

Wpływ formy i stopnia stępienia ostrza raczka na efektywność wiercenia obrotowego ręczną wiertarką hydrauliczną

Data wpłynięcia do Redakcji: 12/2024
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 01/2025

2025, volume 14, issue 1, pp. 1-15

Łukasz Bołoz
AGH w Krakowie, Poland



Streszczenie: W górnictwie i budownictwie wiertarki ręczne stosowane są do realizacji wielu procesów związanych z wykonywaniem wyrobisk oraz z pracami pomocniczymi. Wiercenie ręczne jest powszechnie wykorzystywane do wykonywania otworów o niewielkiej średnicy, zwłaszcza w trudno dostępnych miejscach. W przypadku wiercenia ręcznego istotne są opory wiercenia, zwłaszcza moment obrotowy. Narzędzia w trakcie wiercenia zużywają się, co ma negatywny wpływ na proces wiercenia, w tym na opory i efektywność. Stępione narzędzie skutkuje mniejszą prędkością wiercenia oraz bardziej obciąża operatora. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, wybranych parametrów procesu wiercenia hydrauliczną wiertarką obrotową. W trakcie badań wykorzystano raczki nowe oraz o różnych formach zużycia. Przedmiotem badań był popularne, często stosowane do wiercenia obrotowego narzędzie. Badania przeprowadzono na unikatowym stanowisku laboratoryjnym pozwalającym na zadawanie siły docisku wiercenia oraz pomiar momentu obrotowego, prędkości obrotowej, drogi i prędkości wiercenia oraz ciśnienia na zasilaniu i spływie wiertarki. W wyniku przeprowadzonych badań określono szereg charakterystyk w funkcji czasu i głębokości wierconego otworu. Stwierdzono, że stępienie narzędzia wpływa w różny sposób na proces wiercenia. Natomiast o intensywności wpływu decyduje forma stępienia. Wyniki badań mogą być podstawą do opracowania kryterium wymiany raczka na nowy.

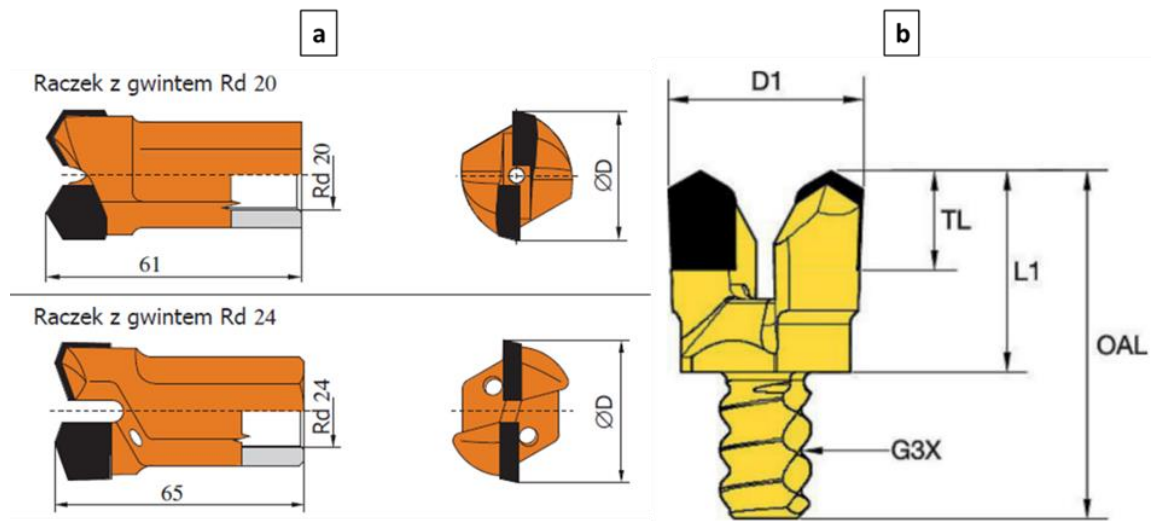
Słowa kluczowe: wiercenie obrotowe, wiertarka hydrauliczna, wiertarka ręczna, badania laboratoryjne, wiertarka górnicza

WPROWADZENIE

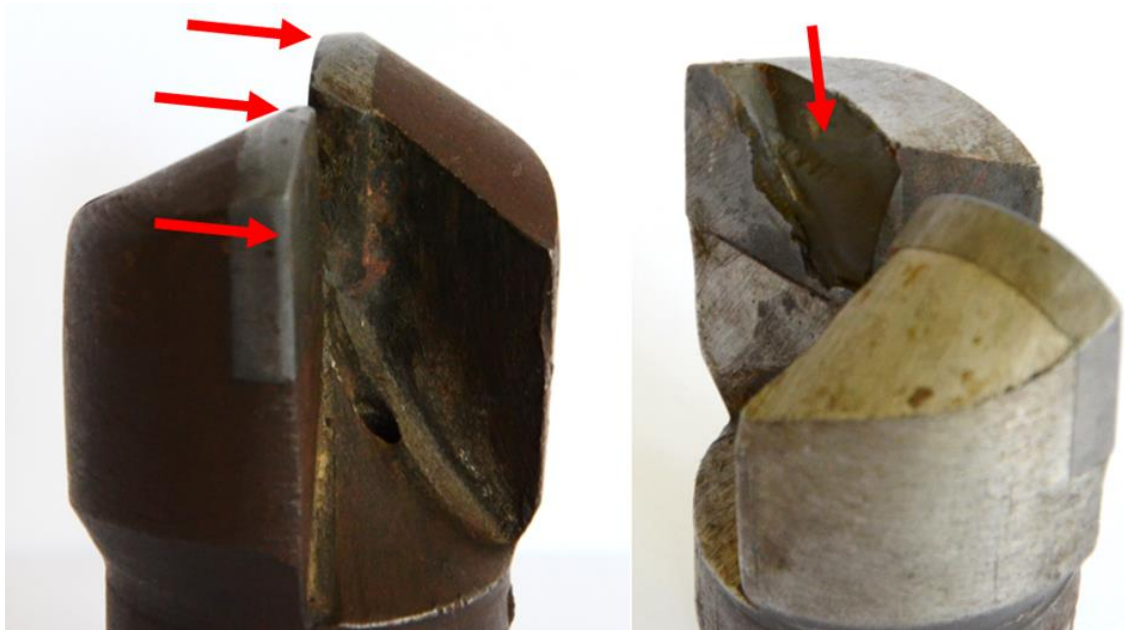
W górnictwie i budownictwie wiertarki ręczne znajdują szerokie zastosowanie podczas realizacji wielu procesów związanych z wykonywaniem wyrobisk, procesami technologicznymi oraz pracami pomocniczymi. Do wiercenia obrotowego stosuje się narzędzia zwane raczkami. Przykładowe rozwiązania raczków pokazano na rys. 1.

Proces urabiania obrotowego cechuje się ciągłym tarciem ostrza o dno otworu. W zależności od warunków pracy i rodzaju urabianej skały powstają różne formy zużycia ostrza. Ostrze może ulec wykruszeniu, a zawsze ulega zużyciu ściernemu (rys. 2). Zużycie ściernie krawędzi powoduje wzrost oporów skrawania, co przekłada się na większy moment obrotowy oraz spadek prędkości wiercenia. W przypadku wiercenia ręcznego wzrost momentu obrotowego niekorzystanie

wpływa na operatora, zmniejszając komfort pracy. Wzrost oporów i spadek prędkości wiercenia, oprócz negatywnego wpływu na operatora, zwiększają również energochłonność procesu i podnoszą koszty.



Rys. 1 Przykłady raczków stosowanych do wiercenia obrotowego firmy Gonaar (a) oraz Kennametal (b)



Rys. 2 Przykładowe formy zużycia raczków (zużycie ściernie, wykruszenie)

Wiedza na temat wpływu formy oraz stopnia zużycia na opory skrawania, dla obecnie stosowanych raczków, pozwoli na opracowanie zaleceń i wytycznych do wymiany raczka na nowy. Zużyte raczki przeznaczone są do regeneracji, która przywraca ich właściwości użytkowe.

PRZEGLĄD LITERATURY

Wiercenie jako metoda urabiania jest szeroko stosowane w górnictwie podziemnym i odkrywkowym oraz w budownictwie. Spośród wielu metod

wiercenia, wiercenie obrotowe jest jedną z najważniejszych metod. Wiercenie obrotowe wykorzystywane jest nie tylko do wiercenia ręcznego, ale również za pomocą wozów wiercących. W każdym procesie urabiania skał występuje zużycie narzędzi, które zwiększa energochłonność procesu i zmniejsza efektywność. Tematyka trwałości górniczych narzędzi urabiających oraz abrazyjności skał jest przedmiotem wielu opracowań (Bołoz & Midor, 2019), (Krauze i in., 2019), (Kahraman i in., 2018), (Hamzaban i in., 2023). W przypadku obecnie stosowanych narzędzi do wiercenia obrotowego temat wpływu formy i stopnia zużycia na opory urabiania nie był badany. Znane są opracowania sprzed kilkudziesięciu lat, jednak dotyczą one narzędzi o innej konstrukcji.

W aktualnej literaturze znaleźć można wiele opracowań w tematyce zbliżonej do przedstawionej w tym artykule.

Autorzy jednego z artykułów (Beste & Jacobson, 2008) poruszyli tematykę mechanizmów niszczenia ostrzy wykonanych z węglików spiekanych stosowanych w button bit. W badaniach wykorzystali zdjęcia zużytych ostrzy w wysokiej rozdzielczości.

W wielu opracowaniach znaleźć można wyniki badań narzędzi do wiercenia udarowego i obrotowo-udarowego. Na przykład w jednym artykule (Saai i in., 2020) przedstawiono badania porównawcze odporności na zużycie ściernie ostrzy wykonanych z różnych gatunków węglików spiekanych, w tym ostrza wzmocnionego diamentem.

W artykule dotyczącym wiercenia w przemyśle naftowym i gazowym poruszono temat współpracy ostrza z dnem otworu, w tym tarcia i zużycia, w celu analizy odkształceń żerdzi (Kessai i in., 2020). Podobnie w innym artykule (Gupta i in., 2013) przedstawiono zagadnienie zużycia i erozji narzędzi do wiercenia obrotowo-udarowego w przemyśle naftowym.

Badania wydajności rdzeniowego wiercenia obrotowego były przedmiotem jednych z badań (Sakiz i in., 2022). Autorzy wykonali badania dla 12 różnych warunków pracy określając między innymi opory urabiania, jednak dla narzędzi nowych, a nie zużytych.

Wyniki badań wpływu geometrii ostrza narzędzia kompozytowego na efektywność wiercenia przedstawiono w jednej z prac (Feito i in., 2014). Autorzy oprócz kąta ostrza badali wpływ zużycia przez zeszlifowanie krawędzi narzędzia. Badania dotyczyły jednak zupełnie innych, prototypowych rozwiązań narzędzi.

W innym opracowaniu znaleźć można wyniki badań trwałości ostrzy z węglika WC przy uwzględnieniu relacji temperatury do szybkości zużycia (Shankar i in., 2020). Badania wykonano dla różnych piaskowców.

Znaleźć można również wyniki badań button bits wykonanych z kompozytu oraz PDC (Polycrystalline diamond compact) przeznaczonych do wiercenia otworów geotermalnych (Liu i in., 2022). Autorzy badali opory urabiania oraz inne parametry podczas wiercenia w piaskowcu i granicie oraz analizowali stopień zużycia narzędzi.

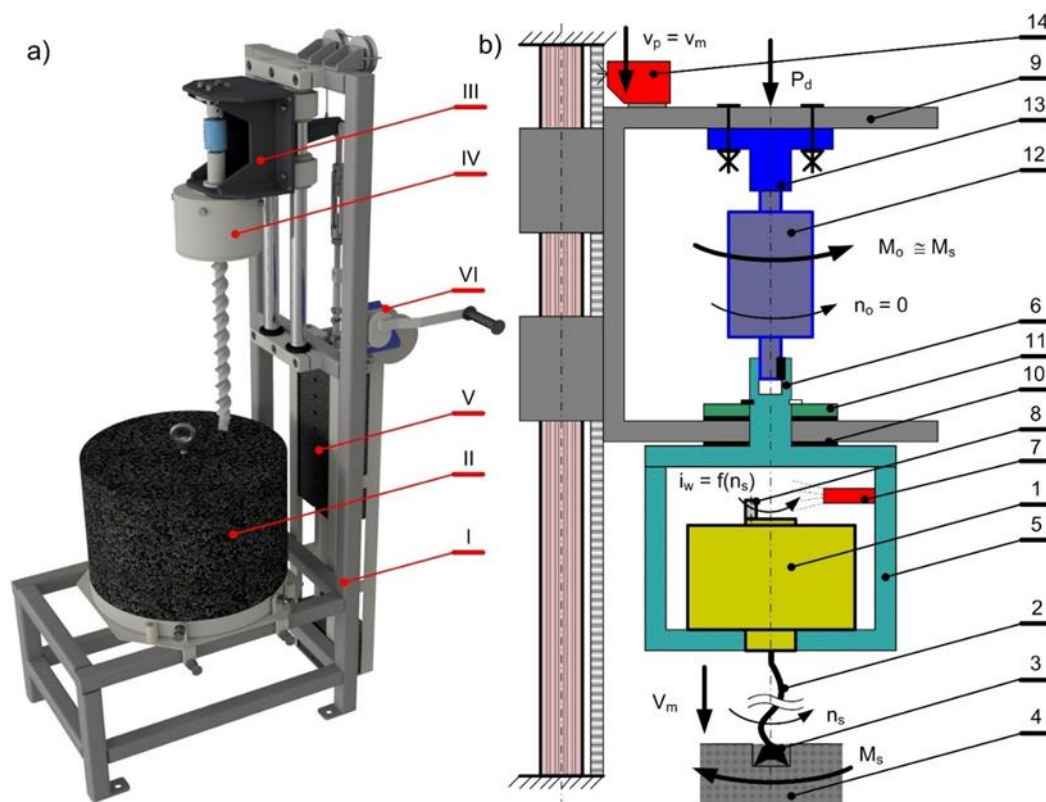
W innej pracy przedstawiono metodę oszacowania momentu podczas wiercenia obrotowego przy zastosowaniu filtra Kalmana (Riane i in., 2022). Autorzy opracowali własny algorytm szacowania momentu, który zweryfikowali przez badania laboratoryjne.

W jednej z prac przedstawiono predykcję szybkości zużycia button bit na podstawie wskaźnika ścieralności skał RAI (The Rock Abrasivity Index), który jest iloczynem wytrzymałości skały oraz zawartości kwarcu (Plinninger i in., 2002).

W wielu ośrodkach na całym świecie bada się proces wiercenia oraz trwałość narzędzi. Poruszana tematyka dotyczy różnych sposobów wiercenia i różnych narzędzi. Jednak wpływ formy i stopnia zużycia obecnie stosowanych raczków do ręcznego wiercenia obrotowego na opory i efektywność nie był badany.

BADANIA PROCESU WIERCENIA

Przedmiotowe pomiary raczków przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym. Elementem nośnym stanowiska jest rama I (rys. 3a).



Rys. 3 Stanowisko badawcze:

- a. model wirtualny: I – rama, II – próbka, III – wózek, IV – zespół wiertarki, V – obciążniki, VI – wciągnik. b. schemat: 1 – wiertarka H-WH-1, 2 – żerdź spiralna, 3 – raczek, 4 – wiercona próbka, 5 – obudowa wiertarki, 6 – kołnierz dolny, 7 – indukcyjny czujnik obecności, 8 – trzpień wrzeciona, 9 – korpus wózka, 10 – podkładka ślizgowa, 11 – blokada osiowa, 12 – momentomierz, 13 – kołnierz górny, 14 – indukcyjny czujnik drogi

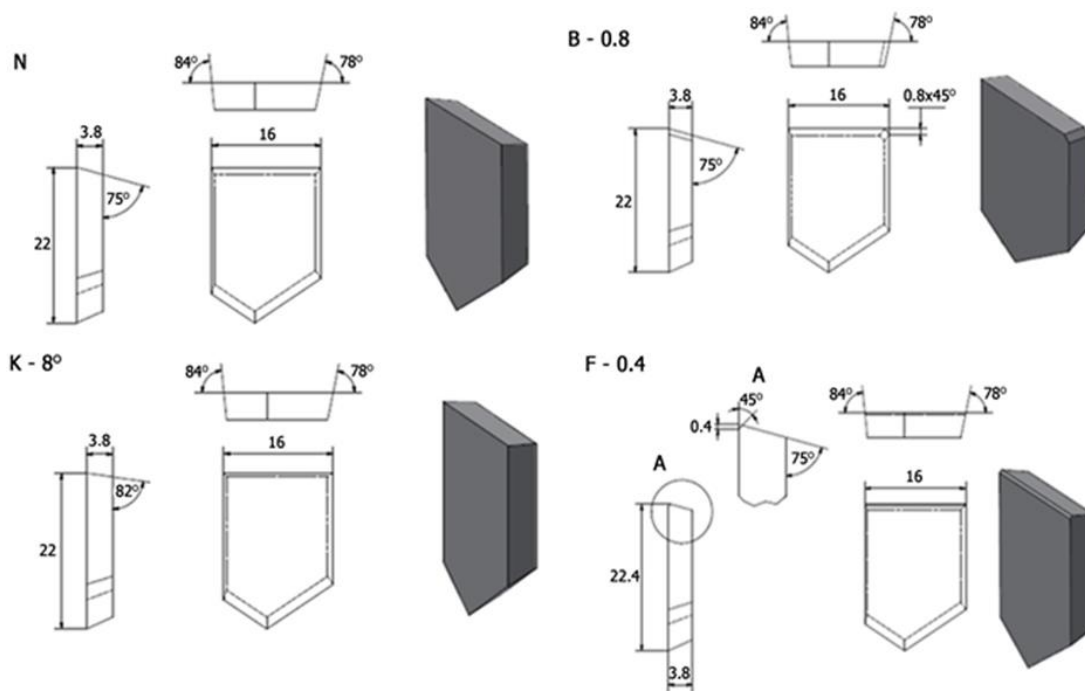
Na ramie spoczywa zespół pozycjonowania próbki II z zabudowaną walcową próbką naturalną lub wykonaną z betonu. Masa próbki przed rozpoczęciem badań wynosi około 190 kg. Próbka pozycjonowana jest przed wykonaniem

każdego otworu. Na ramie zabudowane są wałki precyzyjne, po których porusza się wózek III wyposażony w łożyska liniowe. Do wózka zamocowany jest zespół wiertarki IV. Siła docisku zadawana jest grawitacyjnie za pomocą dziesięciokilogramowych obciążników V o łącznej masie 120 kg. Podnoszenie wózka odbywa się za pomocą ręcznego wciągnika linowego z hamulcem VI.

Najważniejszą częścią stanowiska (rys. 3b) będącą również przedmiotem pomiarów jest wiertarka 1, H-WH1 firmy Hydromech S.A., która standardowo wyposażona jest w żerdź spiralną 2 oraz raczek 3. Zestaw ten wykonuje podczas realizacji badań otwory w próbce 4. Wiertarka 1 została zamocowana w obudowie 5. Obudowa 5 połączona jest sztywno z kołnierzem dolnym 6. Wewnątrz obudowy 5 znajduje się czujnik indukcyjny 7, który zlicza wystąpienia stalowego trzpienia 8 zamocowanego do wrzeciona w tylnej części wiertarki. Kołnierz górny 6 dociskany jest korpusem wózka 9 przez podkładkę ślizgową 10, przekazując siłę docisku z wózka przez wiertarkę na żerdź i raczek. Natomiast wewnątrz korpusu wózka 9, kołnierz górny 6 zablokowany jest osiowo blokadą 11, która utrzymuje obudowę z wiertarką podczas podnoszenia wózka. Kołnierz górny 6 przekazuje moment skrawania z wiertarki na momentomierz 12, który przez kołnierz górny 13 zamocowany jest do korpusu wózka 9. Wózek wyposażony jest w indukcyjny czujnik drogi 14, który wyznacza głębokość wierconego otworu i prędkość wózka. Prędkość wózka v_p równa jest mechanicznej prędkości wiercenia v_m . Układ pomiarowy składa się z następujących czujników:

- moment obrotowy – czujnik momentu DFM22-175-S Megatron o dopuszczalnym momencie 175 Nm z maksymalnym błędem $\pm 0,1\%$,
- prędkość obrotowa – czujnik indukcyjny PCID 2ZN Sels pozwala na pomiar prędkości obrotowej do 15000 obr./min (250 obr./s) z maksymalnym błędem $\pm 0,25$ obr./min,
- przemieszczenie – enkoder liniowy Lika SML z taśmą magnetyczną MT32 o maksymalnym błędzie $\pm 0,1$ mm,
- ciśnienie – czujniki MBS32 Danfoss umożliwiające pomiar do 40 MPa z maksymalnym błędem $\pm 0,5\%$.

Na podstawie analizy spotykanych w praktyce, zużytych raczków wykonano projekt narzędzi badawczych o ostrzach symulujących różne formy i stopnie zużycia. Jako narzędzie bazowe wybrano popularny raczek typu BOB o średnicy $\phi 43$ mm. Kolejne zaprojektowane raczki oznaczono odpowiednio jako: nowe N , o większym kącie K , ze sfazowanymi bokami B , z fazą na krawędzi skrawającej F , a także z płaskim ścięciem S . Wybrane raczki przedstawiono na rys. 4. Stanowisko z próbką przed przystąpieniem do badań oraz po wykonaniu badań przedstawiono na rys. 5, natomiast na rys. 6 przedstawiono zdjęcia wybranych raczków przed badaniami (Bołoz, 2023).



Rys. 4 Raczki typu *N*, *K*, *B*, *F* przeznaczone do badań



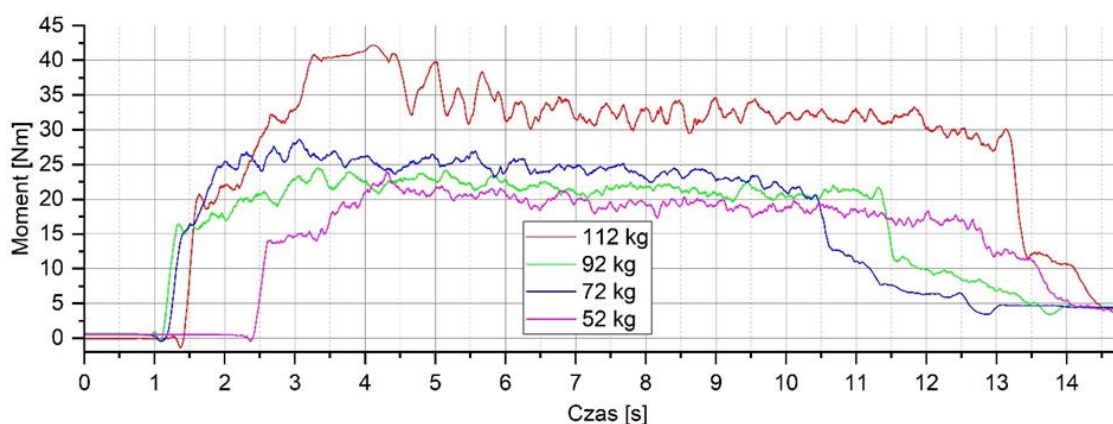
Rys. 5 Stanowisko z próbką przed badaniami i próbka po wykonaniu badań

Badania przeprowadzono na sztucznej próbce betonowej o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wynoszącej około 7 MPa. Próbka o wymiarach $\phi 500 \times 410$ mm pozwalana na wykonanie kilkudziesięciu otworów o głębokości do 400 mm.



Rys. 6 Zdjęcia przykładowych raczków F i S przed badaniami

W pierwszym kroku przeprowadzono badania wstępne polegające na wykonaniu czterech otworów raczkiem nowym (oznaczonym N) dla kilku różnych wartości sił docisku (rys. 7).



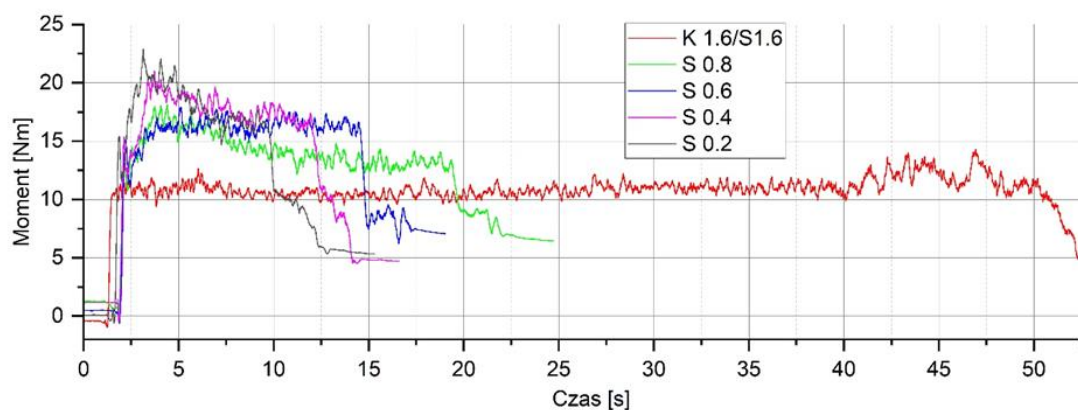
Rys. 7 Przebieg momentu wiercenia dla różnego docisku raczka nowego N

Na podstawie badań wstępnych określono siłę docisku do badań właściwych (72 kg) oraz potwierdzono poprawność działania stanowiska oraz układu pomiarowego. Po zadaniu obciążenia 72 kg przystąpiono do badań właściwych.

DYSKUSJA NAD WYNIKAMI BADAŃ

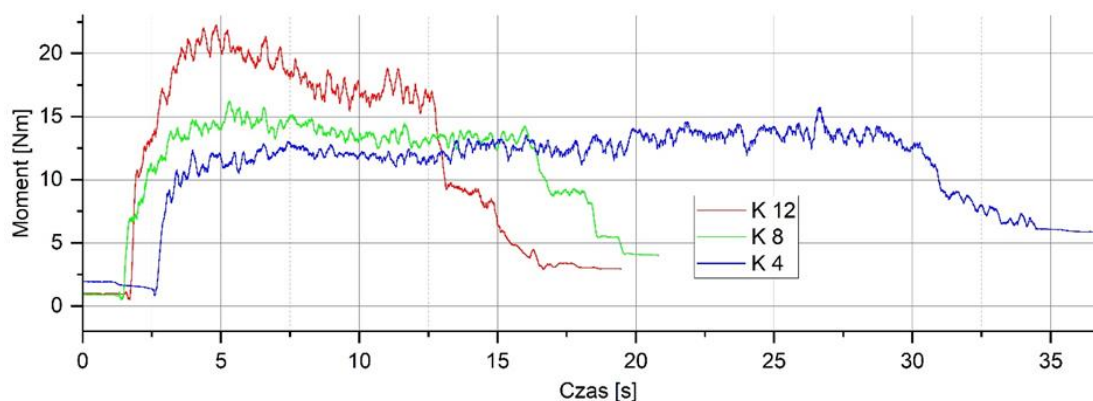
W trakcie badań rejestrowano przebiegi z wszystkich czujników. Dane zostały przygotowane w formie wykresów, które pozwoliły na sprecyzowanie szeregu spostrzeżeń i wniosków.

Na rys. 8 przedstawiono wykres zmierzonego momentu obrotowego dla każdej modyfikacji (formy zużycia) raczka. Zaczynając od modyfikacji typu S, która charakteryzuje się płaskim ścięciem ostrza. Wraz ze zwiększaniem ścięcia można zaobserwować spadek momentu. Taka modyfikacja wpływa znacząco na geometrię ostrza, sprawiając, że kąt przyłożenia spada do wartości bliskich zero, a co za tym idzie następuje miażdżenie skały od siły osiowej działającej na wiertarkę, a samo skrawanie jest mało efektywne. Wyraźny jest również wzrost czasu wykonywania otworu. Dla skrajnych wartości S wynoszących 0,2 mm i S 1,6 mm czas ten jest ponad pięciokrotnie dłuższy. Moment mierzony dla tych prób oscyluje pomiędzy 12-23 Nm dla próbek S 0,2-S 0,8. W przypadku próbki S 1,6 moment jest znacznie niższy oraz względnie stały w trakcie całej próby i wynosi w granicach 10-12 Nm.



Rys. 8 Pomiar momentu dla modyfikacji typu S

Kolejne wyniki przedstawiają pomiary dla modyfikacji typu K, która polegała na zmianie kąta ostrza. Rys. 9 przedstawia wykres zmierzonego dla tych próbek momentu obrotowego.

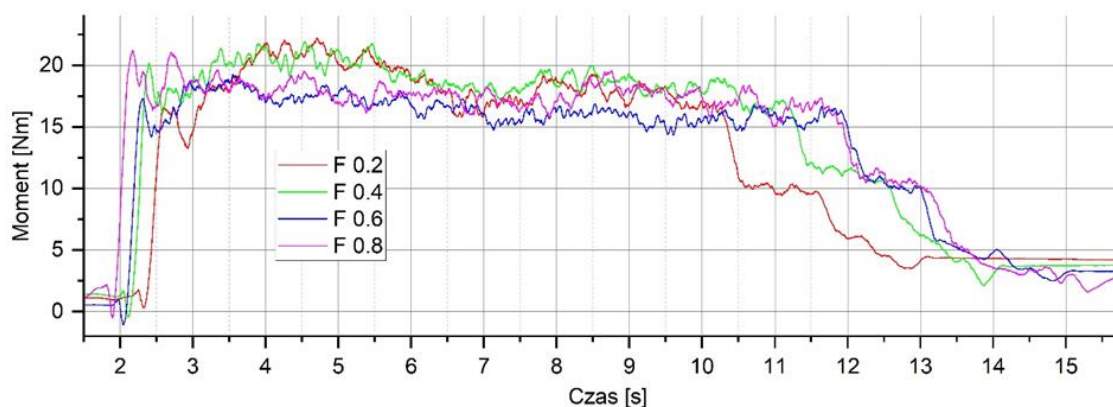


Rys. 9 Pomiar momentu dla modyfikacji typu K

Domyślnie kąt ostrza dla nowego raczka wynosił 75° . Modyfikacja zakładała stworzenie raczków o kątach ostrza 78° , 82° i 86° . Czym większa wartość kąta, tym dłuższy czas wykonywania otworu, który dla maksymalnego kąta był prawie

dwukrotnie dłuższy w stosunku do mniejszych wartości. Należy zaznaczyć, że zwiększanie kąta ostrza wpływa niekorzystnie na kąty przyłożenia i natarcia. Zmniejszając te wartości do zera, zwłaszcza ruchowego kąta przyłożenia, powoduje spadek efektywności skrawania.

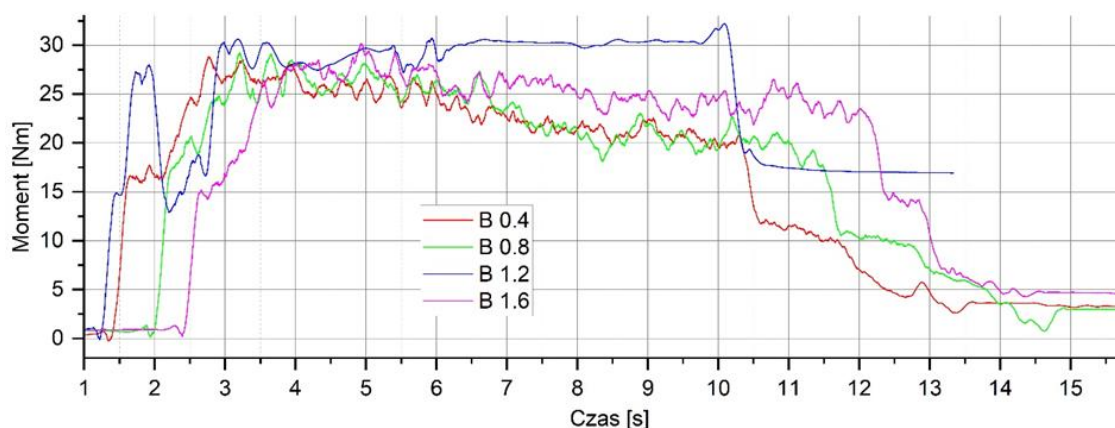
W przypadku modyfikacji typu F mamy do czynienia z fazowaniem krawędzi tnącej. Daje to efekt typowego, najpopularniejszego stopienia ostrza. Wyniki pomiaru momentu obrotowego przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10 Pomiar momentu dla modyfikacji typu F

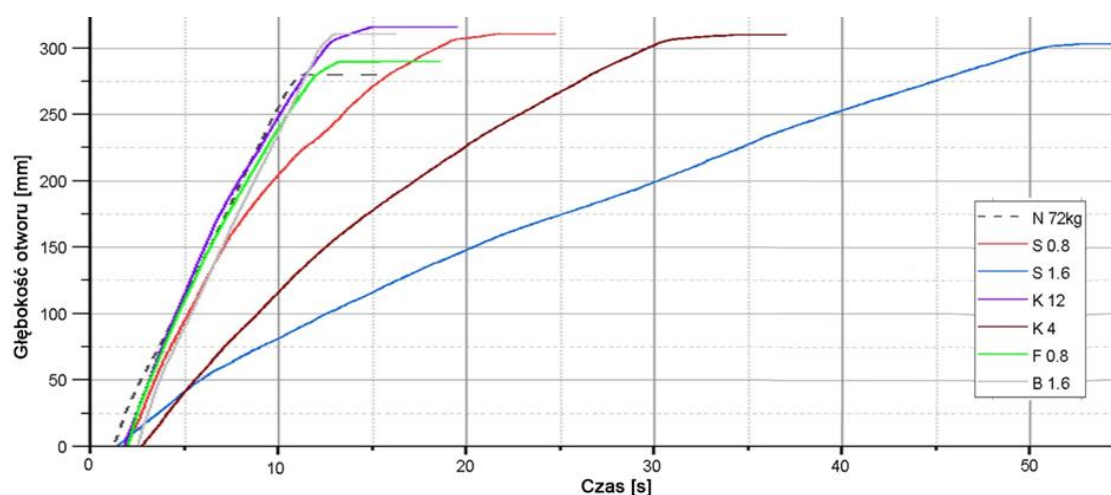
Dla tego rodzaju zmiany geometrii nie widać tak dużych różnic w zarejestrowanych danych. Widoczne jest jednak, że raczek o najmniejszej ingerencji w geometrię, oznaczony czerwoną linią, wykonał otwór w najkrótszym czasie. Dla narzędzi o największych fazach: 0,6 mm i 0,8 mm moment obrotowy początkowo był nieco niższy, a sam proces wiercenia trwał dłużej. Wartości momentu wahają się pomiędzy 15 Nm a 22 Nm. Same różnice nie są jednak bardzo znaczące i dopiero duże stopienie ostrza, skutkowałoby większymi różnicami w oporze wiercenia.

Modyfikacja geometrii B polegała na zastosowaniu fazowania na bokach ostrza od strony wewnętrznej. Ścięcie ostrzy od strony zewnętrznej, wpływa negatywnie na proces wiercenia, ponieważ krawędzie zewnętrzne biorą udział w skrawaniu w dnie otworu oraz na jego ściankach. Wyniki badań dla modyfikacji B przedstawiono na rys. 11. Dla próbki B 1,2 mm wystąpił problem z chwilowym zatrzymaniem wiertła podczas pomiaru, stąd konieczne było powtórzenie próby, co widoczne jest na wykresie. Dla poszczególnych stopni zużycia raczka typu B, nie zaobserwowano istotnych różnic w uzyskanych wynikach. W porównaniu do pozostałych modyfikacji moment zmierzony dla zużycia typu B charakteryzuje się większymi wartościami z przedziału 20 - 30 Nm. Stąd można wyciągnąć wniosek, że niezależnie od wielkości takiej modyfikacji, już samo jej zastosowanie zwiększa opory skrawania.



Rys. 11 Pomiar momentu dla modyfikacji typu B

Następnie przeanalizowano przemieszczenie wiertarki w trakcie wiercenia w funkcji czasu. Przemieszczenie wiertarki, czyli głębokość otworu w funkcji czasu również na ocenę prędkości wiercenia. Do takiej analizy wybrano wyniki pomiarów z każdej modyfikacji, w tym raczka nowego N. Wyniki przedstawiono na rys. 12.

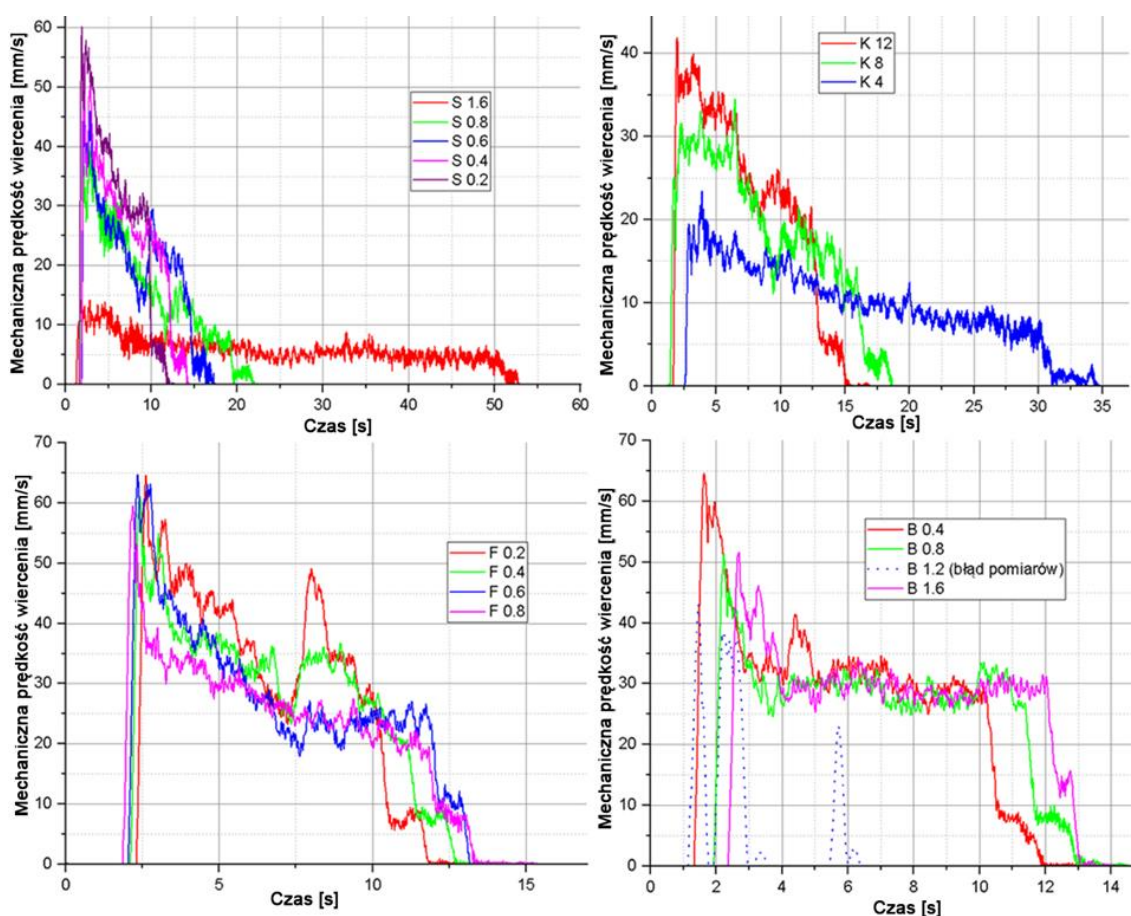


Rys. 12 Zestawienie głębokości otworu w funkcji czasu

Na wykresie uwzględniono narzędzia typu S: S1,6 mm i S 0,8 mm, raczków K 4 i K, a także F 0,8 mm i B 1,6 mm. Linia przerywaną oznaczono raczek nowy. Różnice w maksymalnej głębokości wiercenia, czyli głębokości gotowego otworu wynikają z różnego punktu rozpoczęcia wiercenia otworu oraz różnej wysokości raczków, która wynikała z różnych form i stopni ich zużycia. Rozbieżności te nie mają jednak istotnego wpływu na analizowane przebiegi, ponieważ kluczowe jest nachylenie krzywej do osi czasu. Im większy kąt nachylenia krzywej, tym prędkość wiercenia była większa. Analizując wykres stwierdzić można, że raczki typu K 12, F 0,8 mm jak również B 1,6 mm charakteryzowały się prędkością porównywalną do nowego raczka. Więc wpływ tych form zużycia na prędkość wiercenia jest w praktyce nieistotny. Jednak w przypadku modyfikacji typu: K 4, S 0,8 mm i S 1,6 mm widoczny jest wyraźny spadek prędkości. W porównaniu do

modyfikacji S 0,8 mm raczek S 1,6 mm wykonywał otwór w ponad dwukrotnie dłuższym czasie. W tym przypadku wyraźny jest wpływ występującego miażdżenia skały płaską powierzchnią raczka, a tym samym brak zachowanych odpowiednich kątów skrawania, a co za tym idzie długie i energochłonne wiercenie. W przypadku raczka K 4 występuje podobna sytuacja ze względu na zbyt duży kąt ostrza.

Wyniki opisujące głębokość wiercenia w funkcji czasu wykorzystano do opracowania wykresów tak zwanej mechanicznej prędkości wiercenia. Układ pomiarowy stanowiska, wraz z odpowiednim programem w LabView pozwala również na pomiar prędkości bezpośrednio podczas wiercenia. Na rys. 13 przedstawiono wykresy mechanicznej prędkości wiercenia w funkcji czasu, dla różnych modyfikacji raczka.

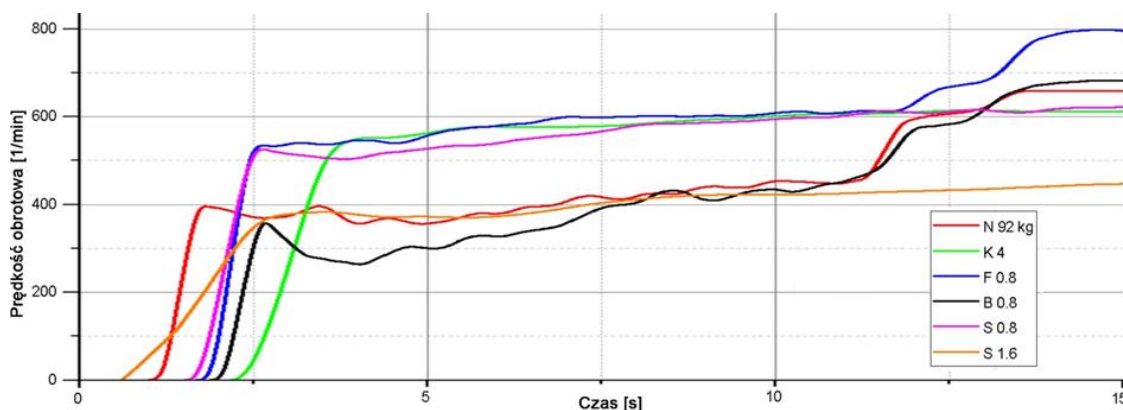


Rys. 13 Mechaniczna prędkość wiercenia w funkcji czasu

Dla każdej krzywej wyraźnie widać spadek prędkości wiercenia wraz czasem, czyli głębokością otworu. W przypadku modyfikacji B spadek nie jest znaczący, prędkość stabilizuje się w początkowym etapie wiercenia. Jednak dla pozostałych modyfikacji widoczne są znaczące zmiany. Prędkość spada wyraźnie w przypadku dłuższych pomiarów takich jak S 1,6 mm i K 4. Raczki o dużym kącie ostrza charakteryzują się mniejszą głębokością skrawania na jeden obrót, przez co czas wiercenia był dłuższy, ale również moment oporu wiercenia był mniejszy.

Warstwa skrawana jest niewielka, moment oporów mniejszy, a co za tym idzie łatwiej utrzymać prędkość wiercenia. Jednak w przypadku modyfikacji B prędkość wiercenia jest stosunkowo stała, a moment wysoki. Stabilizacja mechanicznej prędkości wiercenia zależy w tym przypadku od tego, że wybrana modyfikacja nie ma znaczącego wpływu na efektywność wiercenia. Analizując pozostałe serie danych widać wyraźne spadki prędkości wiercenia, które są związane ze zwiększającym się stopniem zużycia raczka oraz zwiększonymi oporami usuwania zwierzcin z otworu.

Kolejnym analizowanym parametrem była, prędkość obrotowa raczka w funkcji czasu. Obliczana na podstawie wskazań indukcyjnego czujnika obecności, który rejestrował sygnały od trzpienia obracającego się wraz żerdzią. Na jeden obrót uzyskiwano jeden impuls, co jednak dla tak wysokich prędkości obrotowych jest wystarczające. Wyniki przedstawiono na rys. 14.



Rys. 14 Prędkość obrotowa w trakcie wiercenia

Na podstawie uzyskanych wykresów wskazać można dwie grupy raczków o podobnej prędkości obrotowej. Raczki F 0,8 mm, K4 oraz N charakteryzowały się wyższą prędkością obrotową w okolicach od 500 do ponad 600 obrotów na minutę. Natomiast pozostałe raczki w zakresie od około 300 do ponad 400 obrotów na minutę. Wykres prędkości obrotowej narzędzi ma jedynie charakter poznawczy. Najważniejsza była analiza mechanicznej prędkości wiercenia oraz momentu obrotowego.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wiercenie obrotowe jest powszechnie stosowane w górnictwie i budownictwie do wykonywania niewielkiej średnicy otworów często w miejscach trudno dostępnych. Wśród najpopularniejszych wyróżnić można wiercenie przy pomocy wiertarek z napędem hydraulicznym. Tego typu urządzenia pozwalają na pracę w trudnych warunkach, z zachowaniem niskiej masy przy dużym momencie obrotowym. Wiertarki takie pozwalają na wiercenie w soli, węglu, betonie jak i wielu innych minerałach.

Wykorzystane do badań stanowisko pozwala na przeprowadzenie szeregu pomiarów i rejestrację istotnych z punktu widzenia procesu wiercenia wielkości.

Na podstawie analizy występujących w praktyce form zużycia wykonano specjalne raczki o geometrii symulującej raczki stępione. Na potrzeby badań wykonano próbkę o parametrach zbliżonych do skał przeznaczonych do wiercenia ręcznego. Pomiarom poddano dwadzieścia raczków badając wpływ geometrii modyfikacji jak i siły docisku na poszczególne parametry.

W przypadku raczków z modyfikacją B nie widać istotnego wpływu na parametry wiercenia w stosunku do raczków nowych. Dla modyfikacji B, nawet większy stopień zużycia nie wpływał na prędkość. Moment obrotowy jest stosunkowo wysoki, jednak samo wiercenie przebiega podobnie jak dla raczka nowego.

W przypadku modyfikacji ostrza typu S lub typu K ich wpływ jest bardzo wyraźny. Modyfikacje te znacznie wpływają na obciążenie wiertarki jak i wydłużenie czasu skrawania. Samo skrawanie jest mniej efektywne, a wraz ze zwiększaniem wielkości stępienia efekt ten się nasila. Prędkość wiercenia spada, w wielu przypadkach spadek jest znaczny. W zależności od formy zużycia uzyskano różne wartości momentu podczas wiercenia.

Każdy pomiar dostarcza wielu informacji, nie tylko w funkcji zastosowanej formy i stopnia stępienia, ale również głębokości otworu. W artykule przedstawiono wybrane zależności, natomiast uzyskane wyniki można analizować na wiele sposobów.

Uzyskane wyniki pozwoliły na sprecyzowanie szeregu wniosków ilościowych i jakościowych. Określono, które formy zużycia mają największy wpływ na proces wiercenia, a które marginalny. Poza tym określono jak wielkości stępienia ostrza raczka wpływa na opory i efektywność wiercenia, co pozwala na określenie zaleceń dotyczących kryteriów wymiany raczka na nowy.

LITERATURA

- Beste, U., & Jacobson, S. (2008). A new view of the deterioration and wear of WC/Co cemented carbide rock drill buttons. *Wear*, 264(11–12), 1129–1141. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.01.030>
- Bołoz, Ł. (2023). Influence of the drill bit tip geometry on the rotary drilling process performed with a hand-held hydraulic drill. *Production Engineering Archives*, 29(3), 304–310. <https://doi.org/10.30657/pea.2023.29.35>
- Bołoz, Ł., & Midor, K. (2019). The procedure of choosing an optimal offer for a conical pick as an element of realizing the sustainable development concept in mining enterprises. *Acta Montanistica Slovaca*, 24(2), 140–150.
- Feito, N., Díaz-Álvarez, J., Díaz-Álvarez, A., Cantero, J., & Miguélez, M. (2014). Experimental Analysis of the Influence of Drill Point Angle and Wear on the Drilling of Woven CFRPs. *Materials*, 7(6), 4258–4271. <https://doi.org/10.3390/ma7064258>
- Gupta, A., Chattopadhyaya, S., & Hloch, S. (2013). Critical Investigation of Wear Behaviour of WC Drill Bit Buttons. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(1), 169–177. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0255-9>
- Hamzaban, M.-T., Rostami, J., Dahl, F., Macias, F. J., & Jakobsen, P. D. (2023). Wear of Cutting Tools in Hard Rock Excavation Process: A Critical Review of Rock Abrasiveness Testing Methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 56(3), 1843–1882. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-03187-x>

- Kahraman, S., Fener, M., Kasling, H., & Thuro, K. (2018). Investigating the effect of strength on the LCPC abrasivity of igneous rocks. *Geomechanics and Engineering*, 15(2), 805–810. <https://doi.org/10.12989/GAE.2018.15.2.805>
- Kessai, I., Benammar, S., Doghmane, M. Z., & Tee, K. F. (2020). Drill Bit Deformations in Rotary Drilling Systems under Large-Amplitude Stick-Slip Vibrations. *Applied Sciences*, 10(18), 6523. <https://doi.org/10.3390/app10186523>
- Krauze, K., Bołoz, Ł., Wydro, T., & Mucha, K. (2019). Investigations into the wear rate of conical picks with abrasion-resistant coatings in laboratory conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 679(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/679/1/012012>
- Liu, W., Deng, K., Li, R., Li, L., Zhu, X., & Gong, S. (2022). The Performance and Failure Mechanism of Drill Bit in Granite Formation Drilling. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07578-8>
- Plinninger, R., Spaun, G., & Thuro, K. (2002). Predicting tool wear in drill and blast. *Tunnels and Tunnelling International*, 34.
- Riane, R., Kidouche, M., Illoul, R., & Doghmane, M. Z. (2022). Unknown Resistive Torque Estimation of a Rotary Drilling System Based on Kalman Filter. *IETE Journal of Research*, 68(4), 2640–2651. <https://doi.org/10.1080/03772063.2020.1724834>
- Saai, A., Børge, R., Dahl, F., Antonov, M., Kane, A., Diop, J.-B., & Ojala, N. (2020). Adaptation of Laboratory tests for the assessment of wear resistance of drill-bit inserts for rotary-percussive drilling of hard rocks. *Wear*, 456–457, 203366. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203366>
- Sakiz, U., Aydin, H., & Yarali, O. (2022). Investigation of the rock drilling performance of rotary core drilling. *BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT*, 81(1). <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02534-6>
- Shankar, V. K., Kunar, B. M., Murthy, C. S., & Ramesh, M. R. (2020). Measurement of bit-rock interface temperature and wear rate of the tungsten carbide drill bit during rotary drilling. *Friction*, 8(6), 1073–1082. <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0330-2>

Influence of the form and state of wear of drill bit tip on the efficiency of the rotary drilling process performed with a hand-held hydraulic drill

Abstract: In the mining and construction industries, hand drills are used to carry out many processes related to excavation and auxiliary works. Hand drilling is commonly applied for making small diameter holes, especially in hard-to-reach places. In the case of manual drilling, an important parameter is drilling resistance, especially torque. Drilling tools are subject to wear, which has a negative impact on the process of drilling, including resistance and efficiency. A blunt tool lowers the drilling speed and puts more strain on the operator. The article presents the results of laboratory tests of selected parameters of the drilling process carried out with a hydraulic rotary drill. The tests were performed with the use of new drill bits as well as drills characterized by a various degree of wear. The tests were carried out for popular, frequently applied rotary drilling tools, on a unique laboratory stand that enabled setting the feed force and measuring the torque, rotational speed, drilling path, drilling speed as well as the in and out pressure of the drill. A number of characteristics were determined as a function of time and depth of the drilled hole. It was found that tool blunting affects the drilling process in various ways, whereas the intensity of this influence is determined by the type of blunting. The test results can provide a basis for developing a criterion for replacing a drill bit with a new one.

Keywords: rotary drilling, hydraulic drill, hand-held drill laboratory tests, mining drill

Łukasz Bołoz

AGH University of Krakow

Faculty of Mechanical Engineering and Robotics

Department of Machinery Engineering and Transport

A. Mickiewicza Av. 30, 30-059 Krakow, Poland

e-mail: boloz@agh.edu.pl