

Antoni KALUKIEWICZ

Adam KLICH

Instytut Maszyn Górniczych,
Przerobczych i Automatyki
Akademii Górniczo-Hutniczej
w Krakowie

PRZEGLĄD METOD I BADAŃ W ZAKRESIE URABIANIA SKAŁ STRUMIENIEM CIECZY O WYSOKIM CIŚNIENIU

1. Wprowadzenie

Próby wykorzystania energii kinetycznej strumieni płynów do urabiania skał oraz niszczenia struktur innych materiałów przez cięcie i perforowania itp. metody zostały podjęte na szeroką skalę w latach 50. Prace nad rozwiązaniem tak postawionego problemu prowadzone były i są w dwóch kierunkach:

- doskonalenie i opracowywanie nowych konstrukcji urządzeń do wytwarzania wysokociśnieniowych strumieni cieczy z możliwością zmiany ich parametrów i efektywnego operowania nimi,
- określenie efektywności działania tego rodzaju strumieni, w zależności od ich parametrów i warunków stosowania.

Postęp prac w pierwszym z wymienionych kierunków spowodował znaczne rozszerzenie zakresu efektywnego zastosowania strumieni o możliwych do uzyskania parametrach, co wpłynęło na fakt, że obecnie większość prac prowadzonych jest w ramach drugiego z wymienionych kierunków.

Prace te dotyczą określenia racjonalnego zakresu zastosowania techniki strumieniowej w różnych gałęziach przemysłu, a między innymi w górnictwie jako samodzielnego narzędzia do urabiania skał. Strumień jako samodzielne narzędzie urabiające może być wykorzystany do urabiania skał poprzez:

- cięcie skały /bezpośrednie niszczenie jej struktury przez oddzielanie bardzo drobnych frakcji z masywu skalnego/,
- urabianie poprzez samoczynne wykruszanie się skały z pomiędzy nacięć wykonanych strumieniem,
- wycinanie bloków skały przy użyciu strumieni działających na caliznę pod różnymi kątami.

Ponadto znane są metody wykorzystania strumienia cieczy w kombinacji z narzędziami skrawającymi i odbijającymi.

W zależności od parametrów skały oraz strumienia wspomagania narzędzi tradycyjnych polega na:

- intensywnym chłodzeniu ostrza narzędzia,
 - wykonywania na powierzchni calizny siatki nacięć, obniżającej pozornie zwięzłość skały, co ułatwia późniejsze jej urabianie narzędziami skrawającymi,
 - równocześnie działanie na skałę narzędzia skrawającego oraz strumienia.
- W wyżej wymienionych działaniach bada się możliwość wykorzystania następujących rodzajów strumieni:
- ciągłych,
 - a) wodnych,
 - b) wodnych z dodatkami poprawiającymi spójność strumienia,
 - c) z dodatkami ściernymi.
 - kawitacyjnych,
 - pulsacyjnych,

2. Wyniki prac badawczych nad urabianiem skał z wykorzystaniem strumieni ciągłych.

Prace teoretyczne, konstrukcyjne i badawcze prowadzono w tym zakresie w licznych ośrodkach (USA, RFN, Japonia, Kanada, ZSRR) oraz w Polsce.

W USA /4/ prowadzono badania na próbkach betonowych a uzyskane wyniki ilustruje rys. 1 oraz wykresy rys. 2 do 5. Jak widać głębokość penetracji w betonie zależy prawie liniowo od ciśnienia. Powierzchnia przecięcia (rys.3) początkowo rośnie ze wzrostem prędkości przemieszczania dyszy i przy wartości jej przemieszczania równej ok. 0,8 m/s osiąga wartość maksymalną, a następnie szybko maleje. Rys. 4 przedstawia zależność głębokości penetracji w funkcji odległości wylotu dyszy od powierzchni betonu. Wyniki uzyskane przy wielokrotnym ruchu dyszy przedstawiają wykresy na rys. 5.

Odpowiednie badania lecz dla innych parametrów strumienia prowadzono w IMGPIA AGH.(6,7). W odróżnieniu od poprzednio wymienionych badań dodatkowo zmieniano parametry badanego betonu. Badania prowadzone w AGH na płytach betonowych określiły głębokość penetracji "g" oraz "E" energię jednostkową cięcia dla następujących przedziałów zmienności pozostałych parametrów.

ciśnienie 110 - 200 MPa,

średnice dysz 0,8 - 1,2 mm,

prędkości względnej strumienia 0,76 - 2,85 m/s.

Cytowane badania amerykańskie prowadzono:

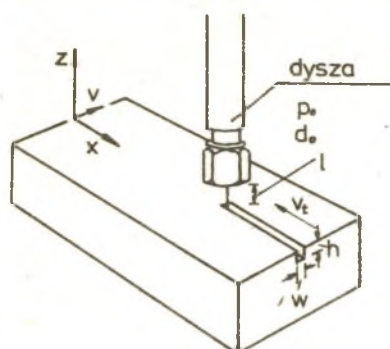
przy ciśnieniach 60 - 366 MPa,

średnicach dysz 0,3 - 1,0 mm,

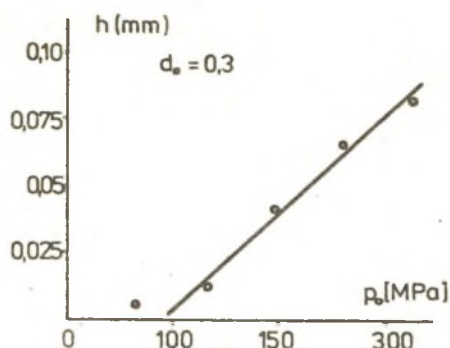
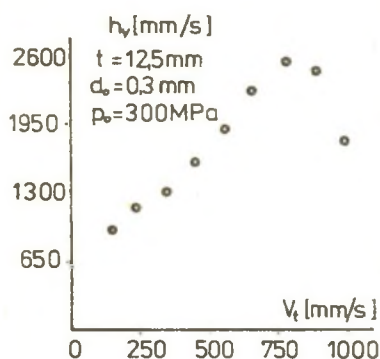
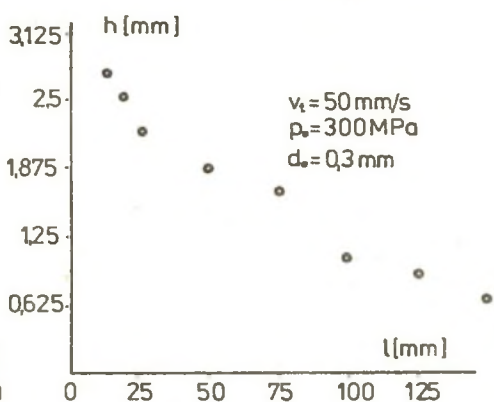
prędkościach względnych strumienia 0,1 - 1,0 m/s.

Prowadzona przez autorów amerykańskich dokładna analiza ekonomiczna wykazuje opłacalność stosowania cięcia strumieniem.

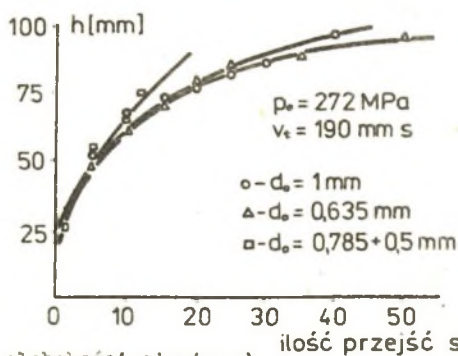
Z punktu widzenia przydatności strumieni do urabiania skał bardzo istotnym jest określenie koniecznej gęstości siatki nacięć calizny umożliwiającej wykruszanie skały pozostającej między sąsiednimi nacięciami.



Rys. 1. Schemat cięcia próbki betonowej

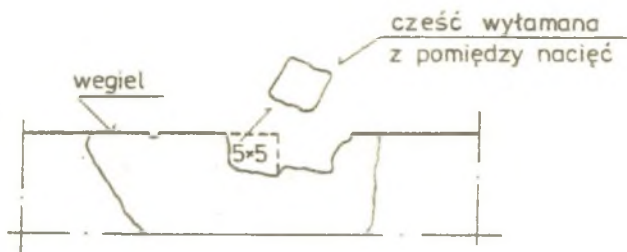
Rys. 2. Zależność głębokości cięcia h od ciśnienia p_s Rys. 3. Zależność wydajności cięcia od prędkości względnej dyszy v_t 

Rys. 4. Zależność głębokości cięcia od odległości dyszy od czołowej



Rys. 5. Zależność głębokości cięcia od ilości przebiegów strumienia

Z licznych badań obcych oraz badań własnych wiadomo, że tylko skały o bardzo niejednorodnej budowie, posiadające wyraźny kłiważ, uwarstwienie czy inne płaszczyzny osłabionej spójności wykruszają się dość łatwo z przestrzeni pomiędzy nacięciami. Takie badania prowadzono dla węgla w szerokim zakresie parametrów strumienia, uzyskując podobne wyniki. Dla ilustracji załącza się rysunek 6 z badań kanadyjskich (4). Badania te prowadzono przy ciśnieniach 69 - 172 MPa. W Polsce w ramach szerokich badań laboratoryjnych i dołowych prowadzonych w Kopalni M-300 w Zabrze przebadano szczególnie (6) również zagadnienie wykruszania się skały pomiędzy nacięciami.



Rys. 6. Wyłamanie bryły skały pomiędzy sąsiednimi nacięciami (węgiel)

Uzyskane wyniki ilustruje wykres na rys. 7. Na wykresie przedstawiono zależność tzw. wskaźnika wykruszania $W = \frac{g}{g_w}$, w funkcji odległości wzajemnej sąsiednich nacięć "X",

gdzie g - głębokości nacięcia węgla przez strumień,

g_w - głębokość wykruszania bryły urobku pomiędzy nacięciami.

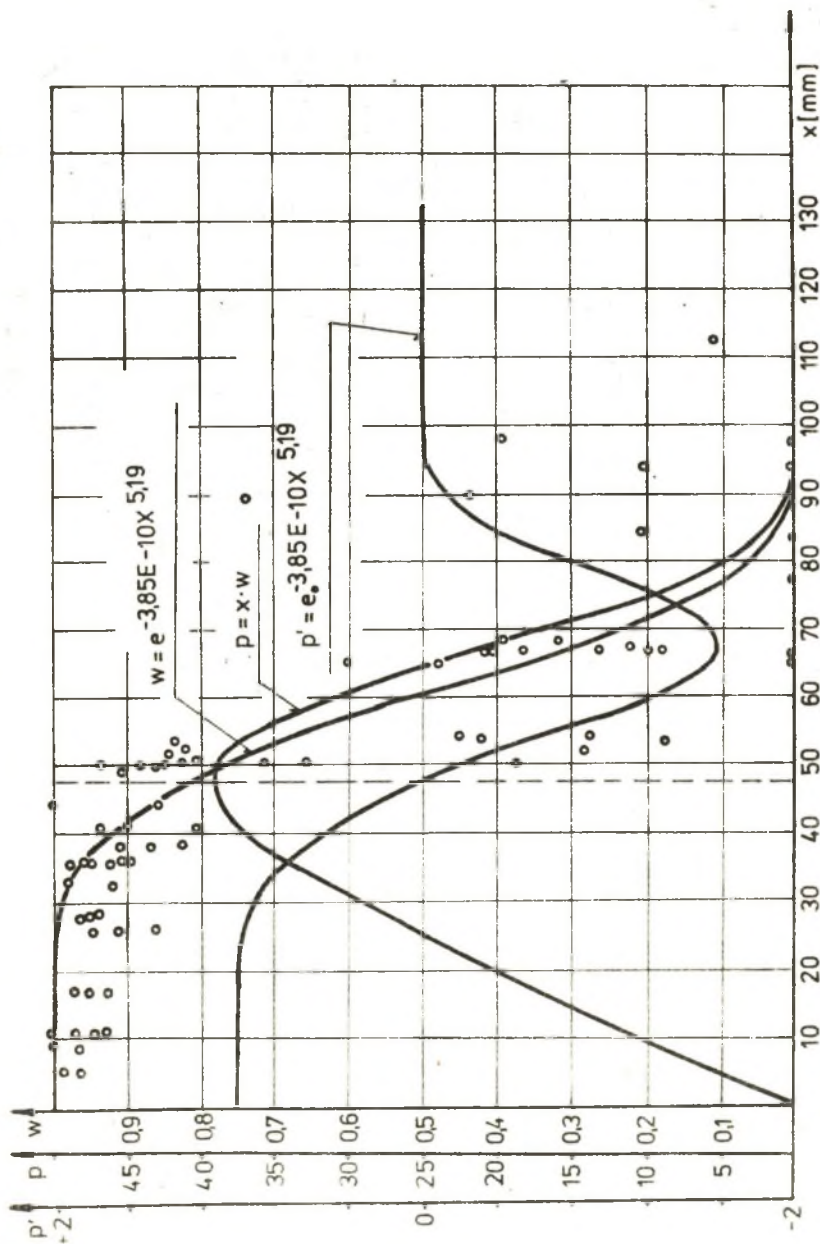
Jak widać wskaźnik wykruszania utrzymuje się na wysokim poziomie bliskim jedności do wartości $x = 40 - 50$ mm, następnie szybko jego wartość maleje do zera, co znaczy, że nie następuje wykruszanie.

Na tym samym rys. naniesiono wartość $P = w \cdot x$ oraz pierwszą pochodną tej wielkości.

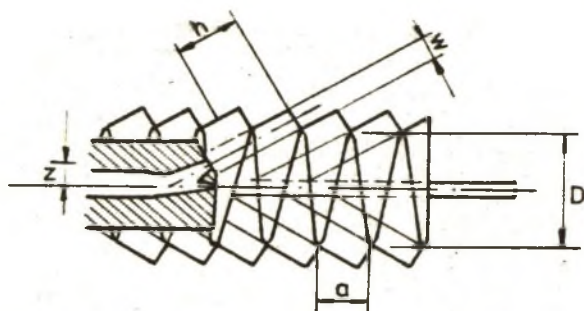
3. Wiercenie hydrauliczne skał

Przykładowo można tu zacytować badania prowadzone w USA (3), gdzie przy badaniach procesu wiercenia uzyskano geometrię otworu jak na rys. 8. Wiercenie prowadzono w betonie oraz piaskowcu przy ciśnieniach 124 do 172 MPa, średnicach dysz 1,27 do 1,4 mm, obrotach 200 - 1000 s^{-1} ; uzyskując prędkość wiercenia do 0,33 m/min. Podobne badania prowadzono dwa lata później w Kanadzie (4) stosując narzędzia o innych parametrach. Badania prowadzono w granicie o wytrzymałości na ściskanie 165 MPa. Dla dyszy o konstrukcji pokazanej na rys. 9, przy średnicach strumienia 1,18 mm uzyskano prędkość wiercenia do 0,45 m/min.

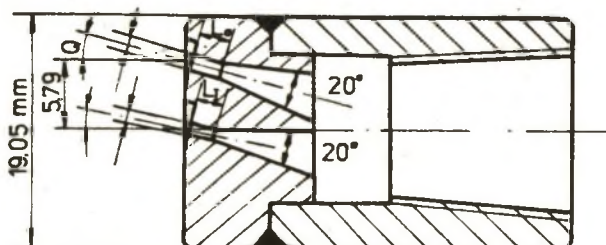
Bardzo interesujące badania nad hydraulicznym przygotowaniem otworów strzelniczych do kierunkowania płaszczyzn rozłupania skały przy strzelaniu materiałami wybuchowymi prowadzono w Japonii najpierw w skali laboratoryj-



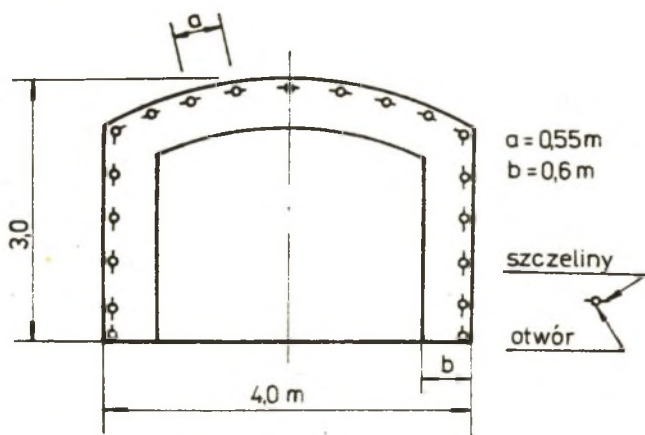
rys. 7. Zależność wskaźnika wykruszenia "w" od odległości kolejnych nacięć x



Rys. 8. Geometria otworu wierzonego hydraulicznie (USA)



Rys. 9. Budowa głowicy wierzącej strumieniem (Kanada)



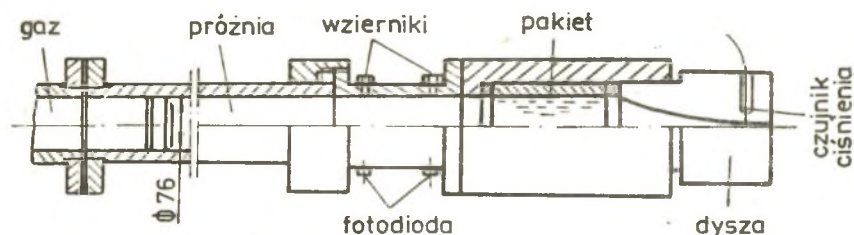
Rys. 10. Układ ukierunkowania otworów strzałkowych w wyrobisku chodnikowym

nej, a następnie w kopalni przy drażeniu chodników (4). Do otworu strzałowego wprowadzano lancę zakończoną głowicą, w której promieniowo umieszczona była dysza, wykonująca ruch postępowy w kierunku osi otworu, dzięki czemu uzyskiwano na wewnętrznej ścianie otworu wzdłużne nacięcia, które umożliwia przy strzelaniu ukierunkowanie płaszczyzny pęknięcia skały. Głębokość uzyskanych nacięć dla dysz 0,2; 0,25 i 0,3 mm wynosiła 10 do 25 mm. Badania prowadzono w granicach o $\sigma_c = 220 \text{ MN/m}^2$. Usytuowanie nacięć dla otrzymania wymaganego kształtu wyrobiska przedstawiono na rys. 10. Przy drażeniu wyrobisk korytarzowych tą metodą w kopalni Kamionka Mine w Japonii otrzymano bardzo dokładne profile chodników o różnych kształtach. Do zasilania dyszy stosowane agregaty pompowe o mocy 55 kW i ciśnieniu maksymalnym 400 MPa. Przedstawione wyniki uzyskano przy ciśnieniu 300 MPa.

4. Badania nad zastosowaniem do urabiania strumieni nieciągliwych

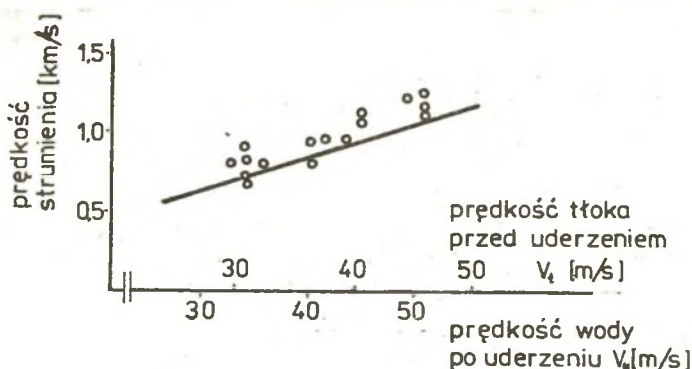
Na świecie, a także w Polsce w latach 1975 - 80 prowadzono badania podstawowe w zakresie wytwarzania strumieni impulsowych (10).

W zakresie prac eksperymentalnych (4) w Wielkiej Brytanii skonstruowano i poddano badaniom urządzenie, którego schemat przedstawiono na rys. (11). Zasada jego pracy polega na tym, że w porcję wody znajdującej się w cylindrze uderza rozpędzony tłok (bijak) przekazując jej energię kinetyczną, a następnie woda wpływa do dyszy, gdzie następuje zwiększenie jej prędkości na skutek kumulacji ciśnienia (rys. 12).



Rys. 11. Budowa urządzenia do wytwarzania strumieni impulsowych (kumulacyjnych).

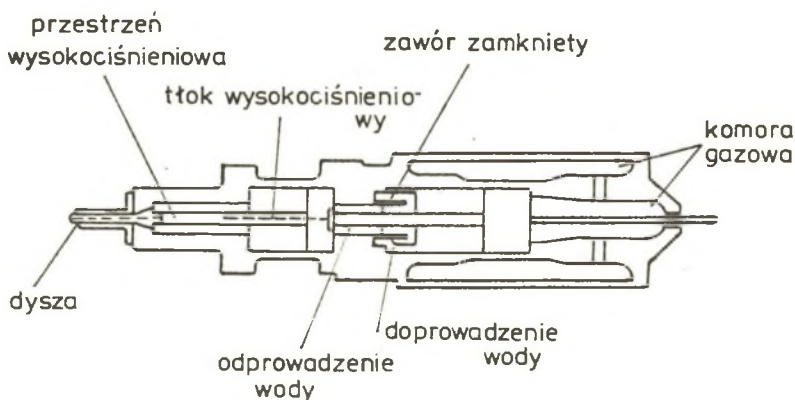
Analiza wyników wykazuje, że możliwe jest uzyskanie wielokrotnego zwiększenia prędkości strumienia (a więc jego ciśnienia dynamicznego) w dyszach kumulacyjnych w stosunku do wyjściowej prędkości cieczy. Podobne wyniki otrzymano w Instytucie Maszyn Górniczych, Przerobczych i Automatyki AGH (10). Podkreślić tu należy, że uzyskanie takiego samego wzrostu ciśnienia wody metodą statycznej generacji ciśnienia jest na obecnym etapie rozwoju techniki niemożliwe. Dla praktycznych zastosowań efektu kumulacji ciśnień, konieczne jest skonstruowanie urządzenia, które mogłoby umożliwić uzyskanie powtarzalności cyklu pracy ze znaczną częstością. Powstają tu jednak problemy porcjowania wody oraz uzyskania wysokiej próżni pomiędzy bijakiem



Rys. 12. Zależność max. prędkości wylotowej od prędkości bijaka i wody przed uderzeniem

a wodą, oraz w dyszy kumulacyjnej przed dotarciem do niej porcji wody.

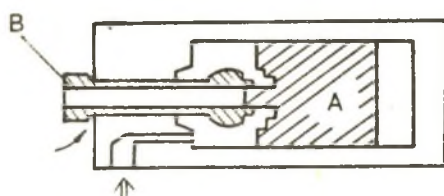
W ramach badań nad urabianiem bardzo zwięzłych skał strumieniami nieciąglymi skonstruowano i poddano badaniom także inne urządzenia umożliwiające uzyskanie strumienia przy ciśnieniach do 1100 MPa w powtarzających się impulsach (4). Odpowiedni schemat przedstawia rys. 13. Urządzenie to jest rodzajem multiplikatora działającego w ten sposób, że duży tłok poruszając się do tyłu na skutek wciągania do komory nadtłokowej wody pod ciśnieniem 38 MPa spręża gaz (nitrogen) do ciśnienia 33 MPa. Następnie otwarty zostaje zawór łączący przestrzeń komory nadtłokowej z przednią komorą urządzenia, wskutek czego następuje szybkie przetłaczanie wody i ruch tłoka do przodu pod działaniem ciśnienia.



Rys. 13. Zasada pracy urządzenia wytwarzającego strumień pulsacyjny do ciśnienia 1100 MPa

Z wysokociśnieniowej komory multiplikatora o pojemności 230 cm^3 i skoku 250 mm wytłaczana jest woda przez dyszę o średnicy $0,5 - 2,0 \text{ mm}$. Przełożenie multiplikatora wynosi 44 . Urządzenie badawcze płacono w skałach związanych o wytrzymałości na ścisnienie 36 i 46 MPa . Przy ciśnieniach 600 do 810 MPa po jednym przejściu strumienia o średnicy 1 mm z prędkością względem skały $v_w = 10 - 16 \text{ cm/s}$ uzyskiwano nacięcie o głębokości odpowiednio 12 do 22 cm , a pobór mocy wynosił 46 do 77 kW . Dla porównania w układzie działającym za pomocą strumienia ciągłego przy ciśnieniu 700 MPa i średnicy dyszy 1 mm wymagana jest moc rzędu 500 kW .

Wykorzystanie do urabiania skał pewnego rodzaju strumienia pulsacyjnego ilustruje rozwiązanie firmy Atlas Capco. Zasadę pracy urządzenia przedstawiono schematycznie na rys. 14.



Rys. 14. Zasada pracy działa wodnego

W części podtłokowej V znajduje się gaz. Woda doprowadzana jest pod ciśnieniem do 40 MPa do przestrzeni nadtłokowej powodując ruch tłoka A i dyszy B do góry. Po wykonaniu pewnego skoku, dolny ogranicznik skoku dyszy opiera się o obudowę, a tłok A wykonuje nadal ruch wsteczny, aż do chwili otwarcia górnego wlotu do dyszy. Wówczas dysza pod ciśnieniem zmagazynowanej wody przemieszcza się do przodu, a cała porcja wody $1,8 \text{ dm}^3$ wytłaczana jest z komory wodnej, działając jak młot hydrauliczny. Jeżeli ten strumień zostanie skierowany do otworu w skale działa on jak klin hydrauliczny rozsadzając skałę. Parametry maszyny są następujące:

- prędkość wypływu strumienia $200 - 300 \text{ m/s}$,
- czas ładowania ok. 8 s ,
- energia wyładowania ok. 4 kJ/udar ,
- ciśnienie maksymalne ok. 300 MPa .

Jednym udarem rozkruszano 3 tonowe bloki granitu.

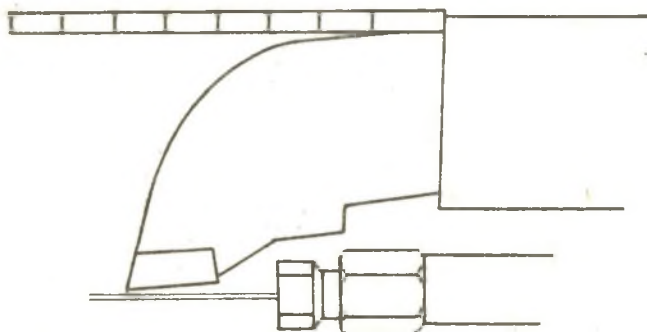
5. Wyniki prac badawczych nad zastosowaniem kombinowanych mechaniczno-hydraulicznych metod urabiania skał

Badania nad połączeniem tradycyjnych narzędzi skrawających, z równocześnie działającymi na skałę w rejonie ostrza strumieniem prowadzone są między innymi w USA. (3).

Badania te prowadzono łącząc oddziaływanie ostrza z działaniem strumienia w układzie przedstawionym na rys. 15. Strumień działa prostopadle na skałę z wyprzedzeniem względem ostrza 1 do 2 mm . Dysponowano pompą o ciś-

nieniu maksymalnym 70 MPa i wydajności maksymalnej 30 dcm³/min. Zużywano ok. 4 (dcm³/min) wody pod ciśnieniem 25 MPa. Badania prowadzono na piaskowcu o wytrzymałości na ściskanie ok. 50 MPa. Stwierdzono, że nawet ciśnienie wody znacznie niższe od wytrzymałości skały na ściskanie w istotnym stopniu poprawia warunki pracy ostrza. Dla identycznych parametrów skrawu maleją siły skrawania od 30 do 80 %.

Do podobnych wniosków dochodzą autorzy prowadzący analogiczne badania w Afryce Południowej. (5). Tak znaczne obniżenie ciśnienia wymaganego do urabiania skały wynika prawdopodobnie z faktu, że strumień działa tutaj na skałę znajdującą się w stanie silnych naprężeń sprężystych. Tuż przed ostrzem narzędzia, zachodzi więc sumowanie naprężeń pochodzących od ostrza i strumienia, co doprowadza do ułatwionego niszczenia skały. Ponadto strefa skrawana jest intensywnie nawilżana, co powoduje osłabienie spójności skały.



Rys. 15. Urabianie skały w układzie nóż skrawający-strumień wodny

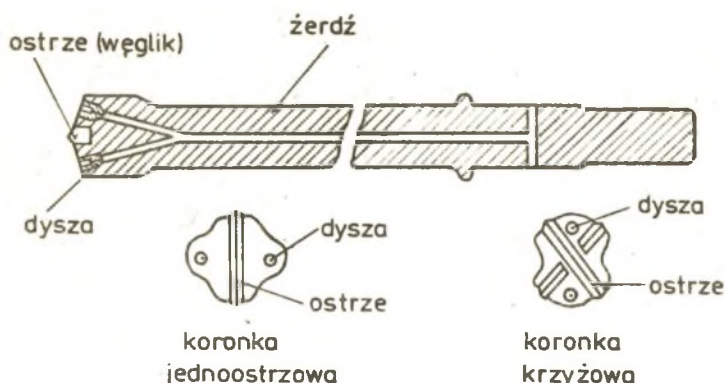
Badania w zakresie wspólnego oddziaływania noża skrawającego ze strumieniem prowadzono również w ZSRR i RFN. Badacze ci uzyskali zwiększenie trwałości noży dzięki ich intensywnemu chłodzeniu w strefie największych obciążeń cieplnych. W zakresie zastosowania strumienia do chłodzenia ostrzy noży znane są rozwiązania umożliwiające znaczne oszczędności energii i wody między innymi rozwiązanie umożliwiające załączenie strumienia wyłącznie w tych momentach, gdy nóż jest w kontakcie ze skałą. Znane są również inne usytuowania strumieni względem ostrza i jego kierunku działania. Badano również możliwości i efekt urabiania nożem z kilkoma strumieniami wody.

5.1. Wiercenie mechaniczne ze wspomaganie strumieniem wody

W ramach prób nad intensyfikacją procesu wiercenia w skałach zwięzłych, podjęto między innymi badania nad wiertarką z hydraulicznym wspomaganie pracy koronki wiertniczej. Podstawową trudnością przy rozwiązywaniu tego problemu było doprowadzenie wody pod znacznym ciśnieniem do żerdzi wiertniczej oraz rozmieszczenie dysz na roboczej powierzchni narzędzia.

W pracach prowadzonych w tym zakresie w Japonii doprowadzenie wody rozwią-

zono tak jak w typowej głowicy przepłuczkowej z zastosowaniem odpowiednich układów uszczelnień obrotowych. Zastosowany układ dysz przedstawia rys. 16.

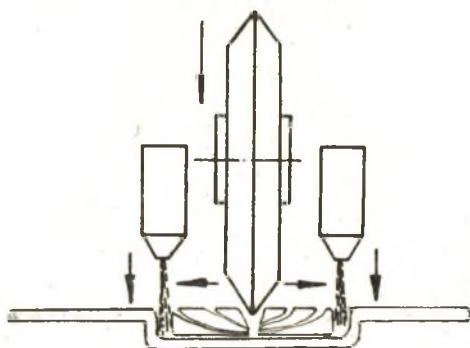


Rys. 16. Układ dysz stosowanych w badaniach (Japonia)

Przy ciśnieniu 60 MPa uzyskano ok. 30 % wzrost prędkości wiercenia. Podobne badania prowadzone we Francji wykazały wzrost prędkości wiercenia o 100 %.

Innym kierunkiem wykorzystania strumieni wody jako elementu wspomagającego w procesie urabiania jest zastosowanie tego rodzaju strumieni w połączeniu z urabianiem narzędziami dyskowymi (rys. 17). Rozwiązania oparte na połączeniu pracy dysków statycznych ze strumieniem wody zostały wykorzystane między innymi przez firmę WIRTH w rozwiązaniu kombajnu TBI/260. W tym kombajnie dla wspomaganie dysków wprowadzono układ dysz o średnicach od 0,25 do 0,63 mm z ciśnieniem regulowanym od 0 do 360 MPa. Jak wynika z badań uzyskano obniżenie siły docisku o 55 % przy ciśnieniu 320 MPa. Zastosowanie strumieni wodnych zwiększa o 100 % prędkość drążenia wyrobiska w całym zakresie obrotowych prędkości głowicy urabiającej.

Ponieważ dysk wykończa w czasie pracy obroty (w odróżnieniu od noża) trudno jest umieścić wylot dyszy w bezpośrednim sąsiedztwie strefy urabianej przez dysk. Zatem dysze muszą być umieszczone w pewnej odległości od calizny (ok. 50 mm), co powoduje straty energii strumienia. Duże możliwości podwyższenia efektywności pracy strumienia wspomagającego narzędzia dyskowe tkwią w poprawieniu jego spójności. Takie badania wykonano dodając do wody różne substancje zmniejszające stopień rozproszenia strumienia w miarę wzrostu odległości od wylotu dyszy. Najczęściej stosowano związki polimerowe. Przykładowo dodatek 0,5 % nalcetrolu znacznie poprawia spójność strumienia. Przy zastosowaniu dodatków poprawiających spójność strumienia, uzyskuje się taką samą głębokość nacinania skały (5 mm) przy ciśnieniu 120 MPa jak bez ich stosowania przy ciśnieniu 200 MPa.



Rys. 17. Połączenia narzędzia dyskowego z układem 2 - strumieniowym

6. Badania nad wykorzystaniem strumieni kawitujących w procesie urabiania skał

Do urabiania skał lub innych zwięzłych materiałów, może być również wykorzystane zjawisko kawitacji. Badania nad wykorzystaniem strumieni kawitacyjnych prowadzono w aspekcie porównania ich skuteczności w stosunku do strumieni ciągłych, między innymi w Kanadzie (3) na blokach marmuru oraz granitu przy następujących parametrach:

ciśnienie zasilania $p = 27,6 - 69 \text{ MPa}$,

odległość dyszy $l = 2,54 - 7,62 \text{ (cm)}$,

prędkość względna dyszy $V_w = 0,027 - 0,18 \text{ m/s}$.

Badania prowadzono z użyciem różnych dysz. Przy małych prędkościach względnych, w całym zakresie przebadanych ciśnień najlepsze wyniki daje dysza niekawitacyjna, lecz przy wyższych prędkościach względnych zauważa się przewagę dysz kawitacyjnych, szczególnie w zakresie niższych ciśnień. Porównanie uzyskanych energii jednostkowych urabiania dla strumieni kawitacyjnego i niekawitacyjnego.

	Płaskowiec /KJ/cm ³ /	Wapień, /KJ/cm ³ /
Kawitując	9,8	92,0
Niekawitując	48,0	115,0

7. Wnioski

1. Badania nad technikami urabiania skał, cięcia różnych materiałów i czyszczenia powierzchni przy użyciu strumieni wysokociśnieniowych prowadzone są we wszystkich krajach o wyższym poziomie techniki.
2. Badania nad urabianiem skał strumieniem ciągłym jako samodzielnym narzędziem wykazały możliwość i energetyczną zasadność budowania maszyn do urabiania skał mniej zwięzłych o występujących płaszczyznach osłabionej spójności (umożliwiających wykruszanie urobku) np. węgla.

3. Dla urabiania skał bardzo zwięzłych - dla strumieni ciągłych - zachodzi konieczność stosowania bardzo wysokich ciśnień ponad 500 MPa i zagęszczonej siatki naciąg, co pociąga zbyt duże zapotrzebowanie energii.
4. Pewne możliwości kilkakrotnego obniżenia tej energii daje zastosowanie strumieni pulsacyjnych.
5. Bardzo zachęcające wyniki otrzymano łącząc strumienie wodne z narzędziami skrawającymi, tj. nożami i dyskami.
6. Dysze wytwarzające strumienie wodne w przypadku noży skrawających mogą być zlokalizowane bezpośrednio w strefie skrawania - unika się rozproszenia strumienia.
7. Znaczne obniżenie sił skrawania występuje przy odpowiednim zastosowaniu strumienia łącznie z nożami już przy niewielkich (w stosunku do wytrzymałości skały) ciśnieniach.
8. Przy stosowaniu połączeń dysk-strumień uzyskuje się zmniejszenie potrzebnych sił docisku o ponad 50 % lub zwiększenie prędkości urabiania o około 100 % (w skałach bardzo twardych) stosując ciśnienia rzędu 150 - 350 MPa i dysze o średnicy 0,2 - 0,7 mm.
9. Ze względu na trudność (w przypadku narzędzi dyskowych) maksymalnego zbliżenia dyszy do strefy urabiania dysku konieczne jest stosowanie dodatków zmniejszających rozproszenie. Oszczędności energetyczne dochodzą do 100 %.
10. Korzystne efekty wiercenia uzyskano stosując strumienie ciągłe jako samodzielne narzędzie urabiające, a także w połączeniu z koronkami wiertniczymi. Badania japońskie stwierdziły co najmniej 30 % wzrost mechanicznej prędkości wiercenia.
11. Wydaje się, że większe zbliżenie dyszy do strefy urabiania (krawędzi skrawającej ostrza) powinno dać znaczniejsze podwyższenie prędkości wiercenia.
12. Strumienie kawitacyjne mają raczej charakter strumieni erodujących materiał na większej powierzchni - poważną zaletą jest duży zasięg skutecznego działania (w powietrzu strumień rzędu 1,6 mm nie traci skuteczności do odległości dyszy od materiału wynoszącej około 1 m).
13. Strumienie kawitacyjne znajdują coraz szersze zastosowania w urządzeniach czyszczących powierzchnie ze zwięzłych zanieczyszczeń i rdzy.
14. Skuteczność strumieni kawitacyjnych ma miejsce również w środowisku wodnym.
15. Strumienie impulsowe kumulacyjne jako jedyne dają możliwość uzyskania bardzo dużych prędkości wypływu cieczy (a więc dużych ciśnień dynamicznych) bez konieczności wytwarzania statycznego dużych ciśnień.

16. Istnieje techniczno-technologiczno-ekonomiczna granica wytwarzania i stosowania ciśnień statycznych i pulsacyjnych wynosząca około 1300 MPa. Praktycznie taką granicą w zastosowaniach jest wartość około 500 - 700 MPa.
17. Istnieje możliwość zastąpienia tradycyjnych metod strzelniczych (w pewnym zakresie) stosowaniem pulsacyjnych urządzeń hydraulicznych.
18. Możliwe jest kierunkowanie pęknięcia skały w trakcie robót strzelniczych przez hydrauliczne nacinanie poboczniczy otworu strzałowego (dla otrzymania dokładnego kształtu wyłomu).

8. Literatura

- [1] Giapko N.F., Czapka A.M.: Gidroodbojka uгля na podziemnych rozrobach. Moskwa, Gosgortiechizdat - 1960.
- [2] 3rd International symposium on jet cutting technology, Chicago 1976. Cranfield BHRA Fluid Engineering 1976 Paper E5, E6.
- [3] 4th International symposium on jet cutting technology, Canterbury 1978. Cranfield BHRA Fluid Engineering 1978 vol.1 Paper C1, C3, C5, D3, G2, H1, H2, H3.
- [4] 5th International symposium on jet cutting technology, Hannover 1980. Cranfield BHRA Fluid Engineering 1980 Paper C4, C5, D1, E3, G1, G2, G3, H2, X1.
- [5] Jet cutting technology. A review and bibliography. Ed.R.Brown. Cranfield BHRA Fluid Engineering series, vol.9.
- [6] Kalukiewicz A.: Badania nad urabianiem węgla strumieniem cieczy. Praca doktorska. 1984 Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (maszynopis).
- [7] Kalukiewicz A.: Die Laborversuche über das Schneidender Gesteine mit Hochdruckwasserstrahl. - 7 Kolloquium der Universität GH Paderborn vom 24.9-26.9.1986 in Meschede.
- [8] Klich A.: Ausnutzung des Hochdruckwasserstrahles als Schneidwerkzeug - 7 Kolloquium der Universität GH Paderborn vom 24.9-26.9.1986 in Meschede.
- [9] Kawecki Z. (1 in.): Badania nad techniką urabiania strumieniami o bardzo wysokim ciśnieniu (praca badawcza). Etap 2 (1975), etap NB-7 (1983). Instytut Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki AGH w Krakowie (maszynopis).
- [10] Puchała R.: Określenie parametrów układów hydraulicznych do wytwarzania impulsowych strumieni cieczy przeznaczonych do urabiania skał. Praca doktorska 1980. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (maszynopis).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan PALARSKI

ОБСУЖДЕНИЕ МЕТОДОВ И ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГОРНЫХ ПОРОД СТРУЕЙ ЖИДКОСТИ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Р е з ю м е

В статье представлены разные виды струи жидкости, которые находят применение при эксплуатации горных пород как основное орудие труда или как фактор, способствующий эксплуатации.

Была собрана информация, говорящая о состоянии исследований в области проблематики гидроэксплуатации, с иллюстрированием примерных технических решений более интересных установок, служащих для образования струи жидкости.

Обсуждение методов эксплуатации и исследовательских работ в области гидроотбойки, проводимых во многих мировых научных центрах (в том и в Институте горных машин, перерабатывающих машин и автоматики ИМА), заканчивает ряд выводов, касающихся, между прочим, возможности их практического применения.

A REVIEW OF THE METHODS AND THE RESEARCHES INTO ROCK
MINING WITH A HIGH PRESSURE LIQUID JET

S u m m a r y

In this paper various kinds of liquid jets which may be used as a basic tool for rock mining or as a factor supplementing it have been discussed.

Information on the state of the researches into the problems of hydraulic mining has been presented. It has been illustrated by certain examples of more interesting technological solutions of the systems for producing liquid jets.

The review of the mining techniques and the researches into hydraulic mining carried out by numerous centres in the world (including the Institute of Mining and Dressing Machines and Automation of the Stanisław Staszic University of Mining and Metallurgy, Kraków, Poland) has been enriched with a series of conclusions concerning, among others, their practical applications.