgową.
- W efekcie analizy wyników badań laboratoryjnych stwierdzono, że w przypadku skrawania z niezerową podziałką kątową ma miejsce zwiększenie wartości

$F_c = 2.70 \text{ kN}$. Very interesting relation was also noticed when the angular scale value reached $t_0 = 10^\circ$ (fig. 1 c). Angular scale between cutting tools in that case had the highest value among all analysed before. The curve presenting relation $F_c = f(h_D)$ was clearly parabolic, and the highest increase of cutting force occurring with increase of cutting depth value was noticed when lateral scale was equal to $t = 45 \text{ mm}$, not when $t = 60 \text{ mm}$ or $t = 100 \text{ mm}$. This case refers to the first tool in the multi-pick cutting set. In that case we can clearly notice some influence of both - lateral and angular scales values on cutting forces values measured on the tool. In all analysed cases (fig. 1 a, 1 b, 1 c) cutting force value reached stabilization level when $h_D = 25 \text{ mm}$.

Basing on described above laboratory experiments analysing rock cutting process with the use of multi-tool heads and additional analysis of theoretical models [8, 11, 12, 13, 14] we can come to conclusion that:

- It is possible to achieve optimal efficiency of rock cutting process with the use of multi-tool heads (in the aspect of minimal cutting forces values), as a result of proper cutting head constructional parameters characterized by cutting depth, lateral and angular scales between cutting tools and its lines.
- When designing tools set on the cutting head it is necessary to choose its geometrical parameters in the way, which makes possible to use effect of their work group, avoiding cutting, which requires use of high value cutting forces. As a results of laboratory experiments and further tests we can conclude, that for the parallel work of the tools, their group work effect appears only when lateral scale value doesn't exceed $t = 45 \text{ mm}$. When angular scale is different than 0° , cutting forces reduction in analysed research object was possible only when lateral scale was equal to 40 to 60 mm. Above $t = 60 \text{ mm}$ each tool works separately and is not influenced by any other tool of the set.
- In the analysis of natural brittle materials cutting process, basing on theoretical investigations, some authors use linear, while others involution relation between cutting force value and cutting depth. Laboratory experiments on NKP-2w and Rapid-83 tools show, that when the tools work in a parallel system the function $F_c = f(h_D)$ is linear. Otherwise the function has involution form.
- As a result of laboratory tests it was noticed, that when the angular scale was different than $t_0 = 0^\circ$, cutting force value measured on the first tool in



Rys. 1. Zależność wartości siły skrawania od głębokości skrawania przy różnych wartościach podziałki poprzecznej dla noża nr 1 (typu NKP-2w): a) $t_0=0^\circ$, b) $t_0=5^\circ$, c) $t_0=10^\circ$

Fig. 1. Cutting force value in relation to cutting depth for different values of lateral scale (for the first NKP-2w type tool in the set): a) $t_0=0^\circ$, b) $t_0=5^\circ$, c) $t_0=10^\circ$

sił skrawania noża pracującego z wyprzedzeniem w stosunku do noży cofniętych średnio o około 25%.

- Skrawaniu głowicami wielostrzowymi towarzyszy ciągła zmiana wartości głębokości skrawania od zera do h_{Dmax} , powodująca jednocześnie chwilowe wzrosty wartości siły skrawania na poszczególnych nożach. Stwierdzono, że zastosowanie przesunięcia kąтового noży w zakresie 6 do 80 (noże NKP-2w) oraz około 50 (noże Rapid 83) powoduje wolniejszy wzrost wartości siły skrawania noży cofniętych oraz szybszą stabilizację jej wartości.
- Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych określono, że w przypadku układu nożowego pracującego z podziałką kątową $t_o > 0$, optymalna wartość ilorazu t/h_D dla noży typu NKP-2w wynosi około 2 do 4, natomiast w przypadku noży Rapid 83 mieści się w zakresie 3 do 5.
- Stwierdzono, że z uwagi na kryterium efektywności skrawania oraz charakter pracy noża, korzystniej w porównaniu z nożem NKP-2w pracuje nóż Rapid 83, szczególnie w zakresie głębokości skrawania do 20 mm i podziałek kątowych rozmieszczenia noży nie przekraczających wartości 50.
- Celowe jest kontynuowanie badań laboratoryjnych o podobnym profilu, celem określenia wpływu wartości pozostałych parametrów charakteryzujących skrawanie materiałów kruchych na pracę układów wielostrzowych, szczególnie w aspekcie modyfikacji geometrii ostrza skrawającego.

4. Podsumowanie

Jak wynika z rozważań przeprowadzonych w niniejszej pracy, określając parametry konstrukcyjne układu nożowego na głowicy skrawającej należy brać pod uwagę szereg różnych czynników, często wzajemnie się znoszących. Dlatego też projektując taki układ wielostrzowy należy dojść do kompromisu zapewniając optymalne parametry skrawania, oraz minimalne kruszenie materiału skalnego przy jak najmniejszym poborze mocy. Na tej podstawie można jednoznacznie stwierdzić, że ustalenie geometrii rozmieszczenia noży na głowicy skrawającej w aspekcie minimalnego, a tym samym optymalnego obciążenia narzędzi wymaga znalezienia odpowiedniego kompromisu pomiędzy parametrami istotnymi dla tego zagadnienia. Kompromisem są w tym przypadku właśnie odpowiednie wartości parametrów t/h_D i t_o , o wartościach z analizowanego obszaru rozwiązań. Nie można bowiem dobrać odpowiednich wartości parametrów konstrukcyjnych głowicy wielostrzowej, analizując je wybiórczo lub bez uwzględnienia ich wzajemnego na siebie wpływu.

the set was 25% higher than the same force measured on any other tool of the multi-tool cutting set.

- When we use cutting with multi-tool heads the cutting depth value changes from zero to h_{Dmax} causing temporary increase of cutting force value on the tools. It was noticed that for angular scale value from 6 to 80 (NKP-2w tools) and about 50 (Rapid 83 tools) causes slower increase of back tools cutting force value and its faster stabilization.
- Basing on described experiments it was noticed that for the cutting set working with angular scale $t_o > 0$ optimal value of t/h_D for NKP-2w tools is equal to about 2 to 4. In the case of Rapid 83 is equal to 3 to 5.
- When comparing work efficiency and work character of both analysed tool types - NKP-2w and Rapid 83, especially for cutting depth not higher than 20 mm and angular scales between tools lower than 50, better results were obtained for the Rapid 83 toll than for NKP-2w.
- It is necessary to continue this kind of experiments and investigations aiming to determine another parameters (typical for rock materials cutting process) influence on multi-tool heads work results and efficiency, especially in the case of cutting tool geometry modification.

4. Final conclusions

From described above laboratory experiments it follows, that when determining constructional parameters of the multi-tool cutting heads, and especially parameters of the tools set - it is necessary to take into consideration several different parameters, which sometimes even drift each other. It means that design of such multi-tool set requires finding a kind of compromise, which assures optimal cutting process, for example technological parameters. This way we can find that determination of cutting tools placing on the mullet-tool head in the aspect of minimal, there is optimal tools load, requires finding proper compromise between parameters important for this matter. Compromise in this case means proper values of such parameters as t/h_D and t_o , there is values from analysed solutions area. It is impossible to make proper choice of discussed multi-tool head constructional parameters analysing all off them separately, without taking into consideration their interdependence.

4. References

- [1] Chodura J. - *Podstawy doboru układu noży na organach urabiających kombajnów ścianowych (cz. 1)*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 7/1994.
- [2] Chodura J. - *Podstawy doboru układu noży na organach urabiających kombajnów ścianowych (cz. 2)*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 2/1996.
- [3] Krauze K. - *Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych frezującego organu ślimakowego na obciążenie ścianowego kombajnu węglowego*. Wydawnictwa AGH. Kraków 1994.
- [4] Krauze K. - *Wyznaczenie obciążenia organu frezującego kombajnu ścianowego*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6/1992.
- [5] Kruszecki L., Losiak S., Losiak H. - *Wpływ grubości i podziałki skrawów na opory skrawania*. Mechanizacja Górnictwa. Nr 8/1965.
- [6] Lebrun M. - *Analyse des facteurs influencant la marche d'ne machine d'battage a pics*. Industrie Minerale - des Techniques. Mai 1983.
- [7] Losiak S. - *Ustalenie wpływu kąta wierzchołkowego i bocznej krawędzi tnącej noży wrębowych na opory urabiania węgla*. Praca doktorska. AGH. Kraków 1966.
- [8] Lutek K., Mazurkiewicz D. - *Methods and preliminary results of laboratory tests, in multi-pick system analysis, with the influence of geometrical elements on rock cutting process*. The International Conference "New trends in mechanical engineering on the threshold of the third millennium". TU Kosice (Slovak Republic), 1997.
- [9] Matyja S. - *Badania nad doborem układu noży na organie urabiającym kombajnu*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 7/1975.
- [10] Mazurkiewicz D. - *Computer Aided Modeling and Simulations in Rock Cutting Process Analysis*. Maintenance and Reliability - Journal of the Polish Academy of Sciences and the Polish Maintenance Society. Nr. 6, 2000, pp.: 27-40
- [11] Mazurkiewicz D. - *Empiriceskije i analiticeskije modeli processa riezaniya gornych porod*. Fiziko-Tehnicieskie Problemy Razrabotki Poleznych Iskopajemyh, Rossijskaja Akademiya Nauk, (Journal of the Soviet Academy of Science published in Russian language), No. 5/2000, pp.: 75-81.
- [12] Mazurkiewicz D. - *Empirical and analytical models of cutting process of rocks*. Journal of Mining Science by Kluwer Academic/Plenum Publishers, Vol. 36, No. 5. 2000, pp.: 481-486.
- [13] Mazurkiewicz D. - *Typical rock cutting tools geometry influence on their group work*. The 2nd International Conference "Development of Metal Cutting in Czech Republic, Hungary, Poland and Slovakia, RTO-DMC'98". TU Kosice (Slovak Republic), 1998
- [14] Mazurkiewicz D., Lutek K. - *Multi-pick head geometrical parameters influence on cutting process*. The Second International Congress "Mechanical Engineering Technology '99". Sofia (Bulgaria), 1999.
- [15] Nishimatsu Y. - *The mechanics of rock cutting*. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Vol. 9, Pergamon Press 1972.
- [16] Oczóś E.K. - *Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1996.
- [17] Sedlaczek J. - *Wpływ konstrukcji kombajnu ścianowego oraz parametrów jego urabiania na poziom zapylenia*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6/1991.
- [18] Staroń T., Mazurkiewicz D. - *Comparison of some rock cutting forces' methods calculations using conical tool with laboratory test results*. ZN AGH Serii Górnictwo. Rok 18. Zeszyt 1/1994

*Praca powstała w ramach realizacji
projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych
PB-1505/T12/99/16*

Dr inż. Dariusz Mazurkiewicz

Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji

Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 36

e-mail: dar_maz@archimedes.pol.lublin.pl
